

УДК 338.43

### ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ США В XXI ВЕКЕ

© 2011 г. **Л.П. Жиганова\***  
*Институт США и Канады РАН, Москва*

*В статье анализируются состояние, проблемы и направления развития сельскохозяйственной биотехнологии США на примере растениеводства. Рассматриваются новые семенные технологии «Апомиксис» и «Терминатор», перспективы их использования.*

**Ключевые слова:** *агrobiотехнология, генно-модифицированный организм, трансгенный продукт, апомиксис, геномика.*

Применение биотехнологий в сельском хозяйстве продолжает возрастать, вовлекая всё новые страны. Согласно данным обзора Международной службы по применению агrobiотехнологий, в 2009 г. площадь посевов биотехнологических растений в мире увеличилась на 9 млн. га и достигла 134 млн. га. Сейчас рекордное число фермеров – 14 млн. из 25 стран используют достижения сельскохозяйственной биотехнологии, среди них 90% – это фермеры из бедных развивающихся стран.

В 2008 г. по коммерческому использованию генно-модифицированных культур отчитались 10 стран – членов ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития) и 15 других стран. В 2008 г. посевные площади под ГМ-культурами в США и Канаде (члены ОЭСР) совместно составили 99,2% га. Однако посевные площади под этими культурами в странах, не являющихся членами ОЭСР, значительно увеличились. С 2005 г. площади посевов под ГМ-культурами в пределах ОЭСР увеличивались ежегодно на 5,8%, за пределами ОЭСР на 15,1%. Годовой уровень роста составил 55,5% для Индии, 13,9% – для Бразилии, 10,5% – для Парагвая и 8,7% – для Южной Африки. Анализируя кривые роста с 2005 г. можно судить, что они совпадут для стран – членов ОЭСР и не участников ОЭСР только в 2013 году.

Максимальная площадь, которая может быть занята под ГМ-культуры, частично зависит от всех пахотных земель, находящихся в культивировании. В 2008 г. Парагвай имел наибольший процент посевных площадей, занятых ГМ-растениями – 89%, затем Аргентина – 75%, Уругвай – 51%, США – 36%,

---

\* **ЖИГАНОВА** Лариса Петровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИСКРАН. E-mail: Larissa-Zhiganova@rambler.ru

Бразилия – 27% (табл. 1). Другими основными факторами, определяющими площади посевов ГМ-культур, являются принципы регулирования и типы культур, характерных для той или иной страны. ГМ-растения наиболее широко применяются в тех странах, где благоприятны условия их выращивания. Это соевые бобы, кукуруза, хлопок и канола.

Таблица 1

**Площади посевов ГМ-культур, % всех пахотных земель, 2008 г.**

| Страна (страны ОЭСР) | Площади посевов, % |
|----------------------|--------------------|
| Парагвай             | 89                 |
| Аргентина            | 75                 |
| Уругвай              | 51                 |
| США                  | 36                 |
| Бразилия             | 27                 |
| Боливия              | 20                 |
| Канада               | 17                 |
| Южная Африка         | 12                 |
| Филиппины            | 7                  |
| Индия                | 5                  |
| Китай                | 4                  |
| Испания              | 0,7                |
| Австралия            | 0,4                |
| Мексика              | 0,4                |

*Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. Ithaca New York. Total Arable Land: World Bank (2009), World Development Indicators Database.*

В 2009 г. площади посевов биотехнологических культур в мире увеличились до 134 млн. га по сравнению с 125 млн. га в 2008 г., что составляет увеличение на 7% (см. табл. 2, 3). В 2009 г. к 25 странам, которые выращивали трансгенные растения, добавилась Коста-Рика, которая решила производить биотехнологические семена для экспортной продажи, и вышла Германия, которая прекратила культивирование генно-инженерной кукурузы, устойчивой к насекомым. В ноябре 2009 г. Китай выпустил сертификаты по биобезопасности для трансгенных культур риса и кукурузы. Рис и кукуруза – это важнейшие пищевые культуры, которые использует в питании половины населения планеты, поэтому такие разрешения для этих культур будут иметь колоссальное значение в будущем для применения генно-модифицированных риса и кукурузы в Китае, Азии, мире. Африка рассматривается как конечная граница использования биотехнологических культур, так как имеет наибольшую потребность в пищевых ресурсах.

Таблица 2

## Площади посевов ГМ-культур, 1996–2008 гг., млн. га

| Страна (ОЭСР)    | 1996       | 1997        | 1998        | 1999        | 2000        | 2001        | 2002        | 2003        | 2004        | 2005        | 2006         | 2007         | 2008         |
|------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>США</i>       | 1,5        | 8,1         | 20,5        | 28,7        | 30,3        | 35,7        | 39,0        | 42,8        | 47,6        | 49,8        | 54,6         | 57,7         | 62,5         |
| Аргентина        | 0,1        | 1,4         | 4,3         | 6,7         | 10,0        | 11,8        | 13,5        | 13,9        | 16,2        | 17,1        | 18,0         | 19,1         | 21,0         |
| Бразилия         | —          | —           | —           | —           | —           | —           | 3,5         | 3,0         | 5,0         | 9,4         | 11,5         | 15,0         | 15,8         |
| <i>Канада</i>    | 0,1        | 1,3         | 2,8         | 4,0         | 3,0         | 3,2         | —           | 4,4         | 5,4         | 5,8         | 6,1          | 7,0          | 7,6          |
| Индия            | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,1         | —           | 1,3         | 3,8          | 6,2          | 7,6          |
| Китай            | 1,1        | 1,8         | —           | 0,3         | 0,5         | 1,5         | 2,1         | 2,8         | 3,7         | 3,3         | 3,5          | 3,8          | 3,8          |
| Парагвай         | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 2,0          | 2,6          | 2,7          |
| ЮАР              | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 1,4          | 1,8          | 1,8          |
| Уругвай          | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,4          | 0,5          | 0,7          |
| Боливия          | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —            | —            | 0,6          |
| Филиппины        | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,2          | 0,3          | 0,4          |
| <i>Австралия</i> | —          | 0,1         | 0,1         | —           | 0,1         | 0,2         | —           | 0,1         | 0,2         | 0,3         | 0,2          | 0,1          | 0,2          |
| <i>Мексика</i>   | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,1         | 0,1         | 0,1          | 0,1          | 0,1          |
| <i>Испания</i>   | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,1         | 0,1         | 0,1          | 0,1          | 0,1          |
| Румыния          | —          | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | —           | 0,1          | —            | —            |
| Другие           | —          | —           | 0,1         | 0,2         | 0,0         | 0,0         | 0,2         | 0,2         | 0,6         | 0,2         | 0,4          | 0,5          | 0,3          |
| <b>В целом</b>   | <b>2,8</b> | <b>12,7</b> | <b>27,8</b> | <b>39,9</b> | <b>43,9</b> | <b>52,4</b> | <b>58,3</b> | <b>67,3</b> | <b>78,9</b> | <b>87,4</b> | <b>102,4</b> | <b>114,8</b> | <b>125,2</b> |

*Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. Ithaca New York. Total Arable Land: World Bank (2009). World Development Indicators Database.*

Таблица 3

**Площади посевов ГМ-культур, в 2009 г., млн. га**

| №   | Страна             | Площадь посевов | ГМ-культуры                                                                |
|-----|--------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | США                | 64              | Соя, кукуруза, хлопок, канола, баклажаны, папайя, сахарная свекла, люцерна |
| 2.  | Бразилия           | 21,4            | Соя, кукуруза, хлопок                                                      |
| 3.  | Аргентина          | 21,3            | Соя, кукуруза, хлопок                                                      |
| 4.  | Индия              | 8,4             | Хлопок                                                                     |
| 5.  | Канада             | 8,2             | Канола, кукуруза, соя, сахарная свекла                                     |
| 6.  | Китай              | 3,7             | Хлопок, томаты, сладкий перец, папайя                                      |
| 7.  | Парагвай           | 2,2             | Соя                                                                        |
| 8.  | Южная Африка       | 2,1             | Кукуруза, соя, хлопок                                                      |
| 9.  | Уругвай            | 0,8             | Соя, кукуруза                                                              |
| 10. | Боливия            | 0,8             | Соя                                                                        |
| 11. | Филиппины          | 0,5             | Кукуруза                                                                   |
| 12. | Австралия          | 0,2             | Хлопок, канола                                                             |
| 13. | Буркина-Фасо       | 0,1             | Хлопок                                                                     |
| 14. | Испания            | 0,1             | Кукуруза                                                                   |
| 15. | Мексика            | 0,1             | Хлопок, соя                                                                |
| 16. | Чили               | < 0,1           | Кукуруза, соя, канола                                                      |
| 17. | Колумбия           | < 0,1           | Хлопок                                                                     |
| 18. | Гондурас           | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 19. | Чешская Республика | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 20. | Португалия         | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 21. | Румыния            | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 22. | Польша             | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 23. | Коста-Рика         | < 0,1           | Хлопок, соя                                                                |
| 24. | Египет             | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |
| 25. | Словакия           | < 0,1           | Кукуруза                                                                   |

*Clive J. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. 2009 (www.isaaa.org).*

Итак, с 1996 г. в мире было засеяно трансгенными культурами более 1 млрд. га (табл. 3). 14 млн. фермеров занимаются культивированием биотехнологических сортов, причём 90% из них – это фермеры из слабых, развивающихся стран.

В опубликованном в июле 2010 г. отчёте «Применение генно-модифицированных культур в США» Службы экономических исследований Минсельхоза США подчёркивается, что американские фермеры отдают предпочтение использованию ГМ-культур по сравнению с традиционными сортами, что касается сои, кукурузы, хлопка и других культур. Подсчитано, что использование ГМ-соя в 2010 г. составило 93% по сравнению с 91% в 2009 г., всего ГМ-хлопка 93% в 2010 г. по сравнению с 88% в 2009 г., всей ГМ-кукурузы 86% в 2010 г. по сравнению с 85% в 2009 г. [14]

Появление следующего поколения трансгенной продукции, обладающей новой потребительской ценностью и улучшенными качественными характеристиками поможет провести необходимые изменения в сельскохозяйственной сфере аграрно-промышленного комплекса (АПК). ГМ-продукция сельскохозяйственного назначения кардинально изменит сектор переработки продуктов питания и пищевую промышленность в целом. Улучшение питательных макроэлементов в продуктах питания с помощью биотехнологий позволит решить проблему качества продовольствия. Функциональные продукты питания, содержащие в своём составе вещества, улучшающие здоровье населения будут дополнять, и расширять эти изменения.

С учётом того, что более 90% выращиваемого сегодня ГМ-семян сои и кукурузы имеет фуражное назначение (при этом учитывают, что эти сорта и гибриды повышают эффективность сельскохозяйственного производства и снижают негативный эффект воздействия на окружающую среду), последующее улучшение питательной ценности кормового зерна создаст ещё большие перспективы для новых агробiotехнологий. Помимо изменения пищевой ценности, появление таких возможностей, как изменение сроков созревания и годности, улучшение аромата и морфологии, а также улучшение таких качеств растений, как устойчивость к экстремальным проявлениям окружающей среды (засуха или засоление, кислотность почв), повышение эффективности азотфиксации или создание новых физиологически активных веществ имеет огромное экономическое значение.

Существуют четыре класса генетических свойств у ГМ-растений, имеющих коммерческое значение и проверяемых в полевых испытаниях: устойчивость к коммерческим гербицидам; устойчивость к вирусам, бактериям, грибам, насекомым, нематодам; улучшение качества продуктов, получаемых из растений, за счёт изменения состава масел, крахмала, углеводов, целлюлозы в растениях; улучшение агрономических характеристик, таких как урожайность, устойчивость к соли, засухе, морозу. Пятый класс характеристик включает в себя технические и другие свойства, которые необходимы для реализации всех остальных свойств. Сюда входят гены-маркеры, генная контаминация, стерильность и т. д. (см. табл. 4).

Для большинства стран – членов ОЭСР была создана база данных по полевым испытаниям ГМ-вариантов растений, в которой в основном использовались данные по 26 странам из 30 членов ОЭСР, а также по другим странам, не входящим в это объединение. Данные результаты были собраны за период 2006–2008 гг. в странах, в которых проводилось небольшое количество полевых испытаний, не считая США и Канаду.

Таблица 4

**Количество полевых испытаний специфических генетических характеристик растений, 2006–2008 гг.**

| Страна         | Агрономические свойства | Устойчивость к вредителям | Качество продуктов | Устойчивость к гербицидам | Технические свойства | В целом     |
|----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|-------------|
| <i>США</i>     | 932                     | 897                       | 712                | 971                       | 412                  | 3924        |
| Канада         | 635                     | 41                        | 95                 | 518                       | 813                  | 2102        |
| ЕС             | 8                       | 164                       | 38                 | 220                       | 23                   | 453         |
| Мексика        | 0                       | 23                        | 2                  | 45                        | 0                    | 70          |
| Япония         | 0                       | 13                        | 2                  | 26                        | 1                    | 42          |
| Австралия      | 12                      | 7                         | 6                  | 6                         | 1                    | 32          |
| Новая Зеландия | 2                       | 2                         | 5                  | 5                         | 0                    | 14          |
| <b>В целом</b> | <b>1589</b>             | <b>1147</b>               | <b>860</b>         | <b>1791</b>               | <b>1250</b>          | <b>6637</b> |

*UNU-MERIT GM Field Trials Database. Maastricht. Netherlands, April 2009.*

С 2006 по 2008 г. было проведено 3849 полевых испытаний ГМ-вариантов растений, которые проводились частными компаниями или исследовательскими институтами в Австралии, Канаде, ЕС, Японии, Мексике, Новой Зеландии, Швейцарии и США. Доля США составила 62,9%, Канады – 26,5%, ЕС – 7,6%, Мексики – 1,4%, Японии – 0,8%. Однако 38,0% всех полевых испытаний субсидировались иностранными компаниями и институтами. Так как основные офисы контролирующей фирмы или государственного исследовательского института находились в США, то из 3849 полевых экспериментов 82,7% были организованы головными фирмами США, 10,9% – организациями ЕС, 3,8% – компаниями Швейцарии.

