

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт информации  
и технико-экономических исследований по инженерно-техническому  
обеспечению агропромышленного комплекса»  
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

# ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

Научный аналитический обзор



Москва 2017



# Техника и оборудование для села

Сельхозпроизводство • Переработка • Агротехсервис • Агробизнес

ЖУРНАЛ

## «ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА» –

ВАШ ПОМОЩНИК В НАУЧНОЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ, УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ!



Ежемесячный полноцветный научно-производственный и информационно-аналитический журнал «Техника и оборудование для села», учредителем и издателем которого является ФГБНУ «Росинформагротех», выпускается с 1997 г. при поддержке Минсельхоза России и Россельхозакадемии. За это время журнал стал одним из ведущих изданий в отрасли и как качественное и общественно значимое периодическое средство массовой информации в 2008, 2009 и 2011 гг. удостоен знака отличия «Золотой фонд прессы». В редакционный совет журнала входят 7 академиков РАН.

В журнале освещаются актуальные проблемы технической и технологической модернизации АПК: инновационные проекты, технологии и оборудование, энергосбережение и энергоэффективность; механизация, электрификация и автоматизация производства и переработки сельхозпродукции; агротехсервис; аграрная экономика; информатизация в АПК; развитие сельских территорий; технический уровень сельскохозяйственной техники; возобновляемая энергетика и др.

Журнал является постоянным участником большинства международных и российских выставок, конференций и других крупных мероприятий в области АПК, проходящих в России, неоднократно отмечался почетными грамотами, дипломами и медалями (более 10).

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Кроме того, журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Регионы распространения журнала: Центральный, Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Северный, Северо-Западный, Калининградская область, а также государства СНГ (Украина, Беларусь, Казахстан).

Индекс в каталоге агентства «Роспечать» – 72493, в объединенном каталоге «Пресса России» – 42285.

Стоимость подписки на 2017 г. с доставкой по Российской Федерации – 6864 руб. с учетом НДС (10%), по СНГ и странам Балтии – 7800 руб. (НДС – 0%).

Приглашаем разместить в журнале «Техника и оборудование для села» информационные (рекламные) материалы, соответствующие целям и профилю журнала.

Подписки и размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» с любого месяца, на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет.

Банковские реквизиты: УФК по Московской области

(Отдел №12 Управления Федерального казначейства по МО)

ИНН 5038001475/КПП 503801001 ФГБНУ «Росинформагротех», л/с 20486X71280,

р/с 40501810300002000104 в Отделении 1 Москва, БИК 044583001

В назначении платежа указать код КБК (000 0000 0000000 000 440), ОКМО 46647158.

Адрес редакции: 141261, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Лесная, 60,

Росинформагротех, журнал «Техника и оборудование для села».

Справки по телефонам: (495), 993-44-04, (496) 531-19-92;

E-mail: r\_technica@mail.ru, fgnu@rosinformagrotech.ru



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт информации  
и технико-экономических исследований по инженерно-технологическому  
обеспечению агропромышленного комплекса»  
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ  
ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР**

**Научный аналитический обзор**

Москва 2017

**УДК 633.2/.3:631.523**

**ББК 41.3**

**С19**

**Рецензенты:**

д-р с.-х. наук, проф. **Н.Н. Лазарев**

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева);

д-р с.-х. наук, проф. **А.Д. Прудников** (ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА»)

**Сапожников С.Н. Генетические ресурсы растений для селекции кормовых культур:** науч. аналит. обзор. – М: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 80 с.

**ISBN 978-5-7367-1192-5**

Приведены ключевые понятия о генетических ресурсах растений, основные этапы развития научных исследований в этой области, задачи, для решения которых необходимо использование данного вида генетических ресурсов, краткий обзор достигнутых результатов и информация об основных российских и зарубежных центрах по воспроизведению и сохранению генетических ресурсов растений.

Представлены текущие результаты в селекции кормовых культур и ее основных направлениях. Рассмотрены методы сохранения материала и стандарты генных банков, в том числе на примере работы Комитета по генетическим ресурсам растений Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), сведения о геномной инженерии в растениеводстве.

---

**Plant Genetic Resources for Fodder Crop Breeding-** Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2017. – 80 pp.

The brochure presents the key concepts of plant genetic resources; the main stages of research developments in this area; the tasks which solutions need using necessary genetic resources of a specific type; a brief overview of the results obtained and the information on the main Russian and foreign centers for reproduction and conservation of plant genetic resources. The current results of fodder crop breeding and its main directions are given. Material conservation methods and the standards of gene banks by the example of the work of the Committee on Genetic Resources of the UN Food and Agriculture Organization are discussed. The information on genetic engineering in plant production is given.

УДК 633.2/.3:631.523

ББК 41.3

ISBN 978-5-7367-1192-5

©ФГБНУ «Росинформагротех», 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство является одним из самых стратегически важных направлений для экономического и социального развития Российской Федерации. Основной целью Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы является обеспечение продовольственной независимости России в параметрах, заданных Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента № 120 от 30 января 2010 г., а также устойчивое развитие сельских территорий, ускоренное импортозамещение в отношении овощей, семенного картофеля, плодово-ягодной продукции, мяса, молока, воспроизводство и повышение эффективности использования в сельском хозяйстве земельных и других возобновляемых природных ресурсов [1]. В то же время в Указе Президента Российской Федерации № 350 от 21 июля 2016 г. говорится о разработке и реализации комплекса мер, направленных на создание и внедрение до 2026 г. конкурентоспособных отечественных технологий, обеспечивающих производство оригинальных и элитных семян сельскохозяйственных растений и племенной продукции по направлениям отечественного растениеводства, которое в настоящее время имеет высокую степень зависимости от импорта, производство высококачественных кормов, кормовых добавок для животных, хранение сельскохозяйственной продукции [2].

В этой связи чрезвычайно актуальным становится вопрос об использовании генетических ресурсов в отечественном сельском хозяйстве, особенно для кормопроизводства.

Генетические ресурсы растений – это основной биосферный и продовольственный ресурс человечества, который обеспечивает продуктами питания, жильём, одеждой и лекарствами. Обеднение генетических ресурсов на планете происходит главным образом из-за разрушения среды обитания, чрезмерной эксплуатации сельскохозяйственных ресурсов, загрязнения окружающей среды. Поэтому сбор, сохранение и использование в сельском хозяйстве генетических ресурсов растений – стратегически важная задача на современном этапе развития мирового

го сообщества, непосредственно связанная с обеспечением как национальной, так и глобальной продовольственной безопасности.

По информации Всероссийского института кормов имени В.Р. Вильямса, кормопроизводство в современных условиях — это крупная отрасль человеческой деятельности, ведущаяся на 4/5 площадей всех сельскохозяйственных угодий и являющаяся частью земледелия, растениеводства, животноводства и сельскохозяйственной экологии. Она не может успешно развиваться без использования генетических ресурсов природной и культурной флоры. В этой связи успешное решение фундаментальных и приоритетных задач селекции по созданию принципиально новых, устойчивых к экологическим стрессам высокоурожайных сортов кормовых культур возможно при наличии соответствующего идентифицированного генофонда, разнообразия генетических ресурсов кормовых растений, при разработке научно обоснованных методов мобилизации генетических ресурсов природной флоры, внедрении современных технологий хранения и создания генетических коллекций, включающих в себя маркеры и доноры кормовых культур с редко встречающимися и хозяйственно ценными признаками. Большое значение имеет создание новых экспериментальных трансформированных форм, гибридов кормовых культур на основе методов генной, хромосомной и геномной инженерии, составление компьютерной базы паспортных и оценочных данных, совместимой с международной информационно-системой.

Во многих странах мира развиваются исследования, направленные на более полную мобилизацию растительных ресурсов и создание их генетического фонда. В США, Австралии, Мексике, Японии уже организованы мощные научные центры по сбору, хранению и интенсивному использованию большого разнообразия культурных и дикорастущих видов в различных отраслях сельского хозяйства. На основе этого материала уже выведены качественно новые сорта продовольственных и кормовых культур с повышенной устойчивостью к широкому спектру абиотических стрессовых факторов, болезням и вредителям. Но, несмотря на эти усилия и определённые успехи, обширные генетические ресурсы природной флоры недостаточно используются в качестве исходного материала для селекции в целом и выведения экологически специализированных сортов [3].

Отзывы и замечания по изданию просьба направлять в ФГБНУ «Росинформагротех» по адресу: 141261, Московская обл., Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Лесная, 60. Тел.: (495) 993-44-04, 993-42-92. Факс из Москвы и Московской обл. 8 (253) 1-64-90. Из других регионов – 8 (49653) 1-64-90. E-mail: fgnu@rosinformagrotech.ru

## **1. РОЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ В РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Генетические ресурсы растений – это часть биологических ресурсов, включающая в себя растительный материал, содержащий функциональные единицы наследственности и представляющий фактическую или потенциальную ценность для селекции сортов и гибридов растений. Иными словами, основой селекции являются генетические ресурсы.

Обычно все ныне существующие генетические ресурсы растений подразделяют на первичный, вторичный, третичный генофонды и выделенные гены. Первичный генофонд содержит в себе возделываемые виды растений, которые могут скрещиваться между собой. Вторичный генофонд составляют родственные виды, которые труднее скрещиваются с целевым видом, т. е. скрещивание менее успешно (низкое число жизнеспособных семян), и у которых в результате скрещивания получается частично стерильное потомство. Третичный генофонд объединяет в себе виды, которые могут быть использованы только посредством применения специальных биотехнологических методологий, таких как эмбриокультура или слияние протопластов. Выделенные гены, фрагменты хромосом, тотальные, хлоропластные или митохондриальные ДНК и/или РНК могут быть получены из родственных или неродственных видов растений, животных или микроорганизмов. Важность тех или иных генресурсов зависит от целевого вида возделываемой культуры [4].

В 1920 г. Н.И. Вавилов в г. Саратове на III Всероссийском съезде селекционеров выступил с докладом «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости», который впоследствии сыграл выдающуюся роль в представлении о месте каждой систематической единицы в огромном многообразии растительного мира. Этот закон не только получил подтверждение на уровне генетических и молекулярно-биологических исследований, но и стал одним из основных фундаментальных законов современной геномики. Научные работы Н.И. Вавилова о центрах происхождения культурных растений, роли исходного материала для селекции, географических закономерностях распределения генов культурных растений, генетических ре-



сурсах, иммунитете растений имеют большое теоретическое и практическое значение как для получения новых знаний, так и для решения продовольственной безопасности в мировом масштабе [5].

Н.И. Вавилову удалось еще в 1930-х годах в ВИРе собрать самую большую мировую коллекцию растительных ресурсов. Уникальность коллекции ВИР в том, что это старейшее собрание в мире – здесь сохранилось более 20% образцов культурных растений, которые исчезли с лица земли, что позволяет включать в селекционное использование гены, играющие особенно важную роль в развитии ценных признаков.

Творчески развивая учение Н.И. Вавилова об изучении мировых генетических ресурсов, ученые Отделения сельскохозяйственных наук РАН ежегодно организуют от 12 до 20 экспедиций по сбору генетических ресурсов. В 2015 г. проведено 14 экспедиций по сбору генетических ресурсов культурных растений и их диких сороди-чей (5 – совместно с зарубежными партнерами) на Южном Урале, Северном Кавказе, в Алтайском крае, республиках Алтай, Крым, Московской, Липецкой, Смоленская областях, а также Австрии, Словакии, Китае, Казахстане.

В результате экспедиций в 2016 г. в коллекции институтов привлечено более 3 тыс. генетических образцов растений и их диких сороди-чей, 500 гербарных образцов. Общий генофонд сельскохозяйственных культур, сохраняемый в институтах, составляет более 370 тыс. образцов (325,4 тыс. образцов ВИР, 50 тыс. – в других институтах). Российская коллекция генресурсов – третья в мире по числу образцов (США – 509 тыс., Китай – 392 тыс., Индия – 366 тыс.) [5].

В регионах России функционируют 42 селекционных центра, где ведется селекционная работа с экономически важными сельскохозяйственными и лекарственными культурами, при этом приоритетными задачами исследований в области генетических ресурсов являются:

- изучение флористического разнообразия и ресурсного потенциала России, разработка научных основ поиска, сохранения, всестороннего изучения, рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей;
- усиление работы по молекулярно-генетическому мониторингу генофонда в растениеводстве, создание банков трансгенных растений;

- использование методов молекулярной генетики с целью идентификации новых генов, регуляторных элементов и физиолого-биохимических механизмов;

- фундаментальные биотехнологические исследования – работа по молекулярной селекции, включая создание источников и доноров экономически важных генов и признаков растений, а также разработка новых технологий их трансформации, соответствующих современным требованиям биобезопасности;

- усовершенствование теоретических основ селекции, создание эффективных методов и технологий [5].

Поскольку одной из основных проблем сельского хозяйства является производство зерна, урожай которого складывается из зерновых и зернобобовых культур, таких как пшеница, ячмень, овес, кукуруза, рис, просо, сорго, гречиха, горох, нут, чечевица, соя, чина, фасоль, люпин и т.д. [6], большое внимание со стороны ученых уделяется исследованиям именно в этом направлении.

Так, в последние годы селекционеры Краснодарского НИИСХ пополнили генофонд зерновых культур, создав более 100 энергетически эффективных сортов озимых пшениц с высокими компенсаторными свойствами, в том числе Гром. Там же была разработана адаптивная система возделывания зерновых культур, заключающаяся в мозаике генетических ресурсов, когда при возделывании десятков сортов ни один сорт не доминирует, что позволяет каждому из них занять свою экологическую нишу и ведет к устойчивому производству зерна. В последние годы в этом институте созданы высокопродуктивные сорта, генетически устойчивые к абиотическим и биотическим стрессам, например, сорт озимой пшеницы Алексеич, продуктивность которого составляет 10-13 т/га, что выше на 2,7-3,4 т/га по сравнению с зарубежными аналогами.

В Московском НИИСХ получены высокопродуктивные, с высоким качеством зерна сорта озимой пшеницы Галина, Московская 39, Московская 40, Московская 56, Немчиновская 24 и др.

Успешно работает селекционный центр во ВНИИЗК. На основе генофонда, поступившего из ВИРа, здесь были созданы сорта озимой пшеницы для сухостепной зоны продуктивностью 6-7 т/га.

В результате совместных исследований во ВНИИЗК, Краснодарском НИИСХ, Поволжском НИИСХ, Самарском НИИСХ из генофонда ячменя были выделены источники хозяйственно-ценных признаков – урожайность, крупнозерность, качество зерна, скороспелость. Так, в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации с 2016 г. внесен сорт ярового ячменя Грис (урожайность до 6,5 т), полученный от скрещивания местного сорта Зерноградский 975 и сорта Grafic (США), обладающий засухоустойчивостью и устойчивостью к поражению листовыми болезнями.

Создание сортов с высоким уровнем адаптивности считается приоритетным для стабилизации растениеводства. Классический пример – селекционное улучшение яровой пшеницы в НИИСХ ЮВ, где с использованием мирового генофонда было сформировано целое направление по созданию сортов с повышенной сосущей силой корней (25-32 атм.). Это позволяет более эффективно использовать почвенную и атмосферную влагу и получать сорта втрое и более превосходящие по урожайности ранее районированные.

В последние годы для южных регионов России были выведены высокопродуктивные сорта озимой пшеницы Стилль, Собербаш, Ведея, Герда (продуктивность 10-13 т/га) устойчивые к желтой ржавчине, мучнистой росе, полеганию, умеренно устойчивые к септориозу, бурой ржавчине, фузариозу колоса.

Пополнился генофонд зерновых культур для Сибирского региона. Пшеница яровая, мягкая Красноярская 12 создана в 2015 г. для условий Восточной Сибири (лесостепная и степная зоны), продуктивность – до 6 т/га, устойчива к пыльной головне и бурой ржавчине. Курганинская 2 (продуктивность – более 6 т/га) превосходит районированный сорт Омская 33 на 0,38 т/га. Для северных и лесостепных зон Сибири, Зауралья и Приуралья создан сорт яровой пшеницы Тюменская 34 (НИИСХ Северного Зауралья) продуктивностью 3,55 т/га, что превышает стандарт на 0,44 т/га. Созданы яровые ячмени Федос, Красноуфимский 115, Омский 100 урожайностью 4,5-5 т/га.

В ЗНИИСХ СВ, СибНИИ кормов и Уральском НИИСХ получен ряд высокопродуктивных сортов овса (Чемал, Бекас, Сатур, Сибирский Геркулес, Ужурский, Урал 2) устойчивых к полеганию, осыпанию и болезням.

Рожь – исконно российская зерновая культура, но в 50-х годах XX в. были созданы высокопродуктивные сорта озимой пшеницы, вытеснившие рожь с полей. В настоящее время в Госреестр России включено 77 сортов озимой ржи, возделываемых в России. С 2012 г. допущен к использованию первый в России сорт белозерной ржи Памяти Бамбышева (НИИСХ ЮВ), проходит испытания другой сорт светлозерной озимой ржи – Солнышко. Отличительной чертой этих сортов являются высокие содержание белка и его переваримость, меньшее содержание ингибитора трипсина, что делает перспективным их использование для приготовления диетических хлебцев и производства комбикормов.

Кукуруза является одной из важнейших кормовых и продовольственных культур. Используя генофонд, российским ученым удалось за последние 40 лет продвинуть эту культуру с юга на 500 км в северном направлении. Успешно работают с этой культурой ученые ВНИИ кукурузы и Краснодарского НИИСХ. В 2015 г. передан на госиспытание гибрид Машук 345 МВ холодостойкий и засухоустойчивый (продуктивность – более 10 т/га зерна) и Краснодарский 295 АМВ среднеранний (продуктивность – более 9 т/га зерна).

Рис – культура, которая была интродуцирована в Россию. В настоящее время в России его производится более 1 млн т. 51 сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Только в 2015 г. ВНИИ риса и ВНИИЗК на госиспытание были переданы 6 сортов риса урожайностью 7-12 т/га. Российские сорта риса уникальны по холодостойкости и срокам созревания. Это самый северный ареал возделывания данной культуры в мире. Поэтому иностранные специалисты проявляют повышенный интерес к российскому генофонду риса.

Важнейшими средообразующими культурами являются зернобобовые, которые играют важную роль в решении проблемы дефицита пищевого и кормового белка. Возделывание зернобобовых культур позволяет обогатить корма белком из зеленой массы растений, а также увеличить производство сбалансированных по белку кормов, так как его недостаток приводит к нерациональному расходованию содержащихся в кормах углеводов [5]. В России довольно большое генетическое их разнообразие – создано около 800 сортов этих культур.

Так, в НИИСХ Северного Зауралья передан на Госсортиспытание горох посевной сорта Лавр с урожайностью семян 4,33 т/га для условий Северного Зауралья с содержанием белка 24,7%. ВНИИЗБК создан новый сорт чечевицы Чернава с отличными кулинарными качествами урожайностью выше стандарта на 11%.

Одним из главных источников растительного белка является соя. В ее семенах содержится до 45 % полноценного белка, сбалансированного по аминокислотам. Широкое внедрение сои в производство произошло в последние годы. Если в 2001 г. ее посевная площадь была 417 тыс. га, а урожайность составляла 0,9 т/га, то к 2015 г. площадь ее возделывания увеличилась более чем в 4 раза, а урожайность – на 70%. В 2016 г. ВНИИ сои передано на госиспытание четыре сорта сои различных групп спелости урожайностью 3,5-4,0 т/га, которые рекомендуется возделывать на Дальнем Востоке. Для Уральского и Западно-Сибирского региона в 2015 г. в СибНИИ кормов создан сорт сои урожайностью 2,5 т/га с содержанием белка в семенах 39-42%. ВНИИМК и ВНИИЗБК создали сорта сои для Южного и Центрального регионов России продуктивностью 3 т/га. Самарский НИИСХ и Ершовская СОС НИИСХ ЮВ вывели засухоустойчивые сорта сои.

В России возделывается 21 масличная культура, в том числе подсолнечник, который часто выращивают на силос, особенно в северных районах, реже – на зеленый корм, а корзинки используют для производства муки, силосования в чистом виде и в смеси с другими кормами [6]. Впервые в мире ученые ВНИИМК создали межлинейный гибрид подсолнечника, особенностью которого является повышенная в 14 раз окислительная стабильность масла по отношению к обычным генотипам. Получены линии донора подсолнечника с высоким содержанием олеиновой кислоты и антиоксидантных форм токоферолов.

Масличная и кормовая культура, которая также широко распространена в России – это рапс. Во ВНИИ рапса созданы яровые сорта продуктивностью 4-5 т/га.

Важной культурой является сахарная свекла, свежие корнеплоды которой скармливают животным в целом и измельченном виде. Наряду с корнеплодами скармливают ботву. Однако количество сахарной свеклы в рационе ограничивают, так как из-за большого со-

держания сахаров в желудке животных скапливается много молочной кислоты. Успешно работают с генофондом сахарной свеклы ученые ВНИИИ сахарной свеклы. Ими созданы высокопродуктивные, устойчивые к различным почвенным патогенам гибриды. В 2015 г. учеными этого института передан на госиспытание гибрид сахарной свеклы РМС 129 диплоидный на стерильной основе, сбор сахара – 10,1 т/га, засухоустойчив, слабо поражается корневыми гнилями, характеризуется высокой лежкостью корнеплодов [5,6].

На основе использования отечественного генофонда и современных фундаментальных знаний учеными создано с внесением в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории Российской Федерации, более 10 тыс. сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Ежегодно выявляется более тысячи генисточников, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды, создаются и передаются в Государственную комиссию по испытанию и охране селекционных достижений свыше 300 новых сортов и гибридов [7].

Таким образом, генетические ресурсы растений становятся стратегической базой для решения вопросов развития сельского хозяйства и продовольственной безопасности не только на ближайшее, но и отдаленное будущее.

В селекционно-семеноводческой деятельности Российской Федерации принимают участие несколько учреждений, на которые возложены соответствующие функции.

ФГБУ «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (Госсорткомиссия)» участвует в исполнении действий по охране и использованию селекционных достижений, обеспечивает функционирование единой государственной службы по испытанию и охране селекционных достижений и руководство научно-методической и организационно-хозяйственной деятельностью находящихся в его ведении филиалов. ФГБУ «Госсорткомиссия» принимает участие в международном сотрудничестве в области охраны и использования селекционных достижений. В ее системе функционирует более 500 сортоиспытательных участков. ФГБУ «Госсорткомиссия» проводит процедуру включения сортов в государственный реестр и их исключение.



Основной целью деятельности ФГБУ «Россельхозцентр» является выполнение государственных услуг в области растениеводства, в том числе семеноводства и защиты растений:

- фитосанитарный мониторинг и прогноз, борьба с вредителями сельскохозяйственных растений;
- определение сортовых и посевных качеств семян;
- расширение системы сертификации семян.

Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор) является Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере ветеринарии, карантина и защиты растений, безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами, обеспечения плодородия почв, качества и безопасности зерна, крупы, комбикормов и компонентов для их производства, побочных продуктов переработки зерна, земельных отношений (в части, касающейся земель сельскохозяйственного назначения), защиты населения от болезней, общих для человека и животных.

Государственный надзор в сфере семеноводства растений осуществляется Россельхознадзором для соблюдения:

- порядка формирования и использования Федерального фонда семян растений, используемых в сельскохозяйственном производстве;
- порядка реализации и транспортировки партий семян;
- требований о запрете использования для посева (посадки) партий семян в целях производства семян, засоренных семенами карантинных растений, зараженных карантинными болезнями растений и вредителями растений.

В свою очередь Министерство сельского хозяйства Российской Федерации определяет и осуществляет:

- порядок заготовки, обработки, хранения и использования семян сельскохозяйственных растений;
- порядок реализации и транспортировки партий семян сельскохозяйственных растений;
- формирование и использование Федерального фонда семян сельскохозяйственных растений;
- организацию проведения сортового и семенного контроля в отношении посевов и семян сельскохозяйственных растений;
- учет Федерального фонда семян.

## **2. ОБЗОР ТЕКУЩИХ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЛЕКЦИИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР**

Селекция – наука о методах создания сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов с нужными человеку признаками. Наиболее значительных успехов она достигла при активном использовании достижений генетики, которая явилась теоретической основой селекции.

В селекционном процессе, как правило, выделяют несколько этапов: обоснование цели и задач селекции, создание и подбор исходного материала, разработка схемы селекции, селекционный процесс (включая разнообразные методы селекции) и сортоиспытание.

Возникновение научной селекции связано с эволюционным учением Ч. Дарвина, экспериментальными исследованиями Г. Менделя, В. Иогансена, Н.Г. Нильсона-Эле, селекционеров И.В. Мичурина, Л. Бербанка, работы которых послужили основой для разработки теории селекции. В свою очередь, открытия в генетике способствовали ускоренному созданию исходного материала, разработке методов селекционного процесса и повышению эффективности отбора, ведущего метода селекции. Например, открытие законов Менделя позволило целенаправленно вести подбор пар для скрещивания, а установление Н.И. Вавиловым первичных центров происхождения культурных растений и обоснование закона гомологических рядов наследственной изменчивости дали возможность селекционерам разрабатывать методы эффективного поиска исходного материала. Изучение характера наследования хозяйственно ценных признаков способствовало созданию целой системы скрещиваний и позволило комбинировать различные свойства растений.

Поскольку селекция и семеноводство бобовых и злаковых трав являются основой развития полевого и лугового кормопроизводства и создания прочной кормовой базы животноводства, то основная задача селекции кормовых растений – это создание системы географически (климатически) и экологически дифференцированных, хозяйственно специализированных, взаимодополняющих друг друга по важнейшим эколого-биологическим характеристикам сортов кормовых растений.

Для успешного решения этой задачи общенационального масштаба в России основан и функционирует в настоящее время селекционно-семеноводческий комплекс по кормовым культурам, включающий в себя 5 специализированных селекционных центров, 12 комплексных селекционных центров и более 20 научных селекционно-семеноводческих подразделений по кормовым культурам, которые ведут работу с 60 различными видами кормовых растений. Ими создано и включено в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, 1 116 сортов, относящихся к 185 видам кормовых культур (кроме кукурузы).

Так, селекционерами ВНИИ кормов на основе имеющегося генотипа создано и районировано 25 климатически и экологически дифференцированных сортов клевера: ВИК 7, Тетраплоидный ВИК, Марс, Ранний 2, Трио, Алтын, Топаз, Добрыня, ВИК 77, ТОС 870, Орлик, ВИК 84, Стодолич, Ратибор, Мария, Памяти Лисицына, Памяти Бурлаки (клевер луговой), Юбилейный, ВИК 70, Луговик (клевер ползучий), Первенец, Маяк (клевер гибридный). Эти сорта характеризуются четко выраженной экологической индивидуальностью, симбиотической активностью, разными сроками созревания. С использованием методов химического мутагенеза и полиплоидии удалось создать ультраскороспелые сорта клевера Ранний 2, Трио, ВИК 84, Марс и др. [8].

Одним из перспективных направлений в области селекции кормовых растений, которые разрабатываются в последние годы, является эколого-эволюционный подход к селекции на биогеоценотических принципах. Концепция и методология этого подхода, подготовленная ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса, одобрена Президиумом РАН. Этот подход предусматривает разработку принципов и методов фитоценотической, симбиотической, эдафической, экотипической селекции кормовых культур.

Применение технологии фитоценотической селекции и выведение на этой основе фитоценотически ориентированных сортов создает материальные предпосылки к реабилитации биологических механизмов самовозобновления и саморегуляции конструируемых пастбищных экосистем. Сорта люцерны изменчивой – Пастбищная 88 и Луговая 67 – первые, наделенные повышенными виолент-

ными свойствами, пригодны для формирования долгоживущих люцерново-злаковых пастбищ. Бобовый компонент в травосмеси на четвертый-пятый год пользования сохраняется на уровне 30-40%.

Необходимость разработки методов эдафической селекции в рамках биогеоценотического подхода обусловлена тем, что в Нечерноземной зоне России преобладают почвы с избыточной кислотностью, а в южных районах – засоленные. Такое экологическое состояние сельскохозяйственных земель диктует необходимость создания системы эдафически дифференцированных сортов кормовых растений, способных продуктивно осваивать земли в районах с экологически дестабилизированной средой. В рамках концепции эдафической селекции созданы кислотоустойчивые сорта клевера лугового – Топаз и люцерны изменчивой – Селена, формирующие (при pH 4,0) 9,5-11,5 т/га сухой кормовой массы. Другой аспект эдафической селекции – создание ультрасолеустойчивых сортов кормовых растений на основе использования генофонда гипергалофитов и эугалофитов: в настоящее время созданы чрезвычайно устойчивые к засолению сорта солянки восточной (кейреук) Саланг и камфоросмы Лессинга – Алсу, успешно произрастающие и формирующие 1,5-2,5 т/га сухой кормовой массы на фоне засоленных почв в полупустынной зоне Северо-Западного Прикаспия.

Расшифровка генетики симбиоза, установление симбиогенетики как науки, во многом благодаря работам Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии, с одной стороны, и развития биогеоценологии, формирования учения о консорциях – с другой, а также накопление знаний по частной экологии и генетике макросимбионтов – селективируемых видов, позволили разработать методы симбиотической селекции и создание сорто-микробных консорционных систем кормовых растений, способных к увеличению фиксации атмосферного азота и усилению фосфатмобилизирующей их способности.

На основе методов симбиотической селекции созданы генетически и консорционно интегрированные сорто-микробные системы люцерны (Вега, Луговая 67, Пастбищная) в симбиозе со штаммами клубеньковых бактерий 415б, сортов Селена и Агния – со штаммом 404б, клевера лугового в симбиозе с местным штаммом К-18, обе-

спечивающие получение 10-12 т сухого вещества и сбор 2,5-3,0 т протеина с 1 га. При этом за счет массы корней и пожнивных остатков в почве накапливается 150-200 кг/га биологического азота (в пересчете на аммиачную селитру 900-1100 кг/га туков). Внедрение в кормопроизводство сорто-микробных систем люцерны и клевера на площади 6 млн га, предусмотренное Концепцией развития кормопроизводства в Российской Федерации, позволит без дополнительных затрат увеличить сбор сена на 10-13 млн т и за счет накопления в почве биологического азота обеспечить экономию азотных удобрений.

В кормопроизводстве широко используются генетические ресурсы природной (дикорастущей) флоры и экспериментально созданный исходный генетический материал для селекции. Современный этап развития селекции требует новых знаний, основанных на фундаментальной биологии, которые могли бы лечь в основу создания нового поколения сортов кормовых растений [8].

Существует три основных направления использования генетических ресурсов в селекции кормовых растений:

- перенос одного или нескольких генов или генных комплексов (сегментов хромосом) из генресурсов растений в селекционный материал;
- инкорпорация на основе ассимиляции, слияния, встраивания, либо включения генетического материала генресурсов растений в требуемый селекционный материал, также называемая генетическим улучшением или расширением генетической основы, характеризующаяся получением новых, генетически разнообразных, адаптированных к окружающей среде популяций с широкой генетической изменчивостью и достаточным уровнем проявления необходимых признаков;
- формирование целевых заданий для более глубоких предселекционных научных исследований, направленных на упрощение и/или облегчение использования «трудного» селекционного материала.

Ни одно из этих направлений не может быть четко отделено от другого. С развитием молекулярно-генетических методов оценки и изучения геномов растительных организмов и биотехнологии у исследователей появились новые способы расширения частоты

и спектра генетической изменчивости, а также ускорения селекционного процесса.

С помощью молекулярно-генетических методов анализа геномов растений (маркеры) можно раскрыть генетический потенциал диких и культивируемых видов кормовых растений более эффективно и целенаправленно.

Применение молекулярно-генетических маркеров для исследования геномов в контексте реализации генетического потенциала генресурсов растений в целях практической селекции кормовых культур включает в себя:

- исследование биоразнообразия для идентификации генетического сходства/различия между образцами и определения индивидуальной степени гетерозиготности и гетерогенности внутри популяций генресурсов растений;
- генетическое картирование для выявления просто наследуемых маркеров, находящихся в генетическом сцеплении с генетическими факторами, влияющими на проявление желаемых признаков, в том числе количественных (картирование QTL), с последующим использованием маркер-вспомогательной селекции для идентификации желаемых генотипов в расщепляющихся популяциях;
- использование хозяйственно ценных QTL посредством пирамидирования или беккроссного скрещивания, комбинируя QTL-анализ с отбором лучших генотипов, либо посредством маркер-вспомогательной интрогрессии аллелей генресурсов растений в селекционный материал посредством создания и использования интрогрессионных библиотек и/или иного исходного селекционного материала;
- ассоциативные исследования для прямого нахождения аллельного разнообразия генресурсов растений, установления взаимосвязей типа «маркер-признак» и выявления аллелей, наиболее благоприятных для улучшения важных сельскохозяйственных признаков.

Молекулярно-генетические маркеры могут применяться в различных фазах и на различных этапах селекционных программ. Например, при оптимизации сохранения генетических ресурсов или иного

исходного селекционного материала, при выборе родительских пар, идентификации желаемых аллелей, так же как и при получении генотипов с этими аллелями. Некоторые из этих маркерных подходов уже стали повседневными. Анализ генетической изменчивости с целью организации отобранных генотипов в группы (популяции) или оценка уже существующих групп, проведение возвратного скрещивания на основе применения молекулярных маркеров уже довольно широко используются в большом числе как частных, так и государственных селекционных программ. Остальные подходы с использованием молекулярных маркеров остаются не очень востребованными в практической селекции растений. Это в первую очередь относится к маркерной селекции количественных признаков, для которых основные принципы анализа полигенных систем были разработаны, но экспериментальное изучение и тем более практическое применение полученных результатов, подходов и методов в отечественной селекции по сравнению с зарубежной оставляет желать лучшего. Проблема генетического анализа полигенных количественных признаков может быть полем деятельности для дальнейшей методической оптимизации и «наведения мостов» между классической и молекулярной генетикой и селекцией растений. Последующее влияние этих методов на генетику и практическую селекцию растений будет зависеть от результатов, которые будут получены, в частности, от выявления возможности или невозможности генотипирования особи по одному генетическому маркеру, так же как и от экономической цены получаемых информативных данных. Тем не менее молекулярные маркеры уже обогатили и развили целый ряд методов по управлению и использованию генотипической изменчивости, заключенной в генетическом разнообразии растений, что в ближайшем будущем может привести к интенсификации селекционных программ, ускорению селекционного процесса и, как следствие, к получению новых сортов с улучшенными хозяйственно значимыми показателями [4].

В создании сортов кормовых культур, отвечающих всем требованиям современного производства и пригодных для возделывания в широком диапазоне природно-климатических условий, используются методы клеточной биотехнологии, основанные на использовании растительного исходного материала на разных уровнях организации:

гаметофиты, изолированные протопласты, клетки, ткани, проростки. Известно, что клеточные технологии, основанные на культивировании *in vitro* на искусственной питательной среде в стеклянных или пластиковых емкостях органов, тканей, клеток и изолированных протопластов высших растений, могут облегчить и ускорить селекционный процесс. Это следующие клеточные технологии: культура незрелых гибридных семян и зародышей, экспериментальная гаплоидия, клональное микроразмножение новых сортов, гибридов, линий. В группу клеточных технологий, предлагающих принципиально новые пути для создания генетического разнообразия и отбора форм с искомыми признаками, входят использование соматических вариантов и получение интродуцированных мутантов на клеточном уровне, клеточная селекция, гибридизация соматических клеток, перенос чужеродных генов.

Работы по созданию исходного селекционного материала кормовых культур с использованием методов биотехнологии проводится согласно схеме (рис. 1):

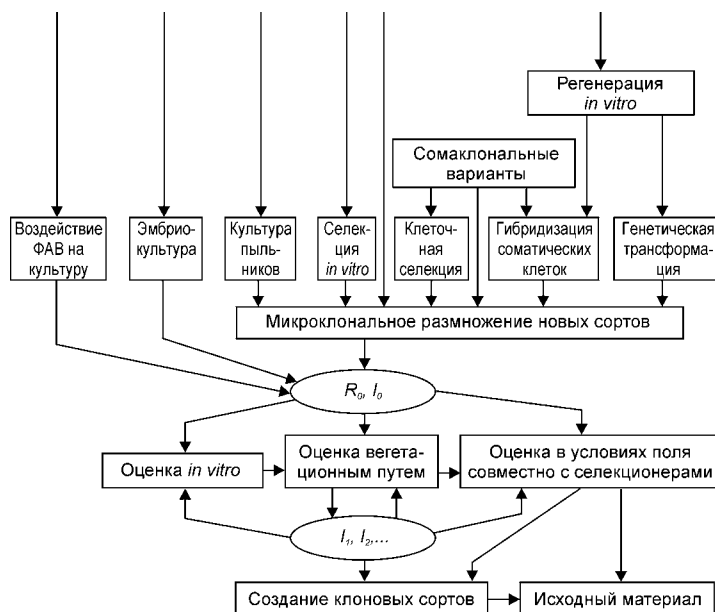


Рис. 1. Схема создания исходного селекционного материала с использованием методов биотехнологии



Культура зародышей или эмбриокультура является одним из методов преодоления нескрещиваемости при межвидовой гибридизации, который позволяет получать гибридные растения в комбинациях, где обычным путем этого добиться нельзя (гибель гибридного зародыша на ранних этапах развития).

Данный метод достаточно широко использовался во ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса для получения межвидовых гибридов клевера. Были экспериментально подобраны сроки вычленения зародышей, питательные среды, условия культивирования. Так, были получены гибридные растения в комбинации клевер исходный и клевер гибридный при использовании родительских форм различного уровня плоидности. Методы эмбриокультуры использовали также при межвидовой гибридизации разнохромосомных видов люцерны, при получении межвидовых и межродовых гибридов злаковых трав, триплоидных растений клевера лугового.

Культура пыльников используется для получения гаплоидов в культуре *in vitro*. Гаплоиды имеют большое значение для селекционного процесса, так как гаплоидные растения позволяют легче обнаружить рецессивные мутации, редкие рекомбинации, экспрессию введенного извне генетического материала. Одновременно с этим изогенные линии на основе гаплоидов облегчают селекционеру оценку и отбор искомых комбинаций признаков, позволяют в 2-3 раза ускорить процесс создания сорта.

Источником получения гаплоидных каллусных тканей или эмбриоидов являются микроспоры при культивировании пыльников на питательных средах. Процессы изолирования пыльников, их культивирование в условиях *in vitro* приводят к блокированию развития части спор по нормальному гаметофитному пути и переходу их к аномальному развитию, в результате которого из каллусов или эмбриоидов возникают растения. Среди физиологических условий, определяющих эффективность получения гаплоидов в культуре пыльников, можно выделить следующие: возраст и физиологическое состояние растения-донора, стадия развития пыльцы, оптимальная для изолирования пыльников, освещение и т.д.

Способ воздействия физиологически активными веществами (ФАВ) на генеративную систему люцерны с помощью вакуумной

инфильтрации позволяет в зависимости от используемых веществ добиваться разных результатов. Обработка регуляторами роста на базе тетраплоидной люцерны изменчивой дает возможность получить растения разного уровня плоидности, в частности, гаплоидные и триплоидные формы; источник мужской и женской стерильности с соцветием сложная кисть; растение с полной мужской и женской стерильностью.

Использование вместо фитогормонов культурального фильтрата грибов рода *Fusarium* позволило разработать метод гаметной селекции, основанный на избирательной элиминации микро- и макроспор в незрелых соцветиях в селективных условиях. Однако при воздействии селективным фактором только на микроспоры рецессивные гены в спорофите будут присутствовать в гетерозиготной форме. Кроме того, селекция на уровне микроспор не затрагивает цитоплазматические гены, которые в ряде случаев обеспечивают реализацию признаков устойчивости к стресс-факторам.

В процессе культивирования *in vitro* возникает соматоклональная изменчивость – основной источник гетерогенности исходных клеточных популяций (клевер луговой, люцерна). Показано, что частота и характер возникающих соматоклональных вариантов зависит от генетических особенностей исходного растения, где наибольшей частотой и спектром изменчивости характеризуются генотипы гибридного происхождения. Соматоклональная изменчивость может использоваться не только как эффективный источник получения новых форм растений, но и как источник генетического разнообразия клеток для клеточной селекции.

Клеточная селекция – это метод выделения мутантных клеток и соматоклональных вариаций с помощью селективных условий. Одним из важных методологических вопросов клеточной селекции является правильный выбор селективного агента и создание надежных селективных систем, адекватно отражающих неблагоприятные факторы внешней среды. Так, для селекции солеустойчивых клеток люцерны в качестве селективной системы использовали длительное культивирование клеток в жидкой питательной среде, содержащей хлорид натрия. По такой же методике можно проводить отбор кле-

ток, устойчивых к другим неблагоприятным факторам внешней среды, создавая соответствующие селективные условия.

В биотехнологической селекции кормовых культур применяется соматическая (парасексуальная) гибридизация – система, вовлекающая в генетическую рекомбинацию хромосомы и гены ядра, например, путем слияния изолированных протопластов, что приводит к появлению гибридных клеточных линий и соматических гибридов-растений.

Широко используется и микроклональное размножение, т.е. использование техники *in vitro* для быстрого неполового получения растений, идентичных исходному. При этом обязательным условием является использование объектов, полностью сохраняющих генетическую стабильность на всех этапах процесса. Такой метод успешно используется во ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса для размножения селекционных образцов, в частности, получаемых экспериментальным способом растений-регенерантов клевера и люцерны для создания в культуре *in vitro* коллекций генотипов с ценными признаками.

Важным и принципиально новым биотехнологическим подходом к созданию форм кормовых растений с ценными селекционными признаками является генетическая трансформация растений, основанная на переносе целевого гена в геном растительной клетки. Генетическая инженерия продолжает направление традиционной селекции по улучшению генотипов полезных растений, но достигает той же цели более эффективным и быстрым путем, так как в отличие от гибридизации позволяет переносить один конкретный ценный ген или их группу не затрагивая генетической основы растения-реципиента. Причем донором переносимых генов могут быть не только растения, но и другие таксономические группы, в том числе бактерии. Существуют разные методы переноса генов в растения. Однако использование в качестве вектора бактерий рода *Agrobacterium* остается наиболее распространенным методом трансформации, поскольку природа создала уникальный механизм, благодаря которому определенный фрагмент плазмиды агробактерии (Т-ДНК) переходит в ядро растительной клетки и стабильно встраивается в хромосомную ДНК. В свою очередь Т-ДНК агробактерий несет в себе серию генов, вовлеченных в метаболизм фитогормонов,

которые обеспечивают изменение путей дифференцировки трансформированных растительных тканей.

Таким образом, у исследователей появилась возможность влиять на метаболизм растений путем изменения гормонального баланса и переносить гены конкретных хозяйственно-полезных признаков. На примере люцерны и клевера, которые имеют ряд биологических особенностей, делающих их удобными объектами для генетической трансформации, было доказано, что перенос генов, связанных с метаболизмом фитогормонов, вызывает гормональные изменения, что, в свою очередь, может привести к повышению облиственности, увеличению числа стеблей, влиять на величину и форму соцветий, сроки цветения и т.д. [9].

В современной селекции кормовых культур немаловажным вопросом является селекция устойчивого к болезням исходного материала. Для этого необходимо использовать эффективные методы диагностики устойчивости. Наиболее достоверными являются прямые методы – оценка сортообразцов на полевых искусственных фонах, искусственное заражение в лабораторных условиях и экспресс-методы.

Как показывает практика, только качественный полевой инфекционный фон является главным критерием для оценки истинной устойчивости созданного перспективного селекционного материала. Так, на основании многолетних исследований, проведенных в лаборатории иммунитета ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса по созданию образцов с повышенной устойчивостью к патогенам, разработана схема (рис. 2), предусматривающая возможность оценки исходного материала и создания новых сортов с расшифровкой звеньев селекционного процесса.

Традиционными селекционными методами, используемыми для выведения сортов, устойчивых к болезням, являются рекуррентные отборы и создание поликроссных популяций. Весьма перспективным в селекции на иммунитет у кормовых культур является метод инбридинга.

Работа по созданию сортов кормовых культур, отличающихся повышенной устойчивостью к болезням должна проводиться в тесном контакте с селекционерами. В результате такой работы во ВНИИ

кормов имени В.Р. Вильямса были созданы клевер луговой Марс, лядвенец рогатый Луч, клевер гибридный Маяк и др. Все они имеют не только высокие хозяйственно-ценные признаки, но и повышенную устойчивость к болезням.

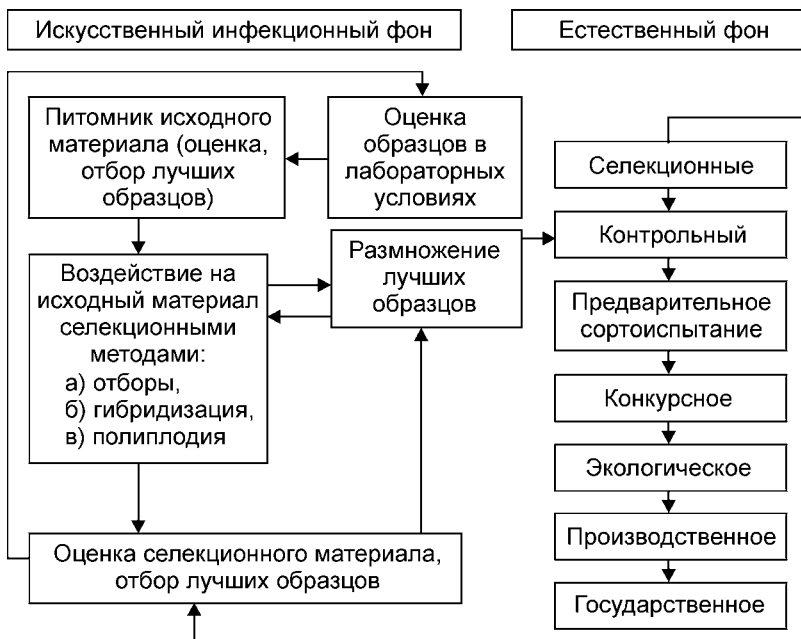


Рис. 2. Схема создания сортов кормовых культур с повышенной устойчивостью к болезням

Например, сорт Марс создавался совместно с учеными Германии. Принцип его выведения был основан на свободном переопылении смеси лучших сортов и селекционных образцов из СССР, ГДР, Чехословакии и Румынии. Задача иммунологов заключалась в оценке каждого цикла отбора генотипической смеси на устойчивость к склеротиниозу в условиях жесткого полевого инфекционного фона, на котором определялась не только устойчивость к патогену, но и урожайность зеленой и сухой массы. На заключительном этапе отборов поколений генотипической смеси распространенность рака на растениях сорта Марс была на 24% ниже, чем у стандарта Тетра-

плоидный ВИК, и на 32% – чем у диплоидного стандарта ВИК 7. В результате в данном проекте удалось преодолеть отрицательную корреляцию между раннеспелостью и устойчивостью к клеверному раку. В настоящее время этот высокоурожайный, раннеспелый, экологически пластичный, обладающий повышенной устойчивостью к раку сорт районирован не только в России, но и в Германии.

Важным направлением в селекции на иммунитет является выведение форм устойчивых к комплексу патогенов. Особенно ценным в таких исследованиях является то, что селекционный материал проходит оценку на комплексную устойчивость к патогенам уже на специализированных искусственных инфекционных фонах, а не на фоне естественного заражения.

ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса проведена полевая оценка устойчивости к склеротиниозу и фузариозу образцов клевера лугового, прошедших испытание на комплексную устойчивость к патогенам корневой системы (рак, фузариоз) в лабораторных условиях. В результате было выделено три образца, которые при испытании в условиях полевых искусственных инфекционных фонов превысили сорт – стандарт ВИК 7 по устойчивости к фузариозу на 21-25%, к раку на 16-19%. Эти образцы включены в селекционный процесс [9].

### 3. ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Поиски путей введения чужеродных генов в клетки высших растений интенсивно ведутся во всем мире с начала 70-х годов XX в. Одним из импульсов к развитию методов переноса чужеродных генов в растения стали результаты детального изучения молекулярно-генетических основ опухолевого роста у растений при участии бактерий рода *Agrobacterium*.

В результате этих исследований оказалось, что опухолеобразующие плазмиды агробактерий (Ti – tumor inducing, индуцирующая опухоль), представляющие собой мини-кольцевые ДНК, являются природной векторной системой, которую сейчас используют для переноса генов в растения. Плазида агробактерии переносит часть своей ДНК в ДНК растительной клетки, т.е. в ДНК встраивается «нужный» ген. С помощью этого уникального вектора уже получено большое число трансгенных растений. Важно также и то, что методы генной инженерии используют не только в практике, это важнейшая методология для познания фундаментальных основ организации и функционирования растительного генома.

Таким образом, генетическая инженерия – это система экспериментальных приемов, позволяющих конструировать искусственные генетические структуры в виде так называемых рекомбинантных (гибридных) молекул ДНК. Суть ее сводится к переносу в растения чужеродных генов, которые могут сообщать растениям полезные свойства. Такие манипуляции осуществляются с помощью соответствующих ферментов – рестрикционных эндонуклеаз, расщепляющих молекулы ДНК в строго определенных участках, и лигаз, сшивающих фрагменты в единую рекомбинантную молекулу ДНК.

Введенная генетическая информация экспрессируется, что приводит к синтезу нового продукта. Таким образом, вводя в клетку новую генетическую информацию в виде гибридных молекул ДНК, можно получить измененный организм.

Растения имеют одно очень важное преимущество перед животными, а именно возможна их регенерация *in vitro* из недифференцированных соматических тканей с получением нормальных, фертиль-

ных (способных завязывать семена) растений. Это свойство открывает для молекулярных биологов большие возможности в изучении функционирования генов, введенных в растения, а также широко используется в селекции растений.

В этой связи для конструирования растений необходимо решить следующие задачи: выделить конкретный ген, разработать методы, обеспечивающие включение его в наследственный аппарат растительной клетки, регенерировать из единичных клеток нормальное растение с измененным генотипом.

Таким образом, методология генетической инженерии в отношении растений направлена на коренное изменение методов традиционной селекции, с тем чтобы желаемые признаки растений можно было получать путем прямого введения в них соответствующих генов вместо длительной работы по скрещиваниям. Долгое время ученые задавались вопросом: можно ли создать сорта, сбалансированные по составу аминокислот, устойчивые к холоду, засухе, вредителям. Сегодня можно с уверенностью утверждать, что такие трансгенные растения уже широко применяются в сельском хозяйстве для решения этих проблем.

После успешных экспериментов появились опасения о возможном вреде генетической инженерии для природы и человечества. Однако уже более чем за четверть века своего существования генетическая инженерия не принесла очевидного ущерба ни природе, ни человеку. Главное, чтобы в любых экспериментах по генной инженерии строго соблюдались разработанные правила.

В настоящее время наиболее актуален вопрос о выведении растений, устойчивых к болезням и вредителям, так как эти риски стали основным лимитирующим фактором в получении урожая.

В арсенале генной инженерии растений есть много приемов, позволяющих получить трансгенные растения, устойчивые к насекомым. Традиционно используют ген *bt*, продуктом которого является бактериальный токсин *Bacillus thuringiensis*. Эта бактерия продуцирует крупный белок (протоксин), контролируемый геном *bt*, который, попадая в кишечник личинок насекомых, разрушается под действием ферментов, а его фрагмент (эндотоксин) приводит к их гибели. Синтезирован искусственный ген *bt*, конструкция с которым



более эффективна, а сами трансгенные растения обладают широким спектром устойчивости к насекомым. Так, трансгенные растения картофеля, хлопка, кукурузы с геном *bt* уже производятся некоторыми зарубежными фирмами и продаются на рынках мира, хотя дискуссии об их использовании еще не закончены [10].

Многие разновидности физиологического стресса (яркий свет, ультрафиолетовое излучение, жара, засуха) вызывают образование кислородных радикалов, прежде всего анион-радикалов кислорода. Трансгенные растения, несущие ген фермента супероксиддисмутазы под контролем 35S – промотора вируса мозаики цветной капусты, становятся не только устойчивыми к физиологическим стрессам, но и медленнее увядают.

Картофельный вирус 4 и вирус сахарной свеклы *Rhizomania* наносят большой вред сельскому хозяйству. Поэтому осуществляются попытки вмешаться в механизм репликации вируса путем экспрессии нефункциональных вирусных белков (перекрестная защита), а также экспрессировать антитела к вирусам.

Примерно 10 % мирового урожая теряется из-за наличия сорняков. Идеальный гербицид должен действовать в незначительных концентрациях, не оказывать отрицательного влияния на рост культурного растения, быстро разлагаться и не попадать в грунтовые воды. Трансгенные растения, устойчивые к гербицидам, либо содержат в большом количестве гербицид-чувствительный белок, благодаря чему гербицид связывается хуже или совсем не взаимодействует со своей мишенью, либо инактивируют гербицид, разлагая его. Например, соевые бобы, устойчивые к глифосфату Roundup, были получены в результате выделения гена 5-0-енолпирувилшикимат-3-фосфат-синтазы (EPSP-синтаза является мишенью гербицида) из устойчивых к глифосфату штаммов *Escherichiacoli* и его последующего клонирования под контролем растительного промотора. Устойчивость к фосфинотрицину Basta – ингибитору глутаминсинтазы – является следствием клонирования гена фосфинотрицинацетилтрансферазы PAT из *Streptomyces hygroscopicus* в табак, картофель, рапсе и других растениях [11].

Известно, что растения, так же как и животные, способны вырабатывать иммунитет. Этим замечательным свойством облада-

ют только те устойчивые растения, у которых при атаке патогенов сильно меняется метаболизм. У устойчивых растений накапливаются такие химические соединения, как перекись водорода ( $H_2O_2$ ), салициловая кислота (SA), фитоалексины (соединения, выполняющие защитную функцию в растении). Повышенное содержание этих соединений позволяет растениям бороться с патогенами. Так, трансгенные растения табака, которые содержат бактериальный ген, контролирующий синтез салицилат гидролазы (этот фермент разрушает SA), были неспособны к иммунному ответу. Поэтому изменение генноинженерным путем уровня салициловой кислоты или выработки в растениях  $H_2O_2$  в ответ на патоген может быть перспективным для создания устойчивых трансгенных растений.

В последние годы ученые используют новый подход для получения трансгенных растений с «antisense RNA» (перевернутой или антисмысловой РНК), который позволяет управлять работой интересующего гена.

В этом случае при конструировании вектора копию ДНК (к-ДНК) встраиваемого гена переворачивают на  $180^\circ$ . В результате в трансгенном растении образуется нормальная молекула мРНК и перевернутая, которая в силу комплементарности нормальной мРНК образует с ней комплекс и закодированный белок не синтезируется. Такой подход использован для получения трансгенных растений томатов с улучшенным качеством плодов.

Вектор включал к-ДНК гена PG, контролирующего синтез полигалактуроназы (polygalacturonase) – фермента, участвующего в разрушении пектина, основного компонента межклеточного пространства растительных тканей. Продукт гена PG синтезируется в период созревания плодов томатов, а увеличение его количества приводит к тому, что томаты становятся более мягкими и это значительно сокращает срок их хранения. Отключение этого гена в трансгенах позволило получить растения томатов с новыми свойствами плодов, которые значительно дольше сохранялись, а сами растения были более устойчивы к грибным заболеваниям.

Следует отметить еще одно направление в генной инженерии растений, которое до недавнего времени в основном использовали в фундаментальных исследованиях – для изучения роли гормонов

в развитии растений. Суть экспериментов заключалась в получении трансгенных растений с комбинацией определенных бактериальных гормональных генов, например только *iaaM* или *ipt* и т.д. Эти эксперименты внесли существенный вклад в доказательство роли ауксинов и цитокининов в дифференцировке растений. В последние годы этот подход стали использовать в практической селекции. Оказалось, что плоды трансгенных растений с геном *iaaM*, находящимся под промотором гена *Def* (ген, который экспрессируется только в плодах), являются партенокарпическими, т.е. сформировавшимися без опыления. Партенокарпические плоды характеризуются либо полным отсутствием семян, либо очень небольшим их количеством, что позволяет решить проблему «лишних косточек», например в арбузе, цитрусовых и т.д. Получены трансгенные растения кабачков, которые в целом не отличаются от контрольных, но практически не содержат семян.

Таким образом, областей применения трансгенных растений очень много. На уровне лабораторных экспериментов ведутся работы по получению растений, устойчивых к холоду, тяжелым металлам, повышенному содержанию солей и др. Трансгенные растения, устойчивые к гербицидам (химическим соединениям, которые используют для борьбы с сорняками), вирусам, растения с повышенным содержанием масел и незаменимых аминокислот уже выращивают на миллионах гектаров. Не менее интересен и другой аспект работ – трансгенные растения с измененными декоративными свойствами. Один из примеров – получение растений петунии с разноцветными цветками [10].

В нашей стране генная инженерия, как метод селекции, долго замалчивалась в официальных документах и не включалась в планы практических работ селекционных учреждений. В начале 2012 г. мероприятия по генной инженерии были включены в Комплексную программу развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г., которая ориентирована на стабильное развитие сельскохозяйственного производства, решение проблемы продовольственной безопасности, получение высококачественных, экологически чистых продуктов питания.

В области растениеводства наиболее приоритетным направлением признано создание новых сортов и гибридов сельскохозяй-

ственных растений, в том числе с использованием генной инженерии, обращается внимание генетиков и селекционеров на то, что в Российской Федерации практически не создаются сорта и гибриды нового поколения, устойчивые к засухе, болезням, гербицидам, насекомым-вредителям и неблагоприятным условиям среды, с использованием постгеномных технологий (методы селекции, основанные на использовании молекулярных маркеров) и генетической инженерии, которые все шире используются во всем мире.

В документе отмечено, что без использования биотехнологических инноваций сельскохозяйственное производство России будет по-прежнему высокзатратным и неконкурентоспособным по отношению к зарубежным странам. Такая ситуация негативно скажется и на отечественном секторе производства продуктов питания.

Предлагаемый к исполнению комплекс мероприятий будет содействовать развитию передовых постгеномных и биотехнологических методов в растениеводстве и формированию динамичных рынков трансгенных семян и растений, востребованных сельскохозяйственными производителями [12].

В этой связи в Российской Федерации для биотехнологического сектора экономики был разработан План мероприятий (дорожная карта) развития биотехнологий и генной инженерии, утвержденный Правительством Российской Федерации 18 июля 2013 г. № 1247-р.

Реализация его должна осуществляться как с помощью общесистемных мер развития сферы биотехнологий, так и мероприятий по развитию приоритетных секторов этой области, включая: биофармацевтику, биомедицину, промышленную биотехнологию, биоэнергетику, агропищевую биотехнологию, лесную биотехнологию, природоохранную (экологическую) биотехнологию. Отдельно выделены общие системные мероприятия в области генной инженерии.

Стратегические цели реализации дорожной карты:

- выход на уровень производства биотехнологической продукции в России в размере около 1% валового внутреннего продукта к 2020 г.;
- создание условий для достижения уровня производства указанной продукции в размере не менее 3% валового внутреннего продукта к 2030 г.

Планируется, что реализация данных мер позволит преодолеть существующий разрыв в развитии биотехнологий со странами – лидерами, такими как США, Канада, Япония, страны Евросоюза [13].

В дополнение к этому постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2013 г. № 839 были утверждены правила государственной регистрации генно-инженерно-модифицированных организмов, предназначенных для выпуска в окружающую среду, а также продукции, полученной с применением таких организмов или их содержащей. Согласно этому документу функции по контролю и надзору в этой области для растениеводства и животноводства возложены на Федеральную службу по ветеринарному и фитосанитарному надзору Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [14].

Стратегическим документом, определяющим политику Российской Федерации в области совершенствования государственного регулирования генно-инженерной деятельности является Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 358-ФЗ.

Так, в целях обеспечения экологической безопасности и охраны здоровья человека Федеральным законом предусматривается контроль за выпуском генно-инженерно-модифицированных организмов и мониторинг их воздействия на человека и окружающую среду. По итогам мониторинга Правительство России вправе устанавливать запрет на ввоз данных организмов на территорию Российской Федерации. Кроме того, устанавливается запрет на выращивание и разведение растений и животных, генетическая программа которых изменена с использованием методов генной инженерии, а также содержащих генно-инженерный материал, внесение которого не может являться результатом естественных процессов (в том числе на использование для посева (посадки) семян таких растений), за исключением выращивания и разведения таких растений и животных при проведении экспертиз и научно-исследовательских работ [15].

#### 4. СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Н.И. Вавилов заложил основы эколого-географических и эволюционно-генетических принципов сохранения и сбора растительных ресурсов. Его работы позволили целенаправленно подойти к созданию генных банков и подбору исходных форм для скрещивания.

В настоящее время существует реальная угроза исчезновения множества видов растений. Причины сокращения разнообразия и редкости растений разные, но главным обстоятельством, приводящим к уменьшению их численности и сужению ареалов, является хозяйственная деятельность человека [16].

Генетические растительные ресурсы являются важнейшим национальным богатством, а их сохранение играет решающую роль в обеспечении продовольственной, а следовательно, национальной безопасности и суверенитета любого государства. Благодаря огромному разнообразию почвенно-климатических, погодных и этнографических условий Россия обладает богатейшим и в то же время уникальным фондом растительных ресурсов, многие из которых незаменимы при сельскохозяйственном освоении территорий с неблагоприятными и даже экстремальными условиями внешней среды. Это относится к кормовым, зерновым и плодово-ягодным культурам, которые устойчивы к морозам, засухе, короткому вегетационному периоду, толерантны и выносливы ко многим вредителям и болезням.

В этой связи необходимо сохранять генетические ресурсы двумя основными методами – *ex situ* и *in situ*, поскольку биоразнообразие, сохраняемое *in situ* (леса, луга, пастбища), представляет собой постоянно эволюционирующую, динамичную систему, генетическая структура которой естественно изменяется в природных условиях под влиянием абиотических и биотических факторов окружающей среды, а сохранение *ex situ* заключается в перемещении генетического материала из его естественной среды обитания на долговременное хранение. Также немаловажную роль играет сохранение *in vitro*, но с учетом практического опыта оно не целесообразно для обеспечения длительного хранения образцов.

Хранение генетического материала природной флоры в виде семян является одним из самых распространенных, практичных и эффективных способов охраны *ex situ*. За последние 30 лет организации и институты, занимающиеся изучением растительных ресурсов, накопили огромный опыт в этой области.

С осознанием важности охраны эндемичных видов растений в мировой практике создаются банки долговременного хранения семян. Банк семян – это надежный и не требующий много места способ хранения генетического разнообразия растений. Изначально банки семян создавались для коллекционирования семян растений, имеющих продовольственное значение, и их дикорастущих родителей, в современных условиях необходимо долговременное хранение семян многих исчезающих видов, не имеющих непосредственного практического значения.

Банки семян можно разделить по географическому признаку на международные, национальные и региональные.

Международные банки семян являются крупнейшими и работают для сохранения растений со всего земного шара. В них преимущество отдается сохранению флоры регионов, наиболее подверженных глобальным климатическим изменениям и антропогенному воздействию. Например, хранилище семян Королевского ботанического сада Кью в Лондоне. Под эгидой ООН был создан Всемирный банк-семеновохранилище на о. Шпицберген (Норвегия), где собственный отсек получила каждая страна. Задача такого хранилища семян — не допустить их уничтожения в результате возможных глобальных катастроф, таких как изменение климата. В Международном НИИ риса на Филиппинах сосредоточена большая часть семян этой культуры, Международный центр селекции пшеницы и кукурузы в Мексике контролирует мировую коллекцию кукурузы, в Международном центре картофеля в Перу хранится более 12 тыс. сортов, в Международном центре по изучению культур полусасушливых тропических зон в Индии собраны мировые коллекции сорго, проса турецкого и голубиногo гороха, Международный центр тропического земледелия в Колумбии поддерживает мировую базовую коллекцию маниока и фасоли,

Международный институт тропического сельского хозяйства в Нигерии ответственен за сохранение генетических ресурсов африканского риса, корнеплодов и земляного ореха, Международный центр по сельскохозяйственным исследованиям аридной зоны в Сирии и Ливане занимается культурами Средиземноморья и Ближнего Востока, адаптированными к засушливым условиям, включая ячмень, чечевицу, вику, твердую пшеницу и турецкий горох, Азиатский научный центр исследований и развития овощеводства на Тайване отвечает за такие культуры, как томат, соя, китайская капуста, сладкий картофель и фасоль золотистая.

Национальные банки семян сохраняют семена редких видов растений определенных государств. Например, семенной банк Главного ботанического сада Российской академии наук в Москве или Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства имени Н.И. Вавилова (ВИР) в Санкт-Петербурге.

В задачи региональных банков семян входит изучение и сохранение биоразнообразия флоры определенной административной территории. Одним из таких банков семян является региональный генетический банк, созданный на базе ГБУ Волгоградской области «Волгоградский региональный ботанический сад». Его сотрудниками производятся коллекционные сборы семян эндемичных, редких и исчезающих видов региональной флоры.

В банке семян Волгоградского ботанического сада имеются два типа коллекций: базовая и активная. Базовая коллекция – стратегическая, длительного хранения при температуре выше минус 18°C при предварительной специальной подготовке. Предполагается, что семена будут востребованы в случае исчезновения соответствующих растений с лица земли.

Активная коллекция поддерживается при умеренных условиях хранения: температуре выше 4°C и относительной влажности 15%. При таких условиях семена сохраняют свою жизнеспособность достаточно короткий промежуток времени, в результате данная коллекция нуждается в постоянном обновлении. Именно на ее материале проводятся научно-исследовательские испытания и она служит основой для пополнения базовой коллекции. Семена, хранящиеся



в данных условиях необходимо регулярно проверять на всхожесть. Из активной коллекции формируются фонды для обмена семенами с другими ботаническими садами [16].

Генофонд мировых растительных ресурсов, сохраняемый в ВИР, его филиалах и опытных станциях, насчитывает 324955 образцов, представленных 64 ботаническими семействами, 376 родами и 2169 видами (данные на 1 ноября 2013 г.), из них 22750 образцов относятся к вегетативно размножаемым культурам. Поддержание столь обширной коллекции в живом виде невозможно без использования современных технологий – низкотемпературного хранения семян и криоконсервации вегетативно размножаемых культур.

В 1976 г. на Кубанской опытной станции института было построено Государственное хранилище семян (ныне – филиал ВИР «Кубанский генетический банк семян»). Основная его задача – сохранение базовой коллекции семян сельскохозяйственных растений и их диких родичей. Семена хранятся в герметически закрытых стеклянных контейнерах в камерах с нерегулируемой влажностью воздуха при температуре 4,5°C. Общая расчетная емкость хранилища – 400 тыс. образцов. В 2008-2009 гг. введены в строй две камеры хранения семян с температурным режимом минус 18°C. В настоящее время в «Кубанском генетическом банке семян» хранится 256761 образец коллекции ВИР, а также 16559 образцов других научно-исследовательских учреждений России и стран СНГ. На базовом хранении находится 188221 образец, из них 183580 хранятся при температуре 4,5°C, 4641 – при минус 18°C. 49983 образца дублетной коллекции хранятся при 4,5°C, 374 – при минус 18°C; 15232 образца активной коллекции – при 4,5°C, 2951 – при минус 18°C.

В 2000 г. в Санкт-Петербурге были построены новые низкотемпературные хранилища ВИР. В двух камерах для хранения семян вместимостью 437 м<sup>3</sup> поддерживается температура 4°C, в трех других – вместимостью 434 м<sup>3</sup> – минус 10°C. Семена герметично упакованы в фольгированные, ламинированные пакеты или стеклянные бутылочки. За период с 2001 по 2013 г. в новые хранилища было заложено 294292 образца мировой коллекции ВИР. Поскольку значительная часть коллекции ВИР была ранее передана в «Кубанский генетический банк семян» на базовое хранение, образцы, заклады-

ваемые на длительное хранение в низкотемпературные хранилища ВИР в Санкт-Петербурге, получают статус безопасных дублетов. На длительном хранении при минус 10°C в новых хранилищах находится 72071 образец. Предполагается, что постепенно хранилища поменяются ролями, более современные (с отрицательной температурой хранения), будут играть ведущую роль в сохранении генетических ресурсов растений, а «Кубанский генетический банк семян» после реконструкции будет надежным дублетным хранилищем. Кроме того, в низкотемпературных хранилищах ВИР в Санкт-Петербурге находятся образцы активной коллекции, используемые кураторами. 132052 образца семян активной коллекции ВИР хранятся при 4°C, и 90169 – при минус 10°C. Также в ВИР в Санкт-Петербурге на дублетном хранении в холодильниках при минус 18°C находится 1134 образца семян растений из научных организаций России и ближнего зарубежья.

В биокриокомплексе ВИР, введенном в эксплуатацию в 2004 г., в парах жидкого азота при температуре от -183 до -185°C в виде черенков и пыльцы хранятся 897 образцов коллекции плодовых культур, а в виде апексов побегов – 98 образцов картофеля [17].

Еще одна коллекция ВИР включает в себя около 8000 образцов диких и культурных видов картофеля, селекционных сортов и гибридов. Для надежного сохранения генофонда культивируемого картофеля, помимо полевых коллекций необходимо создавать дублетные *in vitro* и криоколлекции. При криохранении все метаболические процессы в растениях фактически останавливаются и теоретически возможно бессрочно долго сохранять генетически стабильный растительный материал в контролируемых условиях среды. В данной работе ученые исследовали регенерационную способность почек после криоразмораживания образцов картофеля из *in vitro* коллекции ВИР.

Для исследования использован 21 образец картофеля (аборигенные сорта) из различных экспедиционных сборов в Южной Америке. Образцы были разбиты на три группы, предположительно отличающиеся по устойчивости к низким температурам: первая – образцы высокогорных культурных андийских видов *S. curtilobum* *S. juzepchukii*, собранных в Перу, Боливии на высоте более 3800 м над уровнем моря (верхний предел возделывания карто-

феля); вторая – образцы диплоидных и тетраплоидных андийских культурных видов, собранные в Колумбии, Перу, Боливии на высоте 2200-2850 м над уровнем моря; третья – образцы, собранные в Чили на высоте менее 200 м над уровнем моря.

В данной работе для криоконсервации использован метод быстрого замораживания в жидком азоте с модификацией – использованием пазушных почек в качестве эксплантов наряду с апикальными. Данная модификация позволяет значительно экономить время и материальные затраты в экспериментах по криоконсервации. Для криоконсервации каждого образца в трех повторностях опыта изолировали по 60 эксплантов (почки микрорастений), всего 180 почек на образец. Из них половина почек использована для контроля регенерационной способности образцов после криоразмораживания, а другая половина была заложена в криобанк на длительное хранение. Подсчет регенерационной способности эксплантов проводили на третьей, шестой и восьмой неделях после криоразмораживания.

В пределах каждой группы выявлено существенное влияние генотипа на регенерационную способность почек после криоразмораживания. Образцы первой группы характеризовались наиболее высокими значениями регенерационной способности – от  $55,4 \pm 0,2\%$  до  $76,7 \pm 6,1\%$ , со средним значением  $66,3\%$ . Для образцов второй группы значения регенерационной способности варьировали от  $26,7 \pm 2,8\%$  до  $91,7 \pm 0,9\%$ ; среднее значение составило  $56,8\%$ . Регенерационная способность почек у образцов третьей группы варьировала от  $41,8 \pm 1,0\%$  до  $71,1 \pm 1,9\%$ ; среднее значение регенерационной способности образцов для данной группы составило  $38,7\%$ .

Таким образом, статистически значимые различия в регенерационной способности выявлены между высокогорными образцами культурных видов (первая группа), и образцами аборигенных сортов, собранных в Чили. Изученные образцы хранятся в криобанке ВИР, дополнив криоколлекцию картофеля (110 образцов по 90 эксплантов каждый).

Данные исследования планируется продолжить с увеличением числа образцов каждой группы и расширением их таксономической представленности [18].

В конце 70-х годов XX в. учеными ВИР и Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства (ЯНИИСХ) была начата работа по изучению возможности сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных растений в условиях толщи многолетней мерзлоты. На длительное хранение в подземное хранилище Института мерзлотоведения Северного отделения РАН в 1979 г. были заложены 10 тыс. образцов семян зернобобовых культур из коллекции ВИР. Через 18-20 лет были проверены посевные качества семян 9 сортов зерновых культур, 6 – многолетних трав, 2 – овощных культур, 37 – чечевицы, 6 – нута, одного сорта долихоса, 6 – вики, 12 – сои, 27 – гороха, 6 – фасоли, 9 – люпина, 15 сортов маша, длительно хранившихся в толще многолетней мерзлоты в течение 13-27 лет. Исследованиями установлено, что все образцы сохранили высокие посевные качества.

Для изучения влияния длительного хранения семян в вечной мерзлоте на морфобиологические параметры сельскохозяйственных культур в 2001-2003 гг. и 2007-2013 гг. в лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав ЯНИИСХ проведены полевые опыты. Сравнительная оценка ритма роста и развития, морфологических и физиологических параметров растений сои, фасоли, вики, чечевицы, гороха, чины, люпина, маша, нута, зерновых культур и многолетних трав после длительного хранения и их свежих аналогов показала отсутствие каких-либо значительных морфобиологических отклонений.

С ноября 2009 г. в ЯНИИСХ начат сбор семян ценных сортов сельскохозяйственных культур из Национального исследовательского университета (НИУ) Сибири и Дальнего Востока для закладки на длительное хранение в условиях многолетней мерзлоты. Собраны семена 92 сортов из 8 НИУ Сибирского отделения (СО) РАН, в том числе из ГНУ СибНИИРС – 18 сортов, ГНУ СибНИИСХ – 8, ГНУ СибНИИСХиТ СО Россельхозакадемии – 17, ГНУ НИИ АП Хакасии – 7, Алтайского НИИСХ – 15, Бурятского НИИСХ – 4, СибНИИ кормов – 12 и ЯНИИСХ – 11 сортов. Всего 45 сортов зерновых культур, 11 сортов зернобобовых и 36 сортов различных кормовых культур. В 2010 г. проведена закладка семян в подземном леднике ОАО «Легой» Усть-Алданского улуса Республики Саха (Якутия). В 2014 г.

коллекция семян из сибирских научно-исследовательских учреждений перевезена в Федеральное криохранилище, открытое в декабре 2012 г. в окрестностях Якутска силами СО РАН и Республики Саха. Федеральное криохранилище семян сельскохозяйственных, культурных, редких и исчезающих, древесных видов растений расположено в слое многолетней мерзлоты на глубине 10 м с естественной температурой пород минус 2,4 °С. Его общая площадь 150 м<sup>2</sup> рассчитана на хранение 100 тыс. образцов семян. Поддержание круглый год постоянных температур минус 6-10°С осуществляется благодаря разработанной технологии использования естественного холода атмосферного воздуха в зимний период, аккумуляирования и расходования его на охлаждение криохранилища в летнее время.

Таким образом, криохранилище семян в толще многолетней мерзлоты – это дополнительный способ сохранения генетических ресурсов растений в жизнеспособном состоянии [19].

Криоконсервация в жидком азоте и его парах также является одним из методов сохранения генофонда растительных ресурсов в виде пыльцы, черенков, почек, меристем.

Создание оптимальных условий для длительного хранения пыльцы плодовых и ягодных культур в фертильном состоянии необходимо в селекционных целях. Постоянное наличие достаточного количества разнообразной пыльцы с высокой жизнеспособностью и фертильностью облегчает проведение работ по гибридизации, позволяет опылять растения, цветущие в разные сроки или географически удаленные.

Важной составляющей методики криоконсервации является контроль жизнеспособности образцов после пребывания в жидком азоте или его парах. Для пыльцы недостаточно окрашивания ацетокармином, которое свидетельствует скорее о выполненности пыльцевых зёрен, чем об их способности к прорастанию. Гораздо более подходит для оценки жизнеспособности пыльцы её прорастивание на питательных средах. Подбор оптимальной среды для прорастивания позволяет более адекватно оценить воздействие использованного режима замораживания на жизнеспособность пыльцы.

Материалом исследования служила пыльца яблони *Malus domestica* Borkh. двух сортов: Ред Фри и Лескенская ММ106. Отбор пыльцы

осуществляли в период бутонизации за сутки до распускания цветков. Пыльцу подсушивали при комнатной температуре. Замораживание производили прямым погружением криопробирок с пылью в жидкий азот. Образцы пыльцы находились в жидком азоте двое суток, затем их размораживали при комнатной температуре 18-20°C в течение суток. Жизнеспособность пыльцы после криоконсервации оценивали по способности к прорастанию на искусственных средах, содержащих агар-агар и сахарозу в различных концентрациях: 15, 13, 10, 8 и 6%. Степень фертильности пыльцы после криоконсервации определяли путем опыления растений и подсчета завязавшихся плодов.

Оптимальной для оценки жизнеспособности пыльцы оказалась среда с 15%-ным содержанием сахарозы. Жизнеспособность пыльцы после криоконсервации у обоих изученных сортов составляла в этом случае 74 %. При уменьшении концентрации сахарозы в среде наблюдается снижение количества проросших пылевых зерен, причем наиболее выражено это снижение у сорта Лескенская ММ106. Тем не менее даже при небольшой концентрации сахарозы пыльца, подвергшаяся воздействию сверхнизких температур, сохраняет способность к прорастанию. Пыльца, прошедшая криоконсервацию, сохраняет также высокий уровень фертильности – не менее 33%, в то время как при хранении в обычных условиях она за короткий период времени становится фактически стерильной.

Таким образом, криоконсервация пыльцы путем прямого погружения в жидкий азот перспективна для организации длительного ее хранения с целью использования в селекции. Кроме того, криоконсервация пыльцы диких видов яблони может иметь значение для сохранения мирового разнообразия этой культуры [20].

В этой связи очевидно, что в процессе сохранения и использования генетических ресурсов можно извлекать значительные экономические выгоды, но только при условии проведения соответствующей государственной политики, которая должна включать в себя:

- выделение достаточных государственных инвестиций для сохранения генетических ресурсов в их природном состоянии (*in situ*) и в генбанках (*ex situ*);
- защиту прав на интеллектуальную собственность, изобретения в области генетики и селекции;

- взаимовыгодные соглашения между странами по передаче генетического материала.

К сожалению, приходится констатировать, что на сегодняшний день все профильные научные учреждения, которые занимаются проблематикой сохранения генетического материала, испытывают острый недостаток финансирования, необходимого для успешного поддержания своих коллекций. Основные проблемы при этом связаны с затратами на обеспечение надежного хранения семян, пересев (регенерацию) образцов через определенный период времени, трудностями сохранения местных сортов и диких родичей, созданием коллекций идентифицированных по хозяйственно ценным признакам генетических доноров, а также фенотипических мутантов, ДНК-маркеров и образцов трансгенных растений.

Одновременно с этим, весьма спорным остается вопрос относительно обеспечения прав интеллектуальной собственности при сохранении диких родичей, местных сортов и улучшенного селекционного материала. Это обусловлено в основном тем, что даже тогда, когда сорта и гибриды, полученные селекционерами, защищены формальными «правами селекционера», дикие родичи и традиционные сорта продолжают считаться общественным достоянием. Государственные программы по селекции растений и международные сельскохозяйственные исследовательские центры предоставляли такой незащищенный генетический материал в течение длительного времени не только другим государственным селекционным учреждениям, но и частным селекционерам. Новые генетические доноры достаточно широко распространяются и копируются, в результате права интеллектуальной собственности на них защищены очень слабо, что облегчает их использование сторонними заинтересованными лицами, странами и организациями. Кроме того, пригодность генетического ресурса для дальнейшего использования чаще всего остается неопределенной, а его улучшение требует длительного времени.

В этой связи многие ученые и неправительственные организации пытаются доказать справедливость «фермерских прав», аргументируя это тем, что именно фермеры в течение тысячелетий отбирали и сохраняли традиционные сорта, внося тем самым неоценимый вклад в растениеводство и селекцию культурных растений. По мнению

других, обмен генетическим материалом между селекционерами является полезным, поскольку ни одна страна не владеет всеми генетическими ресурсами, которые необходимы в настоящем или потребуются в будущем. Есть и сторонники жесткого режима охраны интеллектуальной собственности, которые аргументируют свою позицию тем, что коммерциализация генетических ресурсов повышает вклад в их сохранение. Это увеличивает приток государственных инвестиций в сохранение зародышевой плазмы. Противники такого подхода считают, что указанное ужесточение может лишь ненамного ускорить появление новых сортов и поддержание генотипического разнообразия культур, поскольку частные инвесторы предпочитают специализацию и получение однотипной продукции, нежели разнообразие новых сортов. Однако опыт США показывает, что генетическое разнообразие основных культур возрастает, несмотря на различные законы об интеллектуальной собственности, принятые в этом отношении за последние 30 лет.

Вот почему реализация этих подходов только на национальном уровне не решает проблемы в целом. Очевидно, что международная координация и кооперация в использовании генетических ресурсов позволит удовлетворить потребность в росте продуктивности и экологической устойчивости сельского хозяйства в долгосрочной перспективе. В этой связи России необходимо усилить свое участие в работе таких международных организаций как Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО), Всемирная торговая организация, Международная организация по защите новых сортов растений (УПОВ) и других, обеспечивающих всеобщую защиту прав селекционеров.



## **5. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ В ОБЛАСТИ СОХРАНЕНИЯ, РАСШИРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ (ФАО)**

### *ИНФОРМАЦИЯ О ФАО*

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) является межправительственной организацией, образованной в 1945 г., в состав которой входят 194 государства-члена, два ассоциированных члена и одна организация – Европейский союз.

Сотрудники организации представляют различные культурные традиции и являются специалистами во множестве областей. Кадровые возможности ФАО позволяют постоянно совершенствовать управление, в том числе создавать, развивать и адаптировать имеющиеся инструменты и директивные указания, а также обеспечивать адресную управленческую поддержку в качестве одной из форм ресурсного обеспечения страновых и региональных отделений ФАО. В настоящее время штаб-квартира ФАО находится в Риме (Италия), а сама организация представлена более чем в 130 странах [22].

По данным ФАО, к 2050 г. население планеты достигнет 9 млрд. Согласно прогнозам, наиболее высокие темпы прироста населения будут иметь место в тех регионах, где высока зависимость от сельскохозяйственного сектора (растениеводства, животноводства, лесного и рыбного хозяйства) и низок уровень продовольственной безопасности. Развитие сельскохозяйственного сектора представляет собой одно из наиболее эффективных средств сокращения нищеты и достижения продовольственной безопасности.

Сельскохозяйственный сектор нуждается в инновационных подходах, которые обеспечат повышение продуктивности, сохранение природных ресурсов, устойчивое и эффективное использование ресурсов производства. Такие подходы потребуют широкого участия мелких владельцев, женщин, мужчин, коренного населения и маргинализированных социальных групп.

Конкуренция за природные ресурсы – земельные, водные, океанические – нарастает, что во многих регионах приводит к лишению традиционных пользователей доступа к ним. Все более оживленное перемещение людей и товаров и изменения в практике производства порождают новые угрозы, связанные с сельскохозяйственными вредителями, болезнями и инвазивными чужеродными видами. Изменение климата снижает стойкость производственных систем и способствует деградации природных ресурсов.

Предлагаемая ФАО концепция устойчивых производственных систем в сельскохозяйственном секторе требует сквозной интеграции сектора, в рамках которой должны учитываться соображения социального, экономического и экологического плана. Особое внимание концепция уделяет путям, которые должны обеспечить переход к устойчивой практике.

Основная деятельность ФАО сконцентрирована на следующих аспектах:

- наращивание эффективности использования ресурсов в целях повышения продуктивности при снижении потребления ресурсов с одновременным сведением к минимуму негативных внешних факторов;
- управление экологическими, социальными и экономическими рисками, связанными с производственными системами сельскохозяйственного сектора, включая вредителей, болезни и изменение климата;
- определение и расширение роли экосистемных услуг, особенно в части их воздействия на эффективность использования ресурсов и снижение рисков, а также их вклада в охрану окружающей среды;
- содействие доступу к необходимой информации и технологиям [23].

В этой связи ФАО создает и распространяет важнейший глобальный общественный товар – информацию о продовольствии, сельском хозяйстве и природных ресурсах. Организация играет роль связующего звена между различными партнерами, обладающими авторитетными знаниями и опытом, а также содействует диалогу между теми, у кого есть знания, и теми, кто в них нуждается.

Деятельность ФАО охватывает пять основных областей:

*Обеспечение доступности информации и поддержка перехода к устойчивому сельскому хозяйству.* ФАО действует как информационная сеть. Организация использует опыт своего персонала – специалистов в области агрономии, лесного хозяйства, рыболовства, а также животноводства, питания, социальных наук, экономики, статистики и других специальных областей – для сбора, анализа и распространения информации в целях содействия развитию.

*Укрепление политической воли и обмен опытом в вопросах политики.* ФАО делится с государствами-членами своим многолетним опытом в области разработки сельскохозяйственной политики, поддержки планирования, разработки эффективного законодательства и национальных стратегий для достижения целей по развитию сельских районов и смягчению проблемы голода. ФАО выступает за реализацию этих мер политики и программ, стимулируя выделение достаточных финансовых ресурсов, внедрение необходимых организационных структур и, что не менее важно, обеспечение достаточного кадрового потенциала.

*Укрепление государственно-частного сотрудничества в целях развития мелкомасштабного сельского хозяйства.* В качестве нейтрального форума ФАО обеспечивает площадку, на которой богатые и бедные страны могут встречаться для достижения взаимопонимания. Организация также привлекает к сотрудничеству продовольственную отрасль и некоммерческие организации для оказания поддержки и услуг фермерам и содействия росту государственных и частных инвестиций в укреплении продовольственного сектора. Ежедневно десятки работников директивных органов и экспертов из всех стран мира собираются в штаб-квартире или отделениях ФАО на местах для выработки соглашений по основным вопросам, касающимся продовольствия и сельского хозяйства.

*Передача знаний на места.* Накопленный ФАО богатый багаж знаний проходит апробацию в рамках тысяч проектов, осуществляемых на местах во всем мире. Организация обеспечивает мобилизацию и управление средствами, предоставляемыми промышленно развитыми странами, банками развития и другими донорами для обеспечения достижения целей этих проектов. В кризисных ситу-

ациях ФАО работает совместно со Всемирной продовольственной программой и другими организациями учреждениями в целях поддержки источников средств к существованию сельского населения и оказания людям помощи для возвращения к нормальной жизни.

*Оказание странам поддержки в предупреждении и смягчении рисков.* ФАО создает механизмы в целях мониторинга и раннего предупреждения рисков разнообразных стихийных бедствий и угроз для сельского хозяйства, продовольствия и питания. Организация в состоянии предоставить странам информацию об успешно действующих мерах по снижению рисков, которые они могут включить во все меры политики, связанные с сельским хозяйством. При необходимости ФАО обеспечивает надлежащую координацию планов реагирования на стихийные бедствия на всех уровнях [23].

### *ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ФАО*

Сотрудничество между ФАО и Российской Федерацией охватывает широкий круг инициатив в различных областях как на страновом, так и на региональном и мировом уровнях. Данное взаимодействие развивается по следующим направлениям: продовольственная безопасность; сельское хозяйство, включая обмен знаниями и оказание технической помощи в таких секторах, как управление земельными ресурсами, ветеринария, защита растений и сельскохозяйственное машиностроение; лесное и рыбное хозяйство; безопасность пищевых продуктов; участие в работе Комиссии «Кодекс Алиментариус».

В России с 2011 г. на базе Московского государственного университета функционирует Евразийский центр по продовольственной безопасности, который занимается исследовательской деятельностью в этой области совместно с ФАО.

В 2014 г. Россия приняла активное участие в подготовке и проведении Второй Международной конференции по питанию. Россия тесно сотрудничает с ФАО в рамках работы Международной системы сельскохозяйственного рынка (АМИС), которая была создана по просьбе министров сельского хозяйства G20 для мониторинга и ста-

билизации ситуации на рынке важнейших зерновых культур, таких как пшеница, кукуруза, рис, соя. В 2014 г. Российской Федерацией был внесен добровольный взнос в размере 800 тыс. долл. США на поддержку работы, которую проводит секретариат АМИС под эгидой ФАО.

В ходе официального визита Генерального директора ФАО Жозе Грациано да Силвы в Россию в 2015 г. было подписано соглашение о внесении российской стороной добровольного взноса в размере 1 млн долл. США на поддержку реализации плана по Глобальному почвенному партнерству. Еще одним шагом в укреплении тесных партнерских отношений стало открытие в 2015 г. Отделения ФАО по связям в Москве, главная цель которого – расширение сотрудничества между Российской Федерацией и Организацией в области сельского хозяйства и продовольственной безопасности.

В декабре 2015 г. между Российской Федерацией и ФАО было подписано соглашение о выделении российской стороной добровольного взноса в размере 6 млн долл. США на различные инициативы по устойчивому развитию, а также укреплению продовольственной безопасности и питания в регионе Центральной Азии и Кавказа. Данный проект был рассчитан на три года и распространяется на Армению, Киргизстан и Таджикистан. Также, Российская Федерация заинтересована в финансировании проектов ФАО по борьбе с ящуром в этих странах.

Одновременно с этим ФАО продолжает активно сотрудничать с Федеральным агентством лесного хозяйства, Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии, Федеральной службой государственной статистики, Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Министерством сельского хозяйства, Министерством иностранных дел и другими российскими ведомствами по вопросам дальнейшего сотрудничества в сфере их компетенции. Так, недавно Правительство Российской Федерации приняло решение о проведении совместно с ФАО в 2017 г. Международной конференции по оценке рисков в области безопасности пищевых продуктов [24].

## *О КОМИССИИ ФАО ПО ГЕНЕТИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ ДЛЯ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА*

Одной из важнейших тем в рабочей повестке ФАО являются вопросы, связанные с генетическими ресурсами для продовольствия и сельского хозяйства, поскольку это сырьевые материалы, необходимые для повышения продуктивности и качества сельскохозяйственных культур, домашнего скота, лесного и рыбного хозяйства, а также поддержания здоровых популяций диких видов. Таким образом, сохранение и устойчивое использование генетических ресурсов для продовольствия и сельского хозяйства лежит в основе продовольственной безопасности и питания.

В этой связи ФАО активно участвует в выработке международной политики посредством работы Комиссии по генетическим ресурсам для продовольствия и сельского хозяйства и Международного договора о генетических ресурсах для продовольствия и сельского хозяйства.

Комиссия обычно проводит очередную сессию один раз в два года. Кроме того, при необходимости она может принимать решения о проведении чрезвычайных сессий, которые утверждаются Советом ФАО. Как правило, сессии Комиссии проводятся в штаб-квартире Организации.

Как межправительственный форум, созданный специально для работы по всем компонентам биоразнообразия для продовольствия и сельского хозяйства, Комиссия руководит подготовкой периодических общемировых оценок, а также договаривается по глобальным планам действий, кодексам поведения и другим инструментам, имеющим отношение к сохранению и устойчивому использованию. Международный договор, который является единственным международным правовым и практическим инструментом, охватывающим все генетические ресурсы для продовольствия и сельского хозяйства, позволяет странам и пользователям получать доступ к ним для проведения исследований, обучения и селекционной работы и участвовать в выгодах, получаемых благодаря их использованию [25].

Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства была создана в 1983 г. для

решения вопросов, связанных с растительными генетическими ресурсами. Конференция ФАО приняла Международный проект по растительным генетическим ресурсам, который заложил фундамент Комиссии и является единственным международным инструментом, конкретно касающимся генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства.

В 1989 г. Конференция ФАО приняла Согласованное толкование Международного проекта и Резолюцию о правах фермеров. Эти резолюции, признающие, что права селекционеров растений не противоречат международным обязательствам, и одновременно признающие права фермеров, ставят своей целью достижение баланса между правами селекционеров (официальных новаторов) и фермеров (неофициальных новаторов), а также правами развивающихся и развитых стран. Комиссия призывает разработать в соответствии с Международным проектом Международную сеть коллекций *ex situ* под эгидой ФАО, в связи с отсутствием ясности в отношении правового обоснования таких коллекций.

В 1991 г. Конференцией ФАО признаны суверенные права государств на свои собственные генетические ресурсы, а также важное значение растительных генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, запланирована подготовка первого доклада «О состоянии мировых генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства».

Раздел 14 Повестки дня на XXI в. Организации Объединенных Наций, касающийся стимулирования устойчивого развития сельского хозяйства и сельских районов, призывает к укреплению Глобальной системы ФАО по растительным генетическим ресурсам и внесению в нее корректив в соответствии с результатами переговоров по Конвенции о биологическом разнообразии. В 1992 г., принимая согласованный текст Конвенции, страны приняли Резолюцию 3 подписанного в Найроби (Кения) Заключительного акта, признающего необходимость поиска решений по неурегулированным вопросам, касающимся растительных генетических ресурсов. В частности: вопроса о доступе к коллекциям *ex situ*, не затронутого в Конвенции, и вопроса о правах фермеров.

В 1993 г. Конференция ФАО обратилась с просьбой к Комиссии предоставить форум для обсуждения правительствами следующих вопросов:

- пересмотра Международного проекта по растительным генетическим ресурсам в соответствии с Конвенцией о биологическом разнообразии;
- рассмотрения вопроса о доступе, на взаимно согласованных условиях, к растительным генетическим ресурсам, включая коллекции *ex situ*, не затрагиваемые в Конвенции;
- вопрос о реализации прав фермеров.

Конференцией ФАО также принят Международный кодекс по сбору и передаче коллекций зародышевой плазмы растений, подготовленный ФАО и согласованный через Комиссию, которая утвердила Стандарты генных банков, разработанные экспертной консультацией в 1992 г., и попросила подготовить переходящий Глобальный план действий по растительным генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства с целью определения технических и финансовых потребностей для обеспечения их сохранения и содействия эффективному использованию.

На Первой чрезвычайной сессии Комиссии в 1994 г. начаты переговоры относительно пересмотра Международного проекта. Двенадцать центров Консультативной группы по международным сельскохозяйственным исследованиям, а вслед за ними и другие организации подписали с ФАО соглашения и передали большую часть своих коллекций (около 500000 образцов) под ее эгиду. В соответствии с этими соглашениями центры хранят данный материал «на благо международного сообщества». Это было временное решение – до завершения пересмотра Международного проекта.

В 1995 г. Конференция ФАО расширила мандат Комиссии для охвата всех компонентов биоразнообразия, имеющих отношение к продовольствию и сельскому хозяйству и переименовала этот орган в Комиссию по генетическим ресурсам для производства и ведения сельского хозяйства.

В 1996 г. ФАО представлен первый доклад «О состоянии мировых генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства», подготовленный



в рамках проводимого странами совместного процесса под руководством Комиссии. На проходившей в Лейпциге (Германия) Международной технической конференции по растительным генетическим ресурсам, этот доклад был одобрен как первая всеобъемлющая мировая оценка растительных генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Конференция также приняла согласованный Комиссией Глобальный план действий по сохранению и устойчивому использованию растительных генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства и Лейпцигскую декларацию.

В 1997 г. Комиссией учреждены Межправительственные технические рабочие группы по генетическим ресурсам растений и животных для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства в качестве «отраслевых рабочих групп» для рассмотрения конкретных вопросов, относящихся к сферам их компетенции. Заседания рабочих групп проводятся по мере необходимости, но не чаще одного раза в год.

В 2001 г. на Конференции ФАО принят Международный договор о растительных генетических ресурсах для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, признающий права фермеров и устанавливающий многостороннюю систему для облегчения доступа к растительным генетическим ресурсам, справедливого и равноправного распределения выгод от их использования.

Международный договор о растительных генетических ресурсах для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства вступил в силу 29 июня 2004 г. Комиссия обратилась с просьбой к Секретариату подготовить анализ состояния и потребностей различных участков генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, в том числе и межотраслевых вопросов, с целью принятия Многолетней программы работы на одиннадцатом очередном совещании.

В 2009 г. Конференция ФАО утвердила резолюцию 18/2009, подготовленную Комиссией на двенадцатой очередной сессии, в которой подчеркивается особый характер генетических ресурсов для

производства продовольствия и ведения сельского хозяйства в контексте согласования международного режима регулирования доступа и совместного использования выгод Конвенции о биологическом разнообразии. Конференция одобрила итоги двенадцатой очередной сессии Комиссии, включая второй Доклад о состоянии генетических ресурсов растений в мире для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства и Стратегический план на 2010-2017 годы по осуществлению многолетней программы работы.

В 2011 г. Советом ФАО принят согласованный Комиссией Второй Глобальный план действий в области генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Для решения межотраслевых вопросов Комиссия учреждает Специальную техническую рабочую группу по доступу к генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства и совместному использованию связанных с ними выгод, подтвердив тем самым свою ведущую роль в деле разработки и практического применения целевых показателей и индикаторов в области биоразнообразия для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Кроме того, Комиссия приняла решение о необходимости разработки «дорожной карты» по вопросу об изменении климата и генетических ресурсах для производства продовольствия.

В 2015 г. Конференция ФАО утвердила Добровольные руководящие принципы интеграции вопросов генетического разнообразия в национальные планы по адаптации к изменению климата и одобрила Элементы содействия осуществлению на национальном уровне доступа и распределения выгод для различных подсекторов генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства [26].

Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства согласует глобальные планы действий, направленные на создание действенной системы сохранения и рационального использования генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Глобальные планы действий призваны служить комплексной основой, руководством и катализатором для деятельности на

общинном, национальном, региональном и глобальном уровнях, позволяя совершенствовать сотрудничество, координацию усилий и планирование, а также укрепляя потенциал. Они содержат наборы рекомендаций и приоритетных направлений работы, которые отвечают потребностям и первоочередным задачам, определенным в глобальных оценках: докладах о состоянии мировых генетических ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Комиссия осуществляет надзор, мониторинг и оценку по их выполнению.

Так, Второй Глобальный план действий в области генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства является стратегической основой для сохранения и рационального использования генетического разнообразия растений. Он подтверждает обязательства правительств стран-членов по содействию развитию генетических ресурсов растений как необходимой составляющей продовольственной безопасности посредством рационального ведения сельского хозяйства в условиях изменения климата.

Данный план действий является скользящим и основывается на содержащихся во втором докладе «О состоянии мировых генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства» данных и сведений, полученных в ходе региональных консультаций от экспертов, и представляет собой обновление Глобального плана действий по сохранению и устойчивому использованию генресурсов растений [27].

Основные цели Второго Глобального плана действий:

- укрепление реализации Международного договора о растительных генетических ресурсах для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства;
- обеспечение сохранения генетических ресурсов растений как основы продовольственной безопасности, устойчивого ведения сельского хозяйства и сокращения нищеты путем создания фундамента для текущего и будущего использования;
- содействие устойчивому использованию генетических ресурсов растений с целью стимулирования экономического развития и сокращения голода и нищеты, особенно в развивающихся странах, а

также создания возможностей для адаптации к изменению климата и смягчения его последствий, решения задач, связанных с другими глобальными изменениями и удовлетворением потребностей в продовольствии, кормах и др.;

- содействие обмену генетическими ресурсами растений и совместному использованию на справедливой и равноправной основе выгод, возникающих благодаря их использованию;

- содействие странам, где это возможно и в соответствии с положениями их национального законодательства, в принятии мер по защите и обеспечению прав фермеров согласно ст. 9 Международного договора о растительных генетических ресурсах для производства и продовольствия и ведения сельского хозяйства;

- помощь странам, регионам, управляющему органу Международного договора, а также другим институтам, отвечающим за сохранение и использование генетических ресурсов растений, в установлении приоритетных мер;

- создание и укрепление национальных программ, укрепление регионального и международного сотрудничества, включая исследования, образование и обучение в области сохранения и использования генетических ресурсов растений, а также усиление институционального потенциала;

- содействие обмену информацией по генетическим ресурсам растений между регионами и странами и внутри них;

- разработка концептуальных основ для развития и принятия национальных мер политики и законодательства, в зависимости от обстоятельств, в целях сохранения и устойчивого использования генетических ресурсов растений;

- снижение непреднамеренного и чрезмерного дублирования мер в целях содействия эффективности затрат и результативности глобальных мер по сохранению и устойчивому использованию генетических ресурсов растений [28].

В свою очередь широкие стратегические рамочные основы Второго Глобального плана действий включают в себя семь главных, взаимосвязанных аспектов:

1. Так как значимое количество генетических ресурсов растений, жизненно важных для продовольственной безопасности, хранится

в коллекциях *ex situ*, а хранение генетических ресурсов в генных банках и сетях во многих странах является хорошо устоявшейся процедурой, многие из существующих коллекций нуждаются в дальнейшем развитии и укреплении. В этой связи одним из основных стратегических элементов является обеспечение адекватных условий хранения уже собранного генетического материала, его восстановления и дублирования с целью обеспечения сохранности, что объясняет потребность введения стандартных процедур осуществления всех операций генных банков.

2. Необходимо связывать сохранение с использованием и определять препятствия на пути более интенсивного использования сохраняемых генетических ресурсов растений, чтобы добиться максимальных преимуществ от усилий по сохранению. Важным условием для достижения этой цели является эффективное управление информацией, включая широкий обмен ею между пользователями, с максимальным внедрением преимуществ современных информационных технологий. Это включает в себя молекулярную и геномную информацию, которая должна быть увязана и проанализирована одновременно с данными по описанию и оценке морфологических и агрономических свойств культур.

3. Ключевой стратегией в отдельных видах деятельности Второго Глобального плана действий является повышение потенциала на всех уровнях. План направлен на содействие прагматичному и эффективному использованию и развитию институтов, кадровых ресурсов, сотрудничества и механизмов финансирования. Кроме того, существует потребность в укреплении связей между научными и технологическими инновациями и их применением в сохранении и использовании генетических ресурсов растений.

4. Чрезвычайно важно укрепление усилий и партнерства между селекционерами государственного и частного сектора в целях сохранения и использования генетических ресурсов растений. Следует расширять совместную работу по селекции и отбору, а также совместные исследования в целом, с участием фермеров и фермерских объединений.

5. Сохранение и развитие генетических ресурсов растений *in situ* осуществляется в двух контекстах: в производственных условиях

и в природе. В обоих случаях решающую роль играют фермеры, коренные и местные общины. Повышение их потенциала благодаря связям с органами по распространению знаний и опыта, государственным и частным сектором, неправительственными организациями и кооперативами фермеров, а также за счет стимулирования сохранения *in situ*, будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности, адаптивности и устойчивости, особенно среди групп населения, проживающих в районах с низким сельскохозяйственным потенциалом.

6. Учитывая важность диких родичей сельскохозяйственных растений для улучшения культурных сортов, а также тот факт, что им не уделялось достаточно внимания в прошлом, потребуются особые меры по их сохранению и управлению, включая улучшение защиты за счет более совершенной практики землепользования, сохранения окружающей среды и более активного участия коренных и местных общин.

7. Стратегии по сохранению и использованию на местном, национальном, региональном и международном уровнях оказываются наиболее эффективными там, где они являются взаимодополняющими и тщательно скоординированными. Так, сохранение *in situ* и *ex situ* и устойчивое их использование должны быть полностью интегрированы на всех уровнях [28].

Очередная шестнадцатая сессия Комиссии по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства прошла в штаб-квартире ФАО с 30 января по 3 февраля 2017 г. На данном совещании обсуждался широкий круг вопросов, в том числе многолетняя программа работы по всем видам генетических ресурсов, сотрудничество с международными договорами и организациями, а также подготовка третьего доклада о состоянии мировых генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, который планируется представить на восемнадцатой очередной сессии Комиссии.

## *О СТАНДАРТАХ ГЕННЫХ БАНКОВ ДЛЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ*

Для реализации поставленных целей под руководством Комиссии ФАО по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства были разработаны обновленные Стандарты генных банков для генетических ресурсов растений и утверждены на четырнадцатой очередной сессии в 2013 г.

Генные банки играют ключевую роль в сохранении, обеспечении доступности и использования широкого спектра генетического разнообразия растений для улучшения сельскохозяйственных культур и повышения продовольственной безопасности, помогают наладить связь между прошлым и будущим, обеспечивая доступность генетических ресурсов для научных исследований, селекции и предоставления улучшенных семян системам сельскохозяйственного производства для обеспечения их устойчивости и гибкости. Поэтому эффективное управление генным банком посредством применения стандартов и процедур является очень важным.

Стандарты генных банков для генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства (Стандарты генбанков) обеспечивают международные стандарты сохранения семян *ex situ*, а также материалов в полевых генбанках, *in vitro* и криохранилищах. Менеджеры генбанков, профильные научно-исследовательские институты, национальные координаторы по генетическим ресурсам растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства, Секретариат Международного договора о генетических ресурсах растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства и Международной конвенции по защите растений сыграли важную роль в обеспечении этого процесса.

Целью Стандартов генбанков является сохранение генетических ресурсов растений в условиях, отвечающих общепризнанным надлежащим правилам, которые опираются на современные и доступные научно-технические знания. Все стандарты базируются на основополагающих принципах, которые являются общими для всех различных типов генбанков, а также принимают во внимание изменения в

управлении и технологиях сохранения семян вследствие прогресса в области молекулярной биологии и биоинформатики. В них учитываются успехи в развитии документирования и информационных систем, которые играют всё большую роль в совершенствовании управления генбанками и оптимизации ресурсов. В данном издании каждый стандарт сопровождается текстом с описанием конкретных условий его применения, технических аспектов, дополнительных данных и, при необходимости, отдельными ссылками на технические справочники, протоколы и процедуры.

Эти стандарты достаточно универсальны и могут применяться во всех генбанках в совокупности с информацией о конкретном виде. В особенности это относится к видам растений с рекальцитрантными семенами и/или размножающимися вегетативным путем, поскольку трудно установить конкретные стандарты, которые были бы применимы ко всем упомянутым видам вследствие различий в поведении семян во время хранения, а также разнообразия жизненных форм и жизненных циклов.

Применение стандартов является добровольным. Они призваны подчеркнуть важность сохранения материала и обмена им в совокупности с соответствующей документацией согласно действующим национальным и международным правилам. Эти стандарты следует периодически пересматривать с учетом политических и технических изменений.

Поскольку сохранение и улучшение устойчивого использования генетических ресурсов растений является необходимым для достижения продовольственной безопасности и решения пищевых потребностей нынешнего и будущих поколений, жизненно необходимо сохранить разнообразие генетических ресурсов растений, обеспечить их доступность для мирового сообщества. При этом поддержание деятельности генбанка может быть достаточно дорогостоящим. Многие научные достижения, например криоконсервация, сопряжены с большими затратами, особенно если связаны с крупномасштабными экспериментами. Содержание полевых генбанков также требует вложений в виде рабочей силы и финансовых средств. Следовательно, необходимо сделать упор на развитие проактивного управления генными банками и использование дополнительного



подхода в целях достижения оптимального баланса между деятельностью научного характера и имеющимися людскими, инфраструктурными и финансовыми ресурсами в сложившихся условиях. Во многих странах существует недостаток обученных сотрудников и соответствующих ресурсов, необходимых для устойчивого содержания генбанков. Для применения этих стандартов необходимы долгосрочное партнерство на национальном, региональном и глобальном уровнях, а также ресурсы для наращивания научно-технического потенциала [29].

Главные перемены в области политики, влияющие на сохранение генетических ресурсов растений в генбанках, относятся к вопросам доступности и распределения зародышевой плазмы, возникшим вследствие принятия различных международных документов, среди которых – Конвенция о биологическом разнообразии (Конвенция), Международный договор о генетических ресурсах растений, Международная конвенция о защите растений и соглашения ВТО по применению санитарных и фитосанитарных мер.

В 2010 г. Конвенцией был принят Нагойский протокол о регулировании доступа к генетическим ресурсам и совместном использовании на справедливой основе выгод от их применения, который может повлиять на обмен зародышевой плазмой. Благодаря успехам, достигнутым в сфере развития методик сохранения семян, биотехнологии и информационных и коммуникационных технологий, в области сохранения зародышевой плазмы растений появились новые перспективы.

Документ Стандартов генбанков состоит из двух частей. В первой дано описание основополагающих принципов, обеспечивающих всеобъемлющую основу для эффективного и действенного управления ими, во второй части – подробное описание стандартов для трех типов генбанков, а именно: для генбанков семян, полевых генбанков и генбанков, обеспечивающих хранение *in vitro* / криосохранение [29].

Основополагающие принципы объясняют, зачем и с какой целью сохраняются генетические ресурсы растений, закладывают основы для определения норм и стандартов, необходимых для упорядоченной работы генбанка. Так, среди главных принципов сохранения ФАО выделяет следующие.

## 1. Подлинность образцов.

Необходимо тщательно заботиться о том, чтобы подлинность хранимых в генбанках образцов, присутствовала на протяжении всех этапов, включая поступление, хранение и распространение. Надлежащая идентификация образцов семян, сохраняемых в генбанках, тесным образом связана с тщательным документированием данных и информации о растительном материале.

Все должно начинаться с регистрации паспортных данных с указанием информации о том, кто собрал данный материал, если это возможно. По мере возможности, такая информация должна быть зафиксирована для более ранних сборов в тех генбанках, в которых паспортные данные не были зарегистрированы, либо зарегистрированы не полностью. Нередко для правильной идентификации образцов важную роль играют контрольные гербарные образцы и справочные коллекции семян (оригиналы семян).

Идентификация образцов в поле имеет особенно большое значение, поскольку ошибочное этикетирование может привести к значительной генетической эрозии. Расстановку этикеток на полях следует дополнить планами полевых посадок, которые следует должным образом задокументировать для того, чтобы обеспечить правильную идентификацию образца в полевых генбанках. Это связано с тем, что полевые этикетки могут быть утеряны под воздействием различных внешних факторов, например, плохой погоды. Такие современные средства как этикетки со штрих-кодом, метки радиочастотной идентификации и молекулярные маркеры, могут существенно помочь в работе полевого генбанка при сохранении зародышевой плазмы, снижая вероятность ошибок и дополнительно гарантируя подлинность образца.

## 2. Поддержание жизнеспособности.

Поддержание жизнеспособности, генетической целостности и качества образцов семян в генбанках, а также обеспечение возможности их использования являются конечной целью работы генбанка. В этой связи очень важно, чтобы на всех стадиях работы генбанка придерживались стандартов, необходимых для поддержания приемлемых уровней жизнеспособности. Для достижения этой цели следует уделить особое внимание стандартам пополнения коллекций,

обработки и хранения зародышевой плазмы. Рекальцитрантные и другие типы неортодоксальных семян оцениваются визуально на предмет отсутствия повреждений, а также тестируются на скорость и полноту всхожести семян.

Однако невидимые под микроскопом грибы и бактерии могут снизить качество семян. Образцы семян, принимаемые в генный банк в момент поступления, должны иметь высокую жизнеспособность и в максимальной степени соответствовать стандартам поступления зародышевой плазмы. Для достижения максимального физиологического качества семян, необходимо проводить их сбор как можно ближе ко времени созревания, но до начала их естественного осыпания, избегая сбора уже опавших или испачканных землей семян, на которых могут находиться сапрофитные или патогенные грибы или бактерии.

Генбанки должны добиваться того, чтобы собранная зародышевая плазма была генетически репрезентативной для исходной популяции с учетом количества живого материала, достаточного для того, чтобы качество образца не ухудшалось. Для этого следует организовывать систему проверки уровня жизнеспособности хранящихся образцов через соответствующие интервалы времени, в зависимости от ожидаемой жизнеспособности семян.

Можно сократить высокие затраты на восстановление всхожести, если уделять надлежащее внимание подработке, сушке и хранению семян после сбора. В случае с образцами полевого генбанка, большее значение имеет способность к размножению (т.е. качество и наличие условий для ее реализации), а не жизнеспособность, которая относится к способности семян прорасти и давать всходы. Необходимо понимать, что полевые генбанки уязвимы для воздействия таких экологических факторов, как погодные условия или нашествия вредителей, а сила такого воздействия будет разной в зависимости от видовой принадлежности и жизненного цикла (например, однолетних, двулетних или многолетних).

Семена с неизвестным типом проходят обязательное определение реакции семян (обычно на медленное высушивание) до того, как для них будет выработана какая-либо стратегия хранения.

### 3. Поддержание генетической целостности.

Необходимо поддерживать генетическую целостность, которая тесно связана с поддержанием жизнеспособности и разнообразия исходного собранного образца. Для сохранения генетической целостности важны все этапы – от сбора и поступления в генбанк до хранения, восстановления всхожести и рассылки. Различные молекулярные методы, включая исследование возможных эпигенетических изменений, обратимость которых неизвестна, следует применять для выяснения, была ли сохранена геномная стабильность, особенно после криохранения образцов.

Для растений, у которых от посева до достижения репродуктивной стадии развития проходит много времени, восстановление всхожести семян в полевых условиях будет нецелесообразным. Следует предпринять повторный сбор образцов в оригинальной популяции при появлении признаков снижения силы роста и жизнеспособности семян. Поддержание генетической целостности также важно для зародышевой плазмы растений, сохраняемой *in vitro*, особенно с учетом риска соматональных изменений. Это основная причина, по которой следует избегать непрямого соматического эмбриогенеза (например, на стадии каллуса) для создания форм зародышевой плазмы, которую следует сохранять длительное время. По мере возможности, во время получения образцов семян необходимо стремиться к тому, чтобы они были достаточно репрезентативны, хорошего качества и в достаточном количестве. Тем не менее, следует признать, что когда целью является сбор образцов с конкретными признаками, такой образец может и не быть репрезентативным для исходной популяции.

Для максимального уменьшения генетической эрозии очень важно придерживаться рекомендуемых протоколов восстановления всхожести образцов семян, максимально уменьшать число пересевов, сохранять достаточно большой размер эффективной популяции, проводить сбалансированный отбор образцов, а также обеспечивать тщательный контроль опыления. Особое внимание необходимо обращать на важность дублирования в целях обеспечения надежного сохранения, поскольку это мера противостояния рискам, которым могут подвергаться генбанки.

#### 4. Поддержание здоровья семян.

Генным банкам следует стремиться к тому, чтобы семена, которые они сохраняют и рассылают, по мере возможности, не имели переносимых инфекций и вредителей (бактерий, вирусов, грибов и насекомых). Внешнюю поверхность можно эффективно очистить с помощью процедур поверхностного обеззараживания.

У генбанков часто нет возможностей или необходимых ресурсов для проверки собранных или полученных образцов, а также возвращенных с опытных участков после размножения, на наличие переносимых семенами болезней и вредных организмов. Это особо относится к случаям получения зародышевой плазмы от третьей стороны. Проблемы усугубляются при сохранении видов с рекальцитрантными семенами. Скрытые эндогенные инфекции можно выявить, только если рекальцитрантные семена находятся на крат-ко- или среднесрочном хранении в условиях повышенной влажности или эксплантаты, полученные из семян, помещаются в культуру ткани.

В настоящее время данная проблема решается неудовлетворительно, поскольку любые инфицированные семена или эксплантаты изымаются из коллекций генбанков, так как это единственный способ обеспечить чистоту зародышевой плазмы. Поэтому необходимо, чтобы при обмене зародышевой плазмой семенной материал сопровождали соответствующие фитосанитарные сертификаты, гарантирующие незараженность получаемых образцов. Так, одни зараженные или инфицированные образцы можно обеззаразить без труда, тогда как для других нужны более сложные методы обеззараживания.

#### 5. Физическая сохранность коллекций.

Одним из основополагающих принципов сохранения зародышевой плазмы является то, что физические параметры помещений генбанка, в которых хранится зародышевая плазма, должны отвечать стандартам обеспечения защиты материалов от каких-либо внешних факторов, включая природные стихийные бедствия и антропогенное воздействие. В этой связи необходимо наличие соответствующих систем безопасности, гарантирующих, что холодильное оборудование генбанка, запасные генераторы и оборудование для контроля от-

ключений электроэнергии находятся в хорошем рабочем состоянии, а имеющиеся приборы мониторинга позволяют контролировать во времени наиболее важные параметры.

Поскольку для криосохранения требуется жидкий азот, должны быть налажены поставки криогенного вещества. При этом очень важно поддерживать необходимый уровень жидкого азота, независимо от того, вручную или автоматически производится наполнение или долив специальных ёмкостей для хранения или аппаратов с замораживанием при погружении в жидкий азот.

Другой важный вопрос безопасности генбанков – обеспечение надежного хранения дублетных образцов в других местах: если по каким-то причинам коллекция пострадает, она может быть восстановлена из резерва.

#### 6. Наличие и использование зародышевой плазмы.

Сохраняемый материал должен быть в наличии для использования сейчас и в будущем. Поэтому все процессы в деятельности генбанка и его управлении должны способствовать достижению этой цели. Необходимо сохранять семена в достаточных количествах, вместе с соответствующей информацией об образцах.

#### 7. Наличие информации.

Для обеспечения передачи информации и учета следует на всех этапах регистрировать в электронной базе данных всю важную, подробную и новейшую информацию, включая сