

# ПРОБЛЕМЫ НАУКИ

Известия ТСХА. выпуск 3. 2010 год

УДК 631.151.2:658.589

## СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ «УСТОЙЧИВОЙ» ИНТЕНСИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В.И. ГЛАЗКО, Т.Т. ГЛАЗКО

(Центр нанобиотехнологий, кафедра генетики и разведения животных  
РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева)

Рассматриваются современные глобальные проблемы, препятствующие росту производства сельскохозяйственного продовольствия. Обсуждаются пути их преодоления на основании использования смешанных систем производства продовольствия, генетически модифицированных сортов растений. Отмечается необходимость комплексного подхода к использованию инновационных агротехнологий.

*Ключевые слова:* биоразнообразии, смешанные системы производства, трансгенез, прецизионные технологии.

В последние годы становится все более очевидным, что сельское хозяйство является двигателем роста, развития и стабильности государства. В то же время важно подчеркнуть, что инвестиции в сельское хозяйство должны реально соответствовать планируемым результатам, что требует глубокого анализа особенностей в организации и развитии сельского хозяйства в целом. Выделяются три принципиальных проблемы современного сельского хозяйства, которые до сих пор остаются недостаточно оцененными: особенности организации систем производства с.-х. продукции; сужение разнообразия генетических ресурсов с.-х. видов и, как следствие, неготовность к новым вызовам меняющихся условий окружающей среды; ограниченность использования современных наукоемких методов для усо-

вершенствования с.-х. производства, в частности, генетически модифицированных организмов [1].

Сужение биоразнообразия. XX век оказался веком, в котором человечество впервые осознало, что его техногенное развитие постепенно ставит на грань риска его собственное существование. В 1992 г. 190 стран договорились и разработали конвенцию ООН по биологическому разнообразию с целью уменьшить его потерю к 2010 г. По многим показателям очевидно, что мир оказался не в состоянии достигнуть уменьшения скорости потерь биоразнообразия к 2010 г. Например, в списке видов, включенных в Красную книгу Международного союза охраны природы, документально обоснован риск исчезновения 47 677 видов: 17 291 находятся под угрозой полного исчезновения вклю-

чая 12% птиц, 21% млекопитающих, 30% амфибий, 27% строящих рифы видов кораллов и 35% видов хвойных и цикад. Индекс жизни планеты свидетельствует о том, что распространенность диких видов уменьшилась на 30% с 1970 г.; леса мангрового дерева потеряли пятую часть своих территорий с 1980 г., и 29% водорослей исчезли [8]. Такие потери биоразнообразия создают неблагоприятные прогнозы для дальнейшего существования человечества. В соответствии с исследованиями экономики экосистем и биоразнообразия, выполненными в 2009 г., половина благосостояния 1,1 млрд самых бедных людей в мире непосредственно зависит от естественных природных источников: урожая диких видов, естественного опыления культурных растений, предупреждения бедствий, от водных ресурсов и выращивания традиционных культур. Выполненные исследования позволили оценить полную глобальную ежегодную экономическую стоимость потери биоразнообразия, которая достигает величин между 1,35 и 3,1 трлн долл. США [8]. Кроме того, разрушение тропических лесов (сокращающихся на 6 млн га каждый год), ответственное за почти пятую часть эмиссии парникового газа, является ведущей компонентой изменений климата. Одной из главных причин генетической эрозии культурных растений является вытеснение местных сортов улучшенными или коммерческими вариантами. Причем этот процесс не контролируется.

Глобальная информационная система генетических ресурсов животных в сфере продовольствия и сельского хозяйства ФАО содержит информацию о 7616 породах домашнего скота. Среди них около 20% классифицированы как находящиеся в зоне риска исчезновения. На протяжении последних шести лет 62 породы вымерли: почти ежемесячно погибает одна порода. Эта статистика пред-

ставляет только частичную картину генетического разрушения. В 36% случаев отсутствуют данные о популяциях. Среди многих наиболее продуктивных пород крупного рогатого скота генетическое разнообразие внутри породы подорвано использованием для размножения лишь немногих наиболее высокопродуктивных производителей.

Потеря биологического разнообразия лишает наших потомков прибыли, размеры которой в настоящее время неизвестны. Следует учитывать также, что к настоящему времени в глобальном масштабе уже исчерпаны возможности дальнейшего экстенсивного развития сельского хозяйства в связи с существенным сокращением плодородных почв, увеличением их загрязненности и деградации. Ведущее значение для дальнейшего развития сельского хозяйства приобретают методы «устойчивой интенсификации», к которым прежде всего относятся прецизионные агротехнологии.

Смешанные системы производства сельскохозяйственной продукции. Недостаточно разработанными до сих пор остаются сравнительная оценка эффективности различных систем ведения сельского хозяйства в разных условиях окружающей среды и управления ими. На с.-х. системы в различных частях мира оказывают влияние разные факторы, такие как демографический рост, увеличение доходов и урбанизация, растущие запросы на животноводческую продукцию, конкуренция за землю и воду, имеющие огромное влияние на глобальную продовольственную безопасность. Крестьяне, занимающиеся растениеводством и животноводством, во всем мире являются хранителями и накопителями знаний устойчивого земледелия в конкретных условиях окружающей среды, но стремительные глобальные экологические изменения, разрушения привычной крестьянской системы производства

могут привести к утрате накопленного опыта. Следует подчеркнуть, что именно эти обстоятельства, связанные с биологическими, социальными, экономическими факторами, динамикой биоразнообразия не учитываются в современных научных оценках, технических и политических рекомендациях, направленных на обеспечение роста растениеводства и животноводства.

Недавно Консультативная группа по международному исследованию сельского хозяйства (Consultative Group on International Agriculture Research — CGIAR) рассмотрела проблемы смешанной системы ведения сельского хозяйства, в котором объединено растениеводство и животноводство. Смешанные системы позволяют объединять различные производства внутри одной фермы; в таких системах домашний скот обеспечивает необходимые для земледелия удобрения, а остатки урожая — корм для скота. Кроме того, доход от скотоводства создает буферные запасы продовольствия при низких урожаях в засушливые годы. Такие смешанные системы могут интенсивно использоваться как близко к городским рынкам, так и в удаленных от рынков областях. Их использование создает много возможностей для устойчивого увеличения продовольственных ресурсов, что, в свою очередь, будет увеличивать доходы, продовольственную и экологическую безопасность для людей. Однако в течение следующих 20 лет велика вероятность разрушения таких смешанных хозяйств в связи с ростом населения, экологическими изменениями и ростом запросов на продукты животноводства.

В развивающихся странах некоторые зерновые культуры, такие как кукуруза, пшеница, сорго и просо выращивают с двойной целью: зерно используют в пищу для людей, а их растительные остатки — в качестве корма для животных. Тради-

ционно эти зерновые культуры сеют для повышения урожая зерновых в засушливых регионах. Однако за прошедшее десятилетие оказалось, что фермеры в смешанных системах получают прибыль от растительных остатков, идущих на корм скоту, примерно в таких же размерах, как и от урожая зерновых, особенно в засушливые сезоны. Программы разведения зерновых культур все более и более ориентируются на использование их в таких двойных целях. В Индии двухцелевое использование сорго и проса оказало значительное влияние на производительность и эффективность смешанных растениеводческих и молочных хозяйств. Мелкие фермеры, благодаря переходу на такую смешанную систему, увеличили производство молока коров и буйволов на 50%, сохранив урожайность зерновых культур. Это повысило потребности на двухцелевые зерновые культуры с относительно высококачественными остатками урожая и привело к быстрому увеличению рынков фуража вокруг таких городов, как, например, Хайдарабад [9].

Согласно анализу CGIAR, в 2009 г. в мире около 1 млрд бедных людей (живущих менее чем на 1\$ в день) питаются благодаря сотням миллионов мелких ферм (в большинстве менее 2 га земли, несколькими зерновыми культурами и, как правило, одной или двумя коровами) и пастушьих хозяйств (в большинстве с менее чем 5 крупными животными) в Африке и Азии. Кроме того, смешанные системы могут стать ключом к будущей продовольственной безопасности, две трети глобального населения уже живет в этих системах и большая часть будущего прироста населения произойдет там же. Уже сейчас смешанные системы производят около 50% хлебных злаков в мире и больше всего основных продуктов, потребляемых бедными людьми: 41% кукурузы, 86% риса, 66% сорго, 74% про-

са. Они также поставляют большую часть продуктов животноводства в развивающемся мире, т.е., 75% молока и 60% мяса, вовлекая в их производство много миллионов людей на фермах, рынках, перерабатывающих структурах и на других звеньях цепи получения продовольствия.

Все более важным источником продовольствия могут становиться аквакультуры. Килограмм рыбы может быть произведен всего в 50 л воды, хотя требования к объему воды зависят от источников кормов. Корма чаще всего получают из естественных источников, что увеличивает давление, в т.ч. и на морское рыболовство. В то же время рост аквакультуры приводит к существенному загрязнению прибрежных вод отходами его производства. Для снижения неблагоприятных эффектов используют изолированные системы их выращивания для защиты от болезнетворных микроорганизмов и минимизации их воздействия на окружающую среду. Одно из решений проблем увеличения эффективности разведения аквакультур может также заключаться в расширении использования смешанной системы сельского хозяйства, объединяющей наземные и морские системы. В области этих исследований лидерами являются несколько центров — Консультативная группа по международным сельскохозяйственным исследованиям, международный центр по биосолевому сельскому хозяйству и Институт Иаков Блостейна исследований пустыни Университета Бен-Гуриона в Неджеве [4].

Системы, которые объединяют сельское хозяйство и аквакультуры, быстро развиваются в объемах и методах. В докладе 2001 г. Организации Объединенных Наций по продовольствию и сельскому хозяйству представлено описание таких систем во многих азиатских странах. Сегодня они все больше объединяют организмы по множественным трофическим

уровням. Эти системы особенно эффективны для прибрежных пустынь с внутренними водоемами морской воды, поддерживающими аквакультуры, потоки с питательными веществами, от которых поддерживают рост галофитов, морских водорослей, устойчивых к соли растений, мангровых деревьев, полезных для кормления животных и пригодных для пищи человека, а также для получения биотоплива и как потоки углерода. Такие интегрированные системы могут изменить направление сегодняшнего потока питательных веществ от суши к морю. Внутренние системы морской воды могли также компенсировать возрастающие уровни морей [4].

«Устойчивая» интенсификация — экологическая проблема. К середине XXI столетия ожидается увеличение населения Земли на еще примерно 3 млрд человек. Однако количество пахотной земли существенно не изменится, поскольку оно сокращается в результате урбанизации, засоления и опустынивания с более высокой скоростью, чем возможно его пополнение. Водный дефицит уже становится ощутимой проблемой в разных частях мира. Важное значение для сельского хозяйства имеет также изменение климата. Европейская волна высокой температуры в 2003 г. убила приблизительно 30000-50000 человек [3]. Средняя температура тем летом была только на 3,5°C выше среднего уровня за последнее столетие. Тогда же особое внимание привлекло 20%-е снижение урожайности зерна и фруктов. Но если климатологи правы в том, что к середине XXI в. средние летние температуры будут в большей части мира больше, чем самое горячее лето, учтенное к настоящему времени, то это приведет к снижению урожайности самого важного для нас растительного продовольствия, кормов, волокон, урожайность которых резко падает при температурах выше 30°C. Ведущим фактором такого сни-

жения является то, что температурный оптимум фотосинтеза находится в диапазоне от 20 до 25°C для основных зерновых культур. Увеличение температур приводит к ускоренному развитию растений, что снижает скорость накопления углеводов, жиров и белков во фруктах и семенах. Широкое распространение и адаптация много более эффективных агротехнологий и агротехник может помочь защитить зерновые культуры от потепления, но будет все труднее и труднее поддерживать рост урожаев основных зерновых культур при повышении температур и расширении засушливых областей.

В связи с экологическими изменениями в некоторых областях необходимо будет изменять состав сельскохозяйственных видов и использовать природные ресурсы более эффективно, что требует специальных организационных усилий. Такие процессы уже идут на Юге Азии, где интенсивные смешанные системы используются, в частности, для роста индустриального

производства птицеводческой продукции, спроектированного таким образом, чтобы превзойти 7% годового прироста к 2030 г., что в 2~3 раза выше, чем запланированный рост для жвачных. Специализация и интенсивный индустриальный рост производства животноводческой продукции, в свою очередь, потребует новых экологических и рыночных правил. Например, в ряде областей Азии, где содержатся большое количество свиней в нерегулируемых интенсивных индустриальных системах, происходит загрязнение водных источников в пригородных территориях (рис. 1, [9]). Повышение концентрации животных может также увеличивать риск вспышек инфекционных болезней у животных и людей.

В настоящее время в развивающихся странах замедлился рост продуктивности интенсивно обрабатываемых земель. Например, уменьшение водных ресурсов заметно ограничивает производство риса и пшеницы в Южной Азии. В то же время плани-

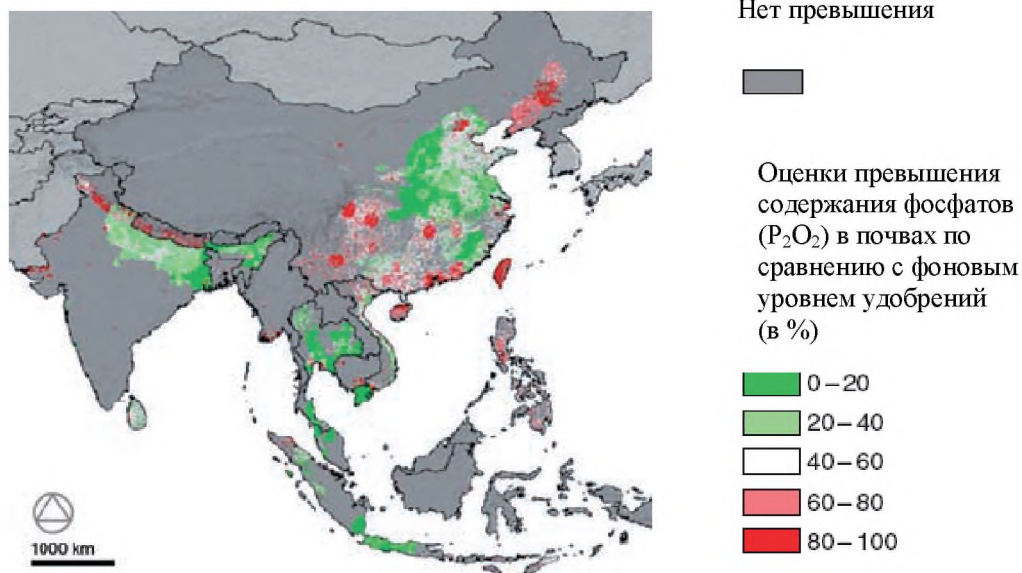


Рис. 1. Вклад животноводства в загрязнение окружающей среды фосфатами ( $P_2O_5$ ) [9]

руется в этих регионах существенно увеличить животноводство: к 2030 г. от 150 до 200 млн гол. крупного рогатого скота и буйволов, свиней и домашней птицы на 40% или даже больше в тот же самый период. Однако уже сейчас давление животноводства на биомассу велико, так же как и на такие ресурсы, как земля, вода; становится все труднее находить баланс в этих системах, особенно в связи с нарастанием конкурентных взаимоотношений на использование биомассы для продовольствия, кормов, удобрений и топлива. Такая конкуренция за естественные ресурсы уже проявляется в виде роста неплодородных почв, истощенности водных источников, сокращения размеров ферм, снижения их производительности. Кроме того, уменьшается ответ на внесение удобрений, что требует более тесной связи между органическими удобрениями животного происхождения и растениеводством для восстановления плодородия почв. Необходимо развитие методов интенсификации производства продовольствия без увеличения земельных площадей, расходов воды и других естественных ресурсов. В мире около трети всех зерновых идет на корм скоту для получения животноводческой продукции. Животные прямо или косвенно используют 80% всех мировых плодородных земель, потребляют около 15% всех доступных калорий. В то же время сектор животноводства является одним из основных поставщиков парниковых газов и загрязнения окружающей среды [5, 6].

Следует подчеркнуть также, что химизация сельского хозяйства, наряду с получением новых, более продуктивных сортов культурных растений, легла в основу «зеленой революции», которая позволила почти в два раза увеличить продуктивность растениеводства. В то же время именно химизация сельского хозяйства к концу XX в. превратилась в реальную

угрозу для здоровья населения. Так, по оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), сельское хозяйство стало одним из наиболее опасных для здоровья видов деятельности. По числу мутагенов оно занимает второе место после отходов промышленности, опережая по этому показателю бытовую химию, медицину, транспорт, и «поставляет» людям 21% всех химических мутагенов. По оценке ВОЗ, ежегодно 3 млн человек отравляются пестицидами, из них более 200 тыс. умирают; до 25 млн сельскохозяйственных рабочих подвергаются воздействию химических веществ с риском для жизни. Кроме того, в результате химизации падает плодородие почв. Это приводит к увеличению затрат невосполнимой энергии на единицу растениеводческой продукции. С 1960 по 2000 г. глобальная продуктивность зерновых возросла примерно в 2,3 раза. Вклад воды в урожайность зерновых увеличился в 2 раза, азотных удобрений — в 10 раз, фосфорных удобрений — в 7,5, пестицидов — в 6 раз. При этом эффективность вклада азотистых удобрений в получение единицы урожая зерновых с 1960 по 2000 г. упала в 4 раза.

Генетически модифицированные сорта — одно из направлений «устойчивой» интенсификации сельского хозяйства. В последние годы особую важность для частного и общественного секторов приобретают использование и усовершенствование обычных методов селекционной работы и микрклонального размножения сортов основных зерновых культур, адаптированных к увеличению температур, устойчивости к различным заболеваниям и вредителям, засоленности почв, дефициту воды в некоторых местах и ее избытку в других, а также получение генетически модифицированных сортов (G-M), приспособленных к неблагоприятным средовым воздействиям (рис. 2). Дру-

гая важная цель разработки GM-сортов — увеличение азотификации, поскольку именно азотистая компонента удобрений является главной причиной эвтрофикации и эмиссии парниковых газов.

Наиболее «популярные» среди ГМО — соя (60% от общих посевных площадей) и кукуруза (23%). Значительно меньше занимают технические культуры, такие как хлопчатник (11%) и рапс (6%). Современные биотехнологии увеличивают общую эффективность выращивания хлопка на 300%, сои — на 45 и кукурузы — на 14%.

Происходит улучшение питательных свойств семян и желательных частей растений. Уже есть сорта, обогащенные витамином А (золотой рис), создана соя с повышенным количеством омега-3-жирной кислоты. Цель подобных биоинженерных манипуляций — получение в разных органах растений больше витаминов и белков. Имеется возможность встраивания в растения сигнальной окраски: гены пигментации, которые включаются в результате действия факторов экологического стресса в листьях или стеблях растений, что позволяет использовать такие растения как биоиндикаторы и немедленно предпринимать соответствующие меры. Разработаны методы изменений архитектуры корней и листьев соответствующих биохимических путей так, чтобы увеличить эффективность поступающей влаги. Например, поверхностные корни могут лучше удерживать влажность поверхностного слоя почвы. Широко известны сорта, в которые встроены гены, продукты которых являются токсинами для насекомых-вредителей или нематод, или привлекают врагов вредителей.

Созданы модели «идеального» сорта (рис. 3) и уже разработаны методы трансгеноза для получения таких сортов. «Идеальный» сорт включает не только улучшение питательных

свойств семян и желательных частей растений, но и позволяет, например, избавляться от скрещиваний, создавая многолетние зерновые или растения, способные к апомиксису. Если получить апомиксис, в частности, у риса, это будет приносить прибыль 4 млрд долл. в год. Разрабатываются методы трансгеноза для увеличения срока использования путем генетического расширения контроля созревания и старения растений, а также для улучшения потребления азота.

Назрела очень важная потребность решения проблем, связанных с различными публичными противостояниями в отношении с.-х. биотехнологии и разработок научно обоснованных методов регулирования их использования. Уже к 2008 г. GM-сорта выращивали на почти 300 млн га в 25 странах, из которых 15 развивающиеся. В мире GM-сорта использовались в течение 13 лет без единого, научно доказанного, неблагоприятного инцидента для здоровья или экологии. Первое же промышленное выращивание GM-культур, включая устойчивые к насекомым и к гербицидам, такие как хлопок, канола и соя, способствовало существенному увеличению сельскохозяйственной производительности, доходов фермеров, уменьшению использования пестицидов и гербицидов.

В 2004 г. прибыль от GM-сортов составила по приросту урожая 5300 млн фунтов, по уменьшению использования пестицидов — 46,4 млн т. Такой прирост наблюдался у фермеров всех 42 штатов США, где применяли GM-сорта. Наибольшая прибыль, в мерах увеличения конечной продукции и уменьшения использования пестицидов, была в Йове, затем в Иллинойсе и Миннесоте. Особую часть прибыли составляет снижение негативного влияния на окружающую среду при использовании GM, что связано с сокращением использования пестицидов, эрозии почв, затрат

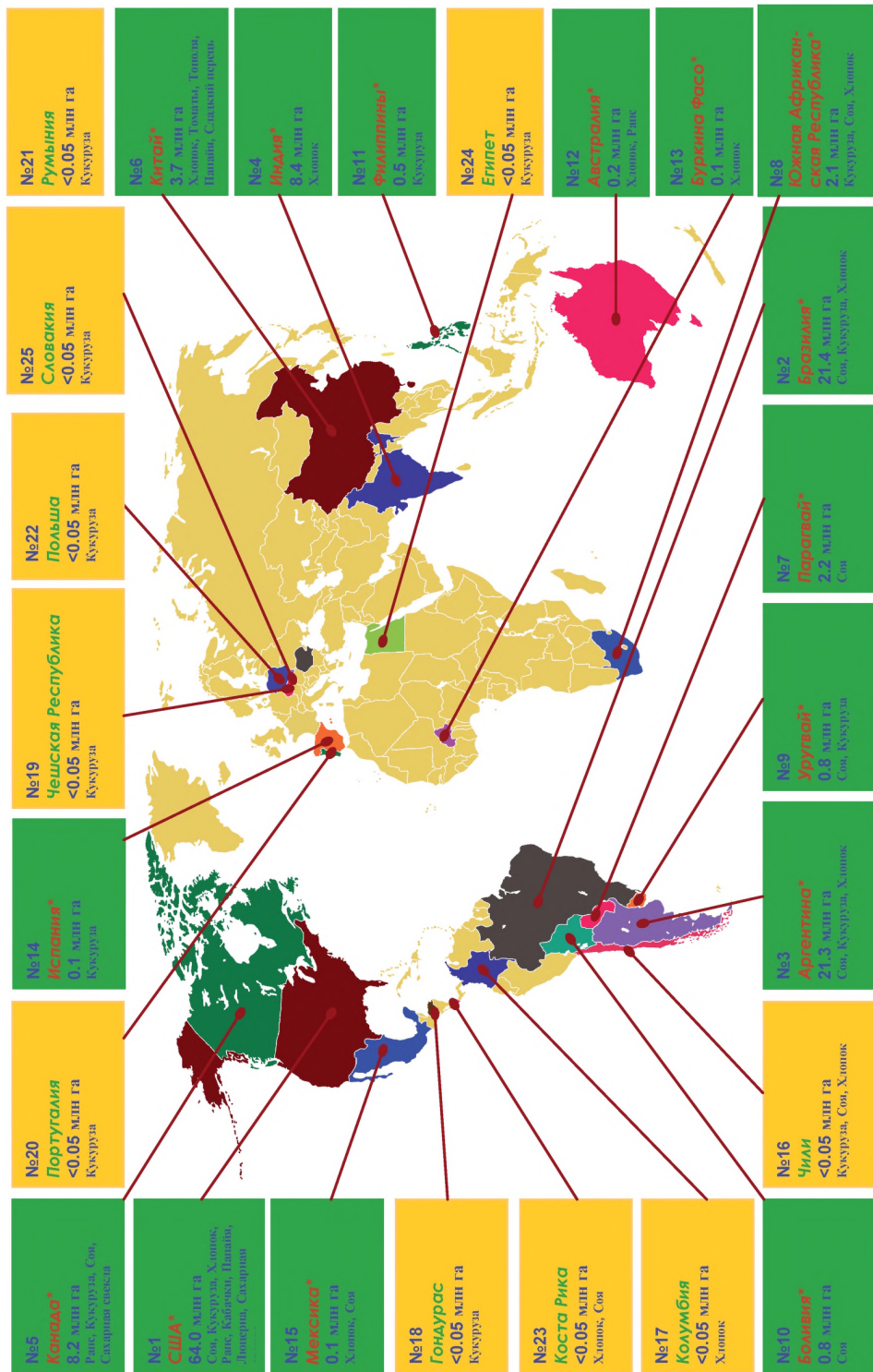
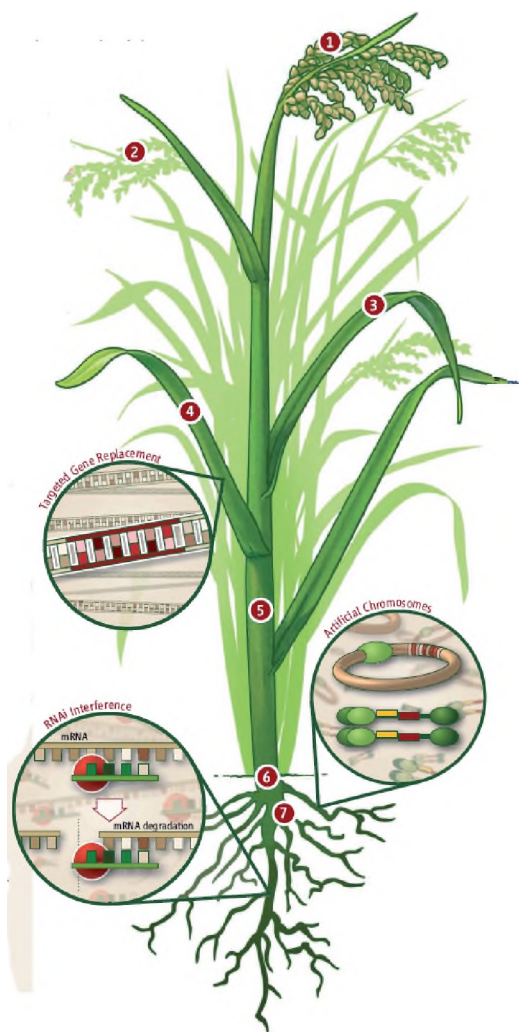


Рис. 2. Страны, в которых возделываются генетически модифицированные сорта растений, с указанием площадей и культур, 2009 г. ([www.fao.org](http://www.fao.org))





**Рис. 3.** Модель «идеального» сорта, получаемого с использованием трансгеноза [7]: 1 — улучшение питательных свойств семян и желательных частей растений; 2 — избавление от скрещиваний; 3 — встраивание сигнальных окрасок; 4 — увеличение эффективности поступающей в растение влаги; 5 — увеличение срока использования; 6 — улучшение потребления азота; 7 — увеличение защиты растений от вредителей

воды и уменьшением использования с.-х. техники. Опыт показал, что увеличение GM-сортов способствовало повышению прибыли. Коммерческие

преимущества для фермеров при использовании GM-сортов являются ключевым фактором для их распространения.

К основным опасностям внедрения GM-сортов относят пищевые (за исключением хлопка, рапса) и экологические — горизонтальное распространение трансгенных конструкций.

В целях пищевой безопасности регулирование процесса биотехнологии в США (где наиболее распространено использование GM-сортов) осуществляют три государственных органа: Министерство сельского хозяйства США (USDA); Управление по охране окружающей среды (EPA); Управление продуктов питания и лекарств (FDA). FDA использует термин «биотехнологические продукты» для обозначения созданных с использованием GM-технологий. В настоящее время достоверных данных о пищевой опасности распространенных сортов GM-растений не получено (начиная с 1996 г. — появления на рынке первого трансгенного помидора по 2010 г.).

Заявление на сертификацию нового сорта включает руководство, содержащее вопросы, ответы на которые должны дать производители пищевых продуктов из этих сортов растений, чтобы обеспечить безопасность новых продуктов и подтвердить соответствие требованиям действующего законодательства, а также чтобы побудить представителей пищевой промышленности к проведению консультаций с FDA по вопросам безопасности новых пищевых продуктов.

В отношении экологической опасности GM-сортов обсуждаются три основных аспекта:

1. Сконструированные гены могут быть переданы с пылью близкородственным диким видам и их гибридное потомство приобретет новые привнесенные свойства или способности конкурировать с другими растениями.

2. Трансгенные сельскохозяйственные растения могут стать сорняками для сельского хозяйства и вытеснить произрастающие рядом другие растения.

3. Трансгенные растения могут стать прямой угрозой для человека, домашних и диких животных (например, из-за их токсичности или аллергенности).

В этой связи выполнялись исследования по переопылению на трансгенном рапсе, картофеле, ряде других культурных растений; установлены оптимальные границы для исключения переопыления; на почвенных микроорганизмах и т.д. Сделан основной вывод: горизонтальный перенос есть — но его количества исчезающие в пространстве и поколениях и его достаточно легко контролировать и предупреждать. Наиболее яркие данные по горизонтальному переносу трансгенной конструкции получены на кукурузе в Мексике. В ряде исследований было обнаружено, что трансгенные конструкции отсутствуют в образцах сортов и полевых рас кукурузы на севере Мексики, где легально высевали GM-сорта кукурузы под специальным контролем, препятствующим горизонтальному трансгенному, но их много в образцах произрастания теосинте (предковый вид кукурузы), где их выращивание было запрещено. Таким образом, становится очевидным, что экологическая опасность прежде всего определяется качеством контроля за легальными посевами трансгенных сортов. А отсутствие производства трансгенных сортов и легального контроля их использования способствует горизонтальному распространению трансгенных конструкций за счет нелегального использования, неизбежного в связи с коммерческими преимуществами, о которых упоминалось выше.

Несмотря на очевидную безопасность и эффективность GM-культур, регулирующая их политика остается почти столь же ограничительной, как

и в период их появления. В США их внедрение контролируется одновременно по крайней мере двумя и иногда тремя регулирующими агентствами (USDA, EPA, FDA), и до сих пор это остается обычным правилом, а не исключением [4].

Возможно, наиболее пагубное влияние на распространение GM оказывает дорогостоящий и затратный по времени регулирующий аппарат, препятствующий широкому использованию молекулярных методов для улучшения зерновых культур. В результате до сих пор внедрено небольшое количество GM-сортов, прежде всего тех, для которых имеется большой рынок семян, а для большинства культур преимущества биотехнологий не используются. Это требует серьезной переоценки в свете накопленных данных. Необходимы авторитетные оценки имеющихся данных по урожаю и безопасности GM, включающие информацию о безопасности новых для растений белков, их токсичности и аллергенности, пищевой ценности, генной стабильности, об эффектах на нецелевые организмы. Все это могло бы обеспечить необходимые информационные ресурсы в целях уменьшения сложности процессов контроля и регуляции распространения GM. Такое развитие регулирующих процессов было бы долгожданным прецедентом в глобальном масштабе. Очень важно также развивать связи государственных структур, разрешающих использование GM, с общественным сектором в отношении тестирования их безопасности. Это позволило бы университетам и другим научно-исследовательским подразделениям использовать современные молекулярные методы для улучшения местных зерновых культур для фермеров.

Однако это нисколько не решает глобальную проблему продовольственной безопасности в XXI в., поскольку относится только к улучшению имеющихся культурных растений, в

том числе в отношении увеличения их устойчивости к температурам и дефициту воды. В то же время экологические изменения могут потребовать новые технологии, новые виды и сорта культурных растений, системы производства. Одно из направлений развития таких технологий получило название прецизионных.

Прецизионные технологии. Прецизионное сельское хозяйство объединяет ряд технологий, комбинирующих датчики, информационные системы, робототехнику и информационное управление в целях оптимизации производства с учетом изменчивости и неопределенности в пределах с.-х. систем. Адресная и точная поставка ресурсов производства в растениеводстве индивидуально для каждого животного позволяет оптимизировать их использование, уменьшать экологические потери, способствовать повышению устойчивости поставок продовольствия. Прецизионное сельское хозяйство обеспечивает методы контроля звеньев цепи производства пищевых продуктов и управления количеством и качеством сельскохозяйственных продуктов.

Прецизионное сельское хозяйство, или основанное на информации управление системами с.-х. производства, появилось в середине 1980-х гг. как способ применять нужную обработку с.-х. угодий в правильном месте в нужное время. Главными источниками нужной информации было понимание закономерностей изменений в почвах и условий для повышения урожая, объединенных с появлением новых технологий, таких как глобальные навигационные спутничные системы (GNSS) и геоинформационные системы (GIS). Первоначально прецизионные агротехнологии использовались для увеличения адресности и точности распределения удобрений в разных почвенных условиях в местах выращивания культурных растений. С тех пор были разработаны новые мето-

ды, такие как автоматизированное управление с.-х. машинами и роботами, автономные механизированные системы контроля качества продуктов, программное обеспечение для полного управления с.-х. производством.

Кроме обеспечения производства зерновых, прецизионные технологии успешно применяются в виноградарстве и садоводстве, а также в животноводстве, в т.ч. и пастбищном. Диапазон их использования распространяется от производства чая в Танзании и Шри-Ланке, сахарной свеклы в Бразилии, до риса в Китае, Индии, и Японии и хлебных злаков, сахарной свеклы в Аргентине, Австралии, Европе и Соединенных Штатах. Несмотря на различия в типах технологии и областей их применения, основные цели использования прецизионных технологий подразделяются на три следующих направления: для оптимизации использования доступных ресурсов, доходности и устойчивости агропроизводства; уменьшения негативных влияний на окружающую среду; для улучшения условий выполнения с.-х. работ и социальных аспектов ведения сельского хозяйства. Несмотря на разнообразие методов и выполняемых функций, к настоящему времени, если обобщить около двух сотен научных статей по использованию прецизионных агротехнологий, опубликованных с 1988 до 2005 г., только по увеличению с.-х. продукции они оказались эффективными в среднем в 68% случаев [5, 6].

В ряде стран, включая государства-члены Европейского союза, разработаны инструкции для обязательной электронной идентификации крупного рогатого скота, свиней, овец и коз для предотвращения распространения болезней и увеличения безопасности пищевых продуктов. В молочном производстве уже используются датчики (radiofrequency identification — RFID) для контроля состояния крупного рогатого скота при исполь-

зовании управляемых компьютером кормораздатчиков и доильных аппаратов. Автоматические поилки молока для телят настраивают по объему спаиваемого молока в соответствии с массой и температурой тела телят. Использование робототехники в доильных аппаратах облегчает работу операторов и позволяет планировать удои коров. Кроме того, эти роботы могут быть приспособлены к проведению анализов в режиме онлайн состава молока, включая оценку количества соматических клеток на единицу объема, жира, белка и молочного сахара. Информация о количестве и качестве молока позволяет индивидуально корректировать режим кормления животных. При выпасе на открытом воздухе приемники информации GNSS, работающие с другими датчиками, позволяют проводить мониторинг поведения и благополучия индивидуальных животных в режиме реального времени.

Недавно большая часть ведущих с.-х. производителей согласовали свои действия в отношении использования двойной системы единиц Международной организации по стандартизации (International Standard Organization binary unit system — ISOBUS) как универсального протокола для электронной коммуникации между орудиями, тракторами и компьютерами. ISOBUS гарантирует передачу данных между оборудованием, производимым различными изготовителями, что будет позволять фермерам управлять всеми орудиями только с одного универсального внешнего компьютера [5, 6].

Такой общий протокол информационного обмена необходим также для отслеживания всей цепочки получения продовольствия от фермы до продуктового магазина. В настоящее время это достигается при использовании вариантов расширенного языка (Extensible Markup Language — XML) [такой, как agroXML], которые позво-

ляют без препятствий обмениваться данными фермерам, поставщикам, обслуживающим структурам, управляющим, переработчикам и торговым посредникам по производству и продажам с.-х. продуктов. Теоретически это позволяет проследить историю каждого продукта фактически к каждому квадратному метру его производства на ферме. Возможности отслеживаемости происхождения продовольствия и контроля его качества через agroXML уже были продемонстрированы в ряде научно-исследовательских работ. Компании по производству программного обеспечения уже начали использовать agroXML в своих информационных технологиях для сельского хозяйства и пищевой промышленности.

В конечном счете использование данных о продовольствии относительно его производства, переработки, хранения и розничной продажи позволяет оптимизировать его производство с минимальными затратами и стоимостью. Это, в свою очередь, позволяет не только выявлять излишние затраты и потери, но и возможности повышения производства продовольствия. Государственные и общественные агентства могут получать из этого источника надежные данные для статистических сводок по урожайности, расчета необходимых субсидий, для контроля агроэкосистем, а также снабжать фермеров своевременной информацией о проблемах водоснабжения или распространении вредителей и т.п. Отрасли промышленности, связанные с переработкой урожая, розничной продажей продовольствия, благодаря таким информационным технологиям смогут использовать различные рыночные механизмы для гарантирования надлежащих поставок и соответствия стандартам качества. Вместе эти потоки информации будут способствовать главной цели — достижению продовольственной безопасности в постоянно изменяющемся мире.

Необходимость разработки новых парадигм ведения сельского хозяйства. До настоящего времени основные генетически модифицированные сорта представлены растениями, имеющими измененными один или два признака в огромном репертуаре других. Поэтому сами по себе имеющиеся GM-сорта не могут радикально решить все проблемы «устойчивой» интенсификации сельского хозяйства. Необходимы разработки новых парадигм ведения сельского хозяйства. Не следует забывать, что в глобальном масштабе каждый год теряется около 40% урожая зерновых [7]. Причем в разных странах по разным причинам. Так, в развивающихся странах — за счет потерь внутри хозяйств (болезни, вредители, низкий уровень агротехнологий) и потерь в процессах сбора, транспортировки, хранения. В развитых странах в основном в связи с продовольственными потерями на рынках и самими потребителями. Это требует развития не только прецизионных (точечных, адресованных) агротехнологий, среди которых GM-сорта — это только частность, но и «прецизионных» политических, организационных мер. Только благодаря их развитию может быть найден баланс между мелкими агропроизводствами и транснациональными индустриальными корпорациями, удешевляющими конечную продукцию сельского хозяйства за счет ухудшения ее качества и увеличения экологического ущерба, а также между интенсификацией с.-х. деятельности и увеличением использования разных экологических ниш, сохранением биоразнообразия и созданием новых рыночных продуктов.

Следует отметить тот важный факт, что выдающийся ускоренный рост производства продовольствия (растениеводческого и животноводческого) за последние 50 лет в глобальном масштабе не привел к существен-

ному изменению доли голодающих людей в мире. Рост продовольствия есть — и в валовых цифрах, и в количестве в среднемна одну душу населения, а доля хронически голодающих, испытывающих дефицит питательных веществ, как и эпизодически голодающих вследствие природных и социальных катастроф с 1990 по 2008 г. остаётся величиной практически постоянной, несмотря на все глобальные усилия, продолжающие истощать естественные ресурсы биосферы [2].

Очевидно, что для новых с.-х. парадигм важно было бы в первую очередь разрабатывать такие системы производства, в пределах которых замыкались циклы питательных веществ, идущих от микроорганизмов и растений к животным и обратно. Наиболее лаконично это направление обозначено в китайском пути развития агротехнологий как три р — «reduce, reuse and recycle» (уменьшение, повторное использование, рециркуляция). Именно у таких систем есть потенциал уменьшить затраты земли, энергии, пресной воды на нужды сельского хозяйства, и в то же самое время повысить качество с.-х. продукции и уменьшить загрязнение окружающей среды, связанное с химизацией сельского хозяйства и отходами животноводства. Проекты и крупномасштабное строительство ферм, основанных на нетрадиционных системах хозяйствования будут, несомненно, способствовать новым исследованиям, разработкам, контролю и регулированию проблем продовольственной безопасности и экологических воздействий, так же как контролю вредителей и болезнетворных микроорганизмов. Но при планировании ускоренного движения в методах «устойчивой» интенсификации сельского хозяйства особое значение имеет расширение создания и использования инновационных подходов, а также наукоемких технологий.

### Библиографический список

1. Глазко В.И. Кризис аграрной цивилизации и генетически модифицированные организмы (ГМО) / Киев: ПА нОvA, 2006.
2. Barrett C.B. Measuring Food Insecurity // Science, 2010. Vol. 327. P. 825-828.
3. Battisti D.S., Naylor R.L. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat // Science, 2009. Vol. 323. P. 240-244.
4. Fedoroff N.V., Battisti D.S., Beachy R.N. et al. Radically Rethinking Agriculture for the 21st Century // Science, 2010. Vol. 327. P. 833-834.
5. Gerber P., Chilonda P., Franceschini G., Menzi H. Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia // Bioresour Technol, 2005. Vol. 96. P. 263-276.
6. Gerber P.J., Vellinga T.V., Steinfeld H. Issues and options in addressing the environmental consequences of livestock sector's growth // Meat Sci., 2010. Vol. 84. P.244-247.
7. Godfray H.C. J., Beddington J.R., Crute I.R. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People // Science, 2010. Vol. 327. P. 812-814.
8. Marton-Lefuvre J. Biodiversity Is Our Life // Science, 2010. Vol. 327.
9. Herrero M., Thornton P.K., Notenbaert A.M. et al. Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems // Science, 2010. Vol. 327. P. 822-825.

Рецензент — д. б. н. М.А. Мазиров

### SUMMARY

The modern global problems interfering growth of the agricultural production of the foodstuffs were considered. Ways of their overcoming on the basis of the mixed system using for the foodstuff production, creating the genetically modified varieties of plants were discussed. Necessity of the complex approach to use of innovative agrotechnologies was marked.

*Key words:* biodiversity, mixed agricultural systems, transgenesis, precision technologies.

Глазко Валерий Иванович — д. с.-х. н., РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Эл. почта: vglazko@yahoo.com

Глазко Татьяна Теодоровна — д. с.-х. н., РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. 976-34-34.