В этот период 74,5% полевых испытаний, проводимых компаниями ЕС, осуществлялись за пределами ЕС. В 1992–1996 гг. эта цифра составляла менее 40%. С 2006 по 2008 г. американские компании, поводящие полевые испытания за пределами США, составили 32,0% (табл. 5).

В 3849 полевых испытаниях было протестировано 6637 растений по различным свойствам, из них 35,7% составили испытания, проверяющие два новых свойства, 9,7% – три и более характеристик. По локализации проведённых испытаний в США выполнили 3924 тестов, или 59,1% общей суммы, в Канаде – 2102, или 31,7%, в ЕС – 453, или 6,8%.

Некоммерческий сектор (университеты, государственные исследовательские институты, некоммерческие частные организации) провели в среднем 19,3% из 6637 тестов за расчётный период, причём 23,3% испытаний было выполнено в США, 17,2% – в ЕС (табл. 6).

С 1990 по 1999 г. оценивались такие свойства как устойчивость к вредителям (36,8%), устойчивость к гербицидам (31,3%), затем улучшение качества продуктов (15,8%), технические и другие характеристики (14,0%). Тесты по проверке агрономических свойств составили только 2,1%.

Таблица 5

**Локализация основных офисов фирм и институтов,  
осуществивших полевые испытания, 2006–2008 гг.**

| Локализация<br>основного офиса | Количество всех<br>полевых испытаний | Процент испытаний, проведённых<br>за пределами страны |
|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <i>США</i>                     | 3184                                 | 32,0%                                                 |
| ЕС                             | 419                                  | 74,5%                                                 |
| Швейцария                      | 147                                  | 100%                                                  |
| Канада                         | 72                                   | 11,1%                                                 |
| Австралия                      | 17                                   | 23,5%                                                 |
| Новая Зеландия                 | 4                                    | 0,0%                                                  |
| Мексика                        | 3                                    | 0,0%                                                  |
| Япония                         | 3                                    | 33,3%                                                 |
| В целом                        | 3849                                 |                                                       |

*UNU-MERIT GM Field Trials Database. Maastricht. Netherlands, April 2009.*

Таблица 6

**Количество полевых испытаний, протестировавших 6637 характеристик  
растений, проведённых частным и некоммерческим секторами, 2006–2008 гг.**

| Страна         | Частный сектор | Некоммерческий<br>исследовательский<br>сектор | Процент<br>некоммерческих ис-<br>следований |
|----------------|----------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <i>США</i>     | 3008           | 916                                           | 23,3%                                       |
| Канада         | 1847           | 255                                           | 12,1%                                       |
| ЕС             | 375            | 78                                            | 17,2%                                       |
| Мексика        | 66             | 4                                             | 5,7%                                        |
| Япония         | 42             | 0                                             | 0,0%                                        |
| Австралия      | 18             | 14                                            | 43,8%                                       |
| Новая Зеландия | 0              | 14                                            | 100,0%                                      |
| В целом        | 5356           | 1281                                          | 19,3%                                       |

*UNU-MERIT GM Field Trials Database. Maastricht. Netherlands, April 2009.*

За период 2000–2008 гг. наибольшее количество испытаний составили тесты по проверке именно агротехнических свойств, которые возросли на 260%, с 185% в 2000 г. до 480% в 2008 г. С 2006 г. США и Канада провели 99,1% всех полевых испытаний агрономических характеристик растений.

С 2006 по 2008 г. тесты по проверке устойчивости к гербицидам составили 27,0%, по агрономическим характеристикам – 24,0%, техническим и другим свойствам – 18,9%, устойчивости к вредителям – 17,3% и по качеству продуктов – 12,9%.

По подсчётам, в этот же период два класса полевых испытаний – агрономических характеристик и качества продуктов – составили 2,9% всех испытаний в Мексике, 4,8% – в Японии, 10,2% – в ЕС. Для других стран и регионов эта цифра в целом составила более 30%: 34,7% – в Канаде, 41,9% – в США, 50,0% – в Новой Зеландии, 56,3% – в Австралии.

Применение сельскохозяйственных биотехнологий имеет ряд проблем:

- аллергия и токсичность новых продуктов;
- опасность появления насекомых с повышенной сопротивляемостью Bt-токсину;
- опасность появления сорняков, устойчивых к гербицидам;
- слабая система госконтроля безопасности новых продуктов;
- недостаточность информации о биотехнологических продуктах;
- влияние ограничений в других странах на ввоз ГМ-продуктов на внешнюю торговлю США.

С учётом экономической и общественной важности проблем правительство США намеревается утвердить новые правила госконтроля за биотехнологической продукцией для защиты потребителей и для того, чтобы избежать риска отзыва продукции с рынка. Управление по научно-технической политике при администрации президента США предлагает Администрации по продовольствию и лекарствам и Агентству по охране окружающей среды проводить предварительную оценку ГМ-культур до их полевых испытаний. Биотехнологические компании должны добровольно проводить оценку новых культур, полученных генно-инженерными методами, на предмет их токсичности или аллергенности.

С точки зрения международного законодательства, призванного регулировать вопросы биотехнологии, возможно, наиболее важными моментами являются следующие:

1. Абсолютно необходимо, чтобы регулирующая функция была сохранена даже там, где правительство считает биотехнологию важной для своего будущего, особенно в сельском хозяйстве, где система контроля должна быть отдельна и независима. Она должна приобрести общественную поддержку, гарантируя, что любое предпринятое действие, по крайней мере, так же безопасно, как и ранее практиковавшееся.

2. Многие виды сельскохозяйственной деятельности в мире причиняют вред окружающей среде и сокращают биоразнообразие. Технология, будь то современная биотехнология или другие подходы, может способствовать сокращению загрязнения и сохранению биоразнообразия (включая сельскохозяйственное биоразнообразие). Законодательные системы должны признать это и не исключать новую технологию за содержащийся в ней риск, не сопоставив его с риском, содержащимся в ныне используемой технологии.

3. Необходимо гарантировать, чтобы общественность была соответствующим образом информирована и понимала процесс принятия решений. Она должна иметь возможность обсуждать решения и влиять на ход этого процесса до того, как решения будут приняты.

4. Научный вклад очень важен, и решения, принятые на основе рекомендаций консультативных научных советов, наиболее ценны. Нужно осознавать, однако, что отсутствует большое количество научных данных, которые необходимы для полной оценки риска. Решения в отношении экологического воздействия часто базируются не на научных фактах, а скорее на научной интуиции и опыте. Управленческие структуры, ответственные за соответствующее решение, должны принимать это во внимание, поэтому мониторинг очень важен.

5. Тщательного рассмотрения подвергают не только научный вклад, требуется также ещё и система политических решений. Должны быть разработаны механизмы, позволяющие рассматривать социально-экономические проблемы. В Великобритании, например, этого достигли созданием научно-консультативной системы, однако в конечном счёте решения принимают министры и политики.

Динамика наращивания коммерческого внедрения ГМ-культур является беспрецедентным случаем такого активного распространения новой технологии в истории сельского хозяйства. Подобно большинству преобразований, этот процесс сопровождается противоречиями и оппозицией. Какие тенденции и факторы развития будут оказывать решающее воздействие на становление аграрной биотехнологии в течение следующего десятилетия?

Стремясь расширить сферу распространения ГМ-продукции и опровергнуть доводы скептиков, в 2004 г. правительство США разработало государственную программу продвижения трансгенных культур на мировой рынок и создало специальный сайт в Интернете (<http://usbiotechreg.nbii.gov>). На сайте размещена обширная информация о различных ГМ-культурах и мерах правительства США по разработке новых видов трансгенной продукции. Данный проект, однако, подвергся острой критике со стороны части потребителей и фермерских групп, которые обвинили администрацию Буша в использовании средств налогоплательщиков для поддержания интересов корпораций в пропаганде небезопасной технологии. Представитель Союза потребителей, выступающий против внедрения ГМ-культур в производство, заявил, в частности, что американское правительство проявляет большую заботу о крупных корпорациях, нежели об интересах фермеров и обычных граждан.

По словам Д. Малак из отдела политики в области биотехнологии Государственного департамента США, указанному подразделению в 2004 г. было выделено 500 тыс. долл. на осуществление мер по продвижению ГМ-продуктов на мировой рынок. Полученные средства использовались для финансирования организации специальных конференций по проблемам использования ГМ-продукции за рубежом и оплаты американских докладчиков. Вместе с тем было отмечено, что Государственному департаменту пока удалось сделать немного. В частности, была лишь достигнута договорённость с правительством Филиппин о посевах ГМ-кукурузы и с руководством Индии о внедрении трансгенного хлопка [1].

## Новые технологии в семеноводстве США

### Технология «Апомиксис»

В конце прошлого века наиболее сенсационным научным событием стало, несомненно, клонирование овцы в Эдинбурге (Великобритания). На этом фоне остались незамеченными сообщения об «апомиктической революции» и её перспективах, появившиеся в западных популярных и научных изданиях. Приведём заголовки лишь некоторых из них: «**Апомиксис**: социальная революция сельского хозяйства» («*Biotechnology & Development Monitor*», 1994); «**Апомиксис**: бесполовая революция» («*Science*», 1996); «Революция в производстве

гибридной кукурузы» («*Agricultural Research*», 1998); «Никакого секса, пожалуйста, мы – растения» («*Economist*», 1997); «Огромное будущее **апомиксиса**» («*Trends in Plant Science*», 1998).

**Апомиксис** – это размножение организмов, не сопровождающееся половым процессом. В более узком понимании – это вторично бесполое размножение, при котором зародыш развивается без оплодотворения вследствие нарушения предшествующих этапов полового размножения. Наибольшего распространения и разнообразия форм апомиксис достигает у цветковых растений (так называемая агамоспермия, или бесполосемянность). Он установлен более чем в 300 родах из 43 семейств цветковых растений. Чаще всего апомиксис встречается в семействе злаков, сложноцветных, рутовых, паслёновых. Апомиксис может быть наследственным (регулярным) или ненаследственным (случайным). Различают автономный апомиксис, при котором зародыш развивается без опыления или раздражения рыльца пестика, и в разной степени индуцированный, когда для развития зародыша требуется опыление или даже проращивание пыльцы на рыльце, а иногда и оплодотворение центрального ядра зародышевого мешка [2].

Самая распространённая форма апомиксиса у цветковых растений – редуцированный партеногенез (зародыш гаплоидный), известный в 16 семействах, в том числе у ряда культурных растений (у свёклы, хлопчатника, льна, табака, ячменя, пшеницы и др.) и нередуцированный (зародыш диплоидный), встречающийся у мятлика и других злаков, у лютиков, манжеток, зверобоев, ястребинок, одуванчиков. С партеногенезом могут сочетаться и другие формы апомиксиса – апогамия, адвентивная эмбриония (зародыш развивается вне зародышевого мешка из клеток семяпочки). При этих формах апомиксиса часто развиваются несколько зародышей в одном семени (полиэмбриония, постоянно наблюдается у цитрусовых). Генетические особенности апомиксиса используют в селекции некоторых культурных растений [6].

**Апомиксис** – это специфический способ размножения, позволяющий получать абсолютные генетические копии материнского растения, т.е. созданная природой технология клонирования. При **апомиксисе** жизненный цикл укорочен, а эмбриогенез осуществляется в результате деления неоплодотворённых клеток, не прошедших через редукцию числа хромосом. При этом происходит передача полного материнского генотипа следующему поколению.

В основном у растений встречаются два типа апомиксиса – диплоспория и апоспория. При диплоспории зародышевый мешок развивается из материнской клетки мегаспоры, не прошедшей мейоза, и таким образом неоплодотворенная яйцеклетка, которая далее даёт начало следующему поколению, воспроизводит генетическую копию материнского растения. При апоспории зародыш формируется из соматической клетки (не половой клетки) и также является абсолютным генетическим клоном.

В 1993 г. Минсельхоз США начал совместные с Россией исследования по апомиктической кукурузе с использованием российского экспериментального материала. Проект поддержал Российский фонд фундаментальных исследований. Работа стартовала весной 1994 г. в Оклахоме (США). Среди привезённых

из Новосибирска линий гибридов сразу же удалось выявить несколько 39-хромосомных апомиктов. Примечательно то, что все они имели идентичный набор из девяти одних и тех же хромосом трипсакума (дикого сородича кукурузы). Именно эти девять хромосом минимально необходимы для поддержания апомиктического способа размножения у гибридов. К сожалению, «дикие» хромосомы довольно существенно ухудшали хозяйственно важные признаки культуры, прежде всего вес семян. У гибридов он был в среднем равен 0,06 г, что гораздо ближе к весу семян трипсакума (~0,03 г), чем кукурузы (~0,22 г). Кроме того, с точки зрения коммерческой перспективы была нежелательна избыточная кустистость гибридов.

Понимая, что апомиктические гибриды должны будут конкурировать за рынок с кукурузой, был проведён сравнительный анализ признаков, по которым они её превосходят. К таковым необходимо отнести урожай зеленой массы, высокое содержание в ней протеина и других питательных компонентов, содержание в семенах полиненасыщенных жирных кислот, устойчивость растений к засухе, переувлажнению и засолению почвы. Эти несомненные преимущества позволили бы уже сейчас использовать гибриды в качестве фуражной культуры. Однако пока они не могут давать семян из-за полной мужской стерильности (апомиктам необходимо оплодотворение центральной клетки, иначе зерновки не развиваются). Чтобы получить потомство от гибридов, приходится рядом высевать кукурузу в качестве опылителя. У первоначально выделенных линий фертильность (количество способных к дальнейшему развитию семян) была не более 3–5% на початок. Удалось выяснить, что в значительной степени это связано с особенностями роста пыльцевых трубок при опылении. Подбором опылителей и других факторов удалось добиться 50%-ной фертильности, что с учётом большого числа початков на растениях-гибридах позволяет им конкурировать по семенной продуктивности с кукурузой.

В сентябре 1995 г. полученная апомиктическая кукуруза была запатентована в США и в 11 других странах. Но самое главное, создана огромная коллекция апомиктических линий, которую можно использовать в качестве исходного материала как в академических исследованиях, так и в практической работе по созданию коммерческих сортов. В это же время были получены патенты Минсельхоза США на апомиктический вариант проса и на некоторые комплексы генетических маркёров [9].

В 2001 г. на технологию «Апомиксиса» было получено 15 патентов. Пять из них принадлежали государственному сектору, пять – транснациональным корпорациям и четыре – академическим исследовательским центрам. Однако корпорации смогли поучаствовать также в патентах, полученных государственными учреждениями (табл. 7).

Министерство сельского хозяйства США развивало свою патентную политику в отношении технологии «Апомиксиса» через серию консультаций с семеноводческой индустрией США. В результате было решено картировать, клонировать и секвенировать гены в запатентованных вариантах для того, чтобы обеспечить широкое применение этой технологии в пределах страны. До этого решения министерство заключило конфиденциальные соглашения с бо-

Таблица 7

**Патентные заявки на технологию «Апомиксиса»**

| Учреждение                    | Статус          | Количество |
|-------------------------------|-----------------|------------|
| Минсельхоз США                | Государственный | 3          |
| Лаборатория Колд Спринг Арбор | Государственный | 3          |
| ORSTOM/CIMMYT                 | Государственный | 1          |
| Университет штата Юта         | Государственный | 1          |
| Новартис                      | Частный         | 2          |
| Пайониа хай-брэд, Дюпон       | Частный         | 1          |
| Адванта                       | Частный         | 1          |
| Зюдвестдойче Заатцухт         | Частный         | 1          |
| Мэри Уайлс Эбанк              | Частный         | 1          |
| Ром и Хасс                    | Частный         | 1          |

*Grain. Apomixis: The Plantbreeders Dream // Seedling. September, 2001*  
 ([www.grain.org/publications/seed-01-9-2-en.cfm](http://www.grain.org/publications/seed-01-9-2-en.cfm)).

более чем 20 компаниями, включая «Пайониа хай-брэд интернешнл» (*Pioneer Hi-Bred International*). Будут ли влиять эти предварительные соглашения на развитие технологии «Апомиксиса», неизвестно.

По расчётам, апомиксис может значительно снизить стоимость производства гибридных семян, так как фермеры не всегда могут сохранить семена гибридных растений из-за нарушения условий культивирования. Компании нуждаются в посевных площадях и рабочих местах для поддержания родительских инбредных линий для дальнейшего скрещивания. С помощью апомиксиса гибридные семена могут быть получены из самих же гибридных семян, приводя к экономии времени и затрат. По подсчётам австралийских специалистов, введение технологии «Апомиксиса» для риса может стоить 2,5 млрд. долларов.

В семеноводстве применение апомиктической акселерации может быть значительным. Представитель «Агбиотекнет» (*AgBioTechNet*) прокомментировал, что растениеводы «смогут генетически адаптировать растения к условиям микросреды, нежели в текущей агропрактике они адаптируют все условия культивирования к требованиям культивируемого растения». Такая изменённая агротехническая схема в дальнейшем окажет влияние на исследования в геномике растений. Апомиксис и геномика растений будут также сочетаться для быстрого разведения однородных растений, используемых для получения конечных продуктов, будь то продукты питания, или текстильное волокно, или фармацевтические препараты, или пластик или какое-либо другое сырьё.

От того, кто будет контролировать и владеть технологией «Апомиксиса», будет зависеть, как она будет влиять на фермеров, растениеводов и на семеноводство в целом. Если технологией будет владеть государственный сектор, то её использование приведёт к снижению стоимости семян и к наличию

большого разнообразия растений, необходимых фермерам. Если же одна или несколько компаний будут контролировать эту технологию, то эффект будет противоположным. Экономия средств, полученная от использования «Апомиксиса», позволит этим компаниям вытеснять конкурентов или навязывать жёсткие условия лицензирования.

В настоящее время Минсельхоз США проводит обширные исследования по технологии «Апомиксис», которая позволяет обойти «гибридный барьер» и предоставляет возможность фермерам получать необходимые семена для посева на следующий год. Эта технология наиболее активно применялась министерством для получения новых сортов, прежде всего кукурузы и проса. Технология «Апомиксиса» разрабатывалась государственными научно-исследовательскими организациями на базе государственного финансирования. Однако внедрение технологии имеет определённые проблемы, так как права на многие биотехнологии, используемые для получения апомиктичных культур, принадлежат частным компаниям. С коммерческой точки зрения частный сектор заинтересован более в индуцированном апомиксисе. Такой вид позволяет «включать» апомиксис при производстве семян для снижения издержек и «выключать» его после поставок фермерам. Это приводит к тому, что фермеры вынуждены будут покупать семена ежегодно для посевной кампании. Специалисты считают, что технология «Апомиксиса» может получить широкое коммерческое применение только через 15–20 лет [5].

### **Технология «Терминатор»**

Другая, разработанная биотехнологическими корпорациями США в 1990-х годах технология **«Терминатор»**, предусматривает производство стерильных трансгенных семян. Таким образом, фермеры, вместо того, чтобы сохранять семена от прошлого урожая, будут вынуждены каждый год закупать их у корпораций.

В 90-е годы Минсельхоз США и частная компания «Дельта энд пайн ленд» (*Delta & Pine Land*) разработали технологию ограниченного использования генного материала (*Genetic Use Restriction Technology – GURT*). Эта технология известна как «Терминатор» или как «суицидные семена». У этих семян либо не происходит развития во втором поколении – это одна форма, vGURT, либо не проявляются генные модификации – другая форма, tGURT. Технология **«Терминатор»** обеспечивает автоматическую защиту для семеноводческих корпораций в отношении прав интеллектуальной собственности, однако есть большие опасения, что она также небезопасна для потребителей.

Существуют две принципиально разные технологии GURT:

**vGURT** (*varietal GURT*). Такая форма технологии производит стерильные семена, что означает, что фермер, покупая их, не может получить семена для последующего применения. Эта технология не касается, конечно, огромного числа фермеров, которые используют гибридный материал, поскольку они не производят свой для посева, а покупают специальные гибридные семена у семеноводческих компаний по контракту с условием, что они не будут повторно использовать этот материал для второго поколения. Эта технология вводит

ограничения на уровне развития целостного растительного организма, отсюда термин *vGURT*.

**tGURT** (*trait GURT*). Эта форма технологии изменяет растение таким образом, что генетические модификации в нём не функционируют до тех пор, пока данное растение не будет обработано особым химическим веществом, которое продаётся той же биотехнологической компанией. Фермеры могут сохранить семена для посева на следующий год. Однако растение не будет иметь нужной генетической характеристики без обработки определённым веществом-активатором, поэтому фермеры вынуждены будут покупать эти вещества у семеноводческих компаний. Эта технология создаёт ограничение на уровне свойства растения, отсюда название технологии **tGURT**.

Технология **GURT** является разновидностью Системы защиты технологий (**TPS** – *Technology Protection System*). Для надёжного функционирования этой системе требуются три ключевых гена, а также ряд определённых генных структур – промоторов. Принципиально, с генетической точки зрения, технология основывается на генетической системе *Cre/Lox*. На семена воздействуют антибиотиком тетрациклином для активации токсина сапорина, который уничтожает зародыши семян. Без воздействия тетрациклином *GURT*-гены остаются неактивными.

**TPS** была разработана компанией «Дельта энд пайн ленд» и Минсельхозом США в целях защиты прав интеллектуальной собственности семеноводческих компаний, которые инвестируют огромные средства в новые технологии культивирования, а также для того, чтобы предотвратить распространение генов от трансгенных растений к диким. «Дельта энд пайн ленд» и МСХ США являются не единственными разработчиками технологии «Терминатор», другие компании тоже занимаются этим направлением генетических исследований. Например, «Астразенека» (*AstraZeneca*) разработала собственную технологическую систему, которая получила патент США в 1998 г. Другой патент был получен «Синджента» (*Syngenta*) в 2001 г. В 2000 г. специалисты констатировали, что более десятка компаний и государственных институтов имели 31 патент на различные типы технологий стерилизации семян (табл. 8). Считается, что эти технологии могут быть востребованы в 80 странах.

Известны, по крайней мере, три технологические стратегии *vGURT*. В стратегии № 1 индуцируют активацию гена, который контролирует синтез белка, ингибирующего образование эмбрионов. Этот ген можно инактивировать с помощью генного блока. При продаже семена обрабатываются химическим веществом, которое приводит к работе гена-разрушителя в семенах второго поколения. Следовательно, семена второго поколения годятся для потребления, но оказываются стерильными для их размножения. Эта технология разработана компанией «Дельта энд пайн ленд» и Министерством сельского хозяйства США.

Стратегия № 2 отличается тем, что производитель обрабатывает семена в каждом поколении и прекращает обработку перед продажей семян. Здесь ген-разрушитель выходит из строя, приводя к стерилизации семян. В этой технологии наоборот химическое вещество приводит к инактивации гена-разрушителя, что позволяет восстановленному протеину сохранить фертильность семян. Эта технология разработана компанией «Зенека».

Таблица 8

**Список компаний, имеющих патенты на технологию GURT**

| Компания/ Институт (разработчик)                   | Номер патента                | Дата получения |
|----------------------------------------------------|------------------------------|----------------|
| Сиджента (Новартис)                                | US 6,147,282                 | 14.11.2000     |
| Сиджента (Новартис)                                | US 5,880,333                 | 9.03.1999      |
| Сиджента (Астразенека)                             | US 5,808,034                 | 15.09.1998     |
| Сиджента (Астразенека)                             | WO 9738106A                  | 16.10.1997     |
| Сиджента (Астразенека)                             | WO 9735983A2                 | 2.10.1997      |
| Сиджента (Зенека)                                  | WO 9403619A2<br>WO 9403619A3 | 17.02.1994     |
| Делта энд пайн ленд, МСХ США                       | US 5,723,765                 | 3.03.1998      |
| Делта энд пайн ленд, МСХ США                       | US 5,925,808                 | 20.07.1999     |
| Делта энд пайн ленд, МСХ США                       | US 5,977,441                 | 2.11.1999      |
| ВАСФ (Экссид дженетикс),<br>Университет Айова)     | WO 9907211                   | 18.02.1999     |
| Фармация (Монсанто)                                | WO 9744465                   | 27.11.1999     |
| Дюпон (Пайоника хай-бред)                          | US 5,859, 341                | 12.01.1999     |
| Корнел рисерч фаундейшн                            | US 5,859,328                 | 12.01.1999     |
| Пердью рисерч фаундейшн<br>(при поддержке МСХ США) | WO 9911807                   | 11.03.1999     |

<http://www.adonline.id.au/terminatorseeds/gurt-hybrids.php>

Стратегия № 3 имеет дело с культурами, воспроизводимыми вегетативным способом с помощью, например, корней или клубней, или других вегетативных органов, чтобы предотвратить их рост во время хранения и продлить срок сохранности семян. Это достигается путём активации гена, блокирующего рост растительных тканей, с помощью химического вещества. Эта технология разработана компанией «Сиджента» [11].

TPS была разработана д-ром Мелвином Оливером и четырьмя сотрудниками Службы сельскохозяйственных исследований МСХ США вместе с учёными компании «Дельта энд пайн ленд». В технологии было выделено три гена. Два гена получены из бактерии – *Bacillus amyloliquefaciens*, один – из растения, не определённого по систематике. Позже было показано, что растительный ген получают либо из хлопка, либо из мыльнянки лекарственной (*Saponaria officinalis*) сем. гвоздичных (*Caryophyllaceae*). В 2001 г. в интервью Мелвин Оливер пояснил, что TPS – это генная конструкция, состоящая из гена-терминатора (гена, продукт которого инактивирует синтез белка на рибосомах), гена, контролирующего синтез фермента рекомбиназы, и гена, отвечающего за синтез белка-репрессора.

TPS-гены находятся под контролем такого регуляторного участка, который работает на поздних стадиях эмбриогенеза (*Late Embryogenesis Abundant – LEA*). Это – такая последовательность ДНК, которая регулирует работу гена, т.е. либо включает его, либо выключает. TPS-гены под контролем *LEA*-участка

начинают активироваться на стадии позднего эмбриогенеза, когда семена уже развиваться (*Crouch, 1998, Hundertmark & Hinch, 2008*).

Токсин, инактивирующий синтез белка на рибосомах в клетке растений, кодируется одним из *TPS*-генов. Токсин известен под другим названием – сапорин. Если он начинает действовать на уровне клетки, даже в очень малой концентрации, то клетка перестаёт синтезировать любой белок, так как не работают клеточные структуры, на которых происходит синтез белка, – рибосомы. Понятно, что такая неспособность клетки синтезировать свой собственный белок оказывается фатальной.

Считается, что сапорин не является токсином для других организмов, кроме растений. Однако некоторые учёные выразили сомнения по этому поводу. По их мнению, сапорин имеет бактериальное происхождение, и в норме не вырабатывается у растений [12].

Однако, согласно научно-энциклопедическим источникам, сапорин относится к группе химических соединений – сапонинов. Сапонины – сложные органические безазотистые соединения из группы растительных гликозидов [3]. В своём составе содержат в качестве агликона тритерпеноидный или стероидный спирт, а в качестве углеводной части – олигосахаридную цепь из нескольких моносахаридов. Содержится главным образом в растениях: сем. Розовых – *Rosaceae*, подсем. спирейных – *Spiraeoideae*, сем. Гвоздичных – *Caryophyllaceae*, сем. Сапировых – *Sapindaceae*, и некоторых морских животных, например, в тканях типа иглокожих – *Echinodermata*. Стероидные сапонины применяют как дешёвое сырьё для получения стероидных гормонов, в производстве – для получения огнетушителей, в медицине как отхаркивающее и мочегонное средство.

Сапонины обладают поверхностно-активными свойствами, их растворы легко вспениваются. Даже при разведениях порядка 1: 50000 сапонины проявляют гемолитическую активность, доказана токсичность сапонинов для рыб [2]. При внутривенном введении высокотоксичны – в ничтожных концентрациях вызывают разрушение (гемолиз) эритроцитов. По мнению авторов энциклопедии «Жизнь растений», сапонины – не безобидные вещества, но важно, каким образом они попадают в организм человека или животного [4]. Считается, что при приёме внутрь (перорально) не токсичны, так как не всасываются или разрушаются в желудочно-кишечном тракте. Но в этом случае эти вещества могут проявлять себя как сильные аллергены.

По другую сторону гена, контролирующего выработку токсина, инактивирующего синтез белка в клетке, находится последовательность *Lox*, которая блокирует *LEA*-участок, что позволяет контролировать активацию системы *TPS*.

Для коммерческого успеха семенные компании должны иметь большое количество семян с инактивированной системой *TPS*, прежде чем активировать её и продать фермерам. Наличие последовательности *Lox* блокирует функцию гена, определяющего выработку токсина, что позволяет семенам нормально развиваться.

Для активации системы *TPS* семенные компании обрабатывают семена химическим стимулятором – например, тетрациклином (который является антибиотиком, полученным из низших грибов *Streptomyces spp.*). В результате,

когда семена в своём развитии достигают поздней стадии эмбриогенеза, ген, отвечающий за синтез сапорины, включается, сапорин вырабатывается и действует как токсин, в результате чего все семена гибнут.

Такая генетическая модель работает почти во всех стратегиях *TPS*. Получают физиологически нормальные семена с той только разницей, что они не дают потомства. *TPS*-семена имеют в своём строении питательную ткань эндосперм, поэтому, считается, они могут быть использованы в пищевых целях, если это касается пшеницы, или при получении волокон, если это касается хлопка. Предполагают, что эта технология позволит привлечь частные инвестиции в разработку новых сортов таких растений, как пшеница, хлопок, соя.

Поправки к Конвенции ООН о биоразнообразии, принятые в 2000 г., ввели всемирный мораторий на испытания и коммерческое использование, «Терминатора» до тех пор, пока не будут окончательно ясны её социально-экономические последствия. В 2001 г. многочисленные правительственные и неправительственные организации, научные учреждения и отдельные представители выступили против этой технологии. «Монсанто» (*Monsanto*) – нынешний владелец патентов на технологию «Терминатор» заявила, что не будет коммерциализировать её. Однако вдали от взглядов общественности усилия по продвижению этой технологии продолжают.

Сторонниками внедрения технологии «Терминатор» также являются Канада, Австралия и Новая Зеландия. К ним присоединилась и Великобритания. Правительство Великобритании в 2006 г. изменило своё отношение к технологии «Терминатор». Департамент экологии, продовольствия и сельского хозяйства Великобритании заявил, что будет принимать и рассматривать заявки на проведение испытаний технологии. Показательно, что такое решение принято незадолго до конференции в Бразилии (20–31 марта 2006 г.), на которой был рассмотрен новый доклад о технологии «Терминатор» и обсуждались вопросы, связанные с мораторием. Как следует из официального письма, направленного правительством членам рабочей группы по технологии «Терминатор», власти Шотландии также поддерживают эту инициативу. «Учитывая, что существуют как выгоды, так и риски, связанные с ГМ-культурами, все страны должны сделать свой осознанный выбор», – говорится в документе.

Общественность бурно отреагировала на это высказывание, заявив, что правительство ставит интересы биотехнологических компаний выше интересов миллионов фермеров, благополучие которых зависит от возможности сохранять семена. Что касается регионов Соединённого Королевства Великобритании, то наиболее распространена такая практика ведения сельского хозяйства в Шотландии, она позволяет значительно сократить расходы фермеров. Сохранение семян – единственный возможный путь выживания также для миллионов фермеров в странах «третьего мира».

Попытки сорвать мораторий предпринимаются уже не первый раз. Так, в начале 2006 г. на встрече ООН правительства Австралии, Новой Зеландии, Канады и США пытались отменить действие принципа предосторожности и предложили проводить экологическую экспертизу в каждом конкретном случае применения «Терминатора». Однако в 2006 г. ООН подтвердила мораторий на развитие технологии *GURT* на следующие 5 лет [10].

Несмотря на общественное противостояние и официальную позицию ряда стран, такие компании как «Монсанто» и «Синджента», продолжают интенсивно лоббировать технологию «Терминатор». В США ведутся испытания технологии в условиях теплиц [13].

Большинство стран выступают резко против технологии «Терминатор» и считают необходимым сохранить мораторий даже, несмотря на давление со стороны корпораций и правительств ряда стран. В своих выступлениях представители делегаций Испании, Египта, Филиппин, стран Африки говорили о потенциальных рисках и последствиях «Терминатора» для сельского хозяйства, продовольственной безопасности и настаивали на необходимости национальных запретов на использование технологии. Норвегия, Пакистан, Кения и ЕС защищают существующий мораторий. Индия и Бразилия апеллируют к собственному законодательству, запрещающему стерилизацию семян.

Несмотря на жёсткую оппозицию, перспектива технологии «Терминатора», в которой заинтересованы семенные корпорации, правительства США и других стран, просматривается в будущем. Основные владельцы новых технологий будут заниматься их внедрением в зависимости от степени приближения к коммерческому использованию. Применение технологии «суицидных семян» также волнует пропозицию, так как существует потенциальная угроза биоразнообразию из-за распространения трансгенных растений. Поэтому американским биотехнологическим сектором ведётся активный поиск баланса между правами семенных корпораций, с одной стороны, правами традиционно настроенных людей, с другой стороны, а с третьей – сохранением необходимого для реального устойчивого развития многообразия природного мира.

\* \* \*

Многие задачи, принято считать, могут решаться благодаря биотехнологии. Однако одновременно нельзя забывать о последствиях, к которым может привести столь бурное развитие биотехнологии, в частности, в сельском хозяйстве. Более того, существует мнение, что массовое внедрение в жизнь генной инженерии и биотехнологии, наоборот, порождает новые, ещё более острые проблемы. Ряд биотехнологий сталкивается с неоднозначным восприятием в общественном сознании – от сдержанного, настороженного отношения до полного неприятия и протеста. Существующие озабоченности можно отнести к нескольким группам.

1. Ряд опасений связан с отсутствием гарантий санитарно-гигиенической безопасности биотехнологических разработок. На сегодняшний день отсутствуют чёткие данные относительно того, безопасны ли ГМ-сельскохозяйственные продукты для здоровья людей и животных или регенеративная терапия для пациентов. Вызывают опасения зарегистрированные случаи аллергических реакций на продукты из ГМ-растений, выработки иммунитета к отдельным антибиотикам в результате употребления в пищу трансгенной продукции. По-разному в различных странах и регионах решается вопрос маркировки ГМ-продуктов питания и лекарственных средств. Отсутствие обязательной маркировки в ряде стран вызывает среди потребителей протест и обвинения в адрес властей и бизнеса в навязывании им небезопасных трансгенных продуктов – «*Frankenstein Foods*» – без адекватного предупреждения.

2. Экологическая составляющая опасений, вызванных биотехнологиями, связана с искусственным созданием преимуществ для считанных единиц сельскохозяйственных культур, чему дали распространение «зелёная революция» 1960-х годов и современные биотехнологии. Это представляет собой угрозу для биологического разнообразия, необходимого для поддержания естественного баланса экосистем и, в конечном счёте, выживания человечества. Кроме того, специалисты усматривают «биоопасность» в неконтролируемом перемещении новых генов и их сочетаний от модифицированных растений, животных, бактерий.

3. В контексте распространения биотехнологий многие усматривают появление комплекса экономических и юридических проблем, связанных с вопросами интеллектуальной собственности. Биотехнологической индустрии в её самом мощном – американском – варианте свойственна тенденция к вертикальной интеграции и монополизации. Производители трансгенных семян кукурузы, риса, хлопка, сорго и других культур в США проводят жёсткую политику в отношении фермеров, требуя строгого соблюдения лицензионных соглашений, запрещающих, в частности, сохранение семян для использования в следующем году. Биотехнологические компании занимаются «биоразведкой» в странах третьего мира, на которые приходится 90% биоразнообразия планеты, в поисках живых организмов со свойствами, которые могут иметь коммерческое применение, изучая накопленный веками опыт аборигенов. Удачные находки патентуются западными компаниями, которые в результате получают эксклюзивные права на реализацию полученных продуктов, в том числе в странах третьего мира, где нередко протесты против такого «биопиратства».

4. Неприятие биотехнологий нередко выражают традиционные религиозные и этические системы. Любая биотехнология подразумевает некое вмешательство в «естественные» процессы жизнедеятельности живых организмов или использование их в качестве сырья, материала, «объекта» или «инструмента» («инструментализация», «объективация» живого). Это может восприниматься как «игра в Бога» или просто насилие над природой. Увлечение исследованиями генетического кода рассматривается как «редукционизм», сводящий сущность живых организмов только к структуре их ДНК. Объектом такого рода критики является широкий спектр биотехнологий, главным образом, генетическая модификация сельскохозяйственных растений, животных и генная терапия человека.

## **Список литературы**

1. БИКИ. № 62 (8708). 3.06.2004.
2. Биологический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1989.
3. Большая Советская энциклопедия. Т. 22. М.: Советская энциклопедия, 1975.
4. Жизнь растений. Т. 5(1). М.: Просвещение, 1980.
5. Семеноводство США: современное состояние, тенденции, перспективы / Аграрный сектор США в начале XXI века. Т. 2. М., 2008.
6. *Хохлов С.С.* Апомиксис: классификация и распространение у покрытосеменных растений / Успехи современной генетики. Т. 1. М., 1967.

7. *Clive J.* Global Review of Transgenic Crops. ISAAA Briefs. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Ithaca, New York, 1997, 1999; *Clive J.* Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. Ithaca, New York, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008; Total Arable Land: World Bank (2009), World Development Indicators Database.
8. *Clive J.* Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. 2009 ([www.isaaa.org](http://www.isaaa.org)).
9. Grain. Apomixis: The Plantbreeders Dream Seedling. September, 2001 ([www.grain.org/publications/seed-01-9-2-en.cfm](http://www.grain.org/publications/seed-01-9-2-en.cfm)).
10. *Maxwell I.* Genetic Use Restriction Technology: Seeds of Destruction? May 23, 2008 (<http://davesgarden.com/guides/articles/view/1165>).
11. Potential Impacts of Genetic Use Restriction Technologies (GURTs) on Agricultural Biodiversity and Agricultural Production Systems. Rome, 2001 (<http://www.fao.org/waicent/FaoInfo/Agricult/AGP/AGPS/pgr/itwg/pdf/P1W7E.pdf>).
12. <http://www.adonline.id.au/terminatorseeds/gurt-hybrids.php>
13. <http://www.biosafety.ru/index.php?idp=23&idn=348>
14. <http://www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops>.
15. UNU-MERIT GM Field Trails Database. Maastricht. Netherlands, April 2009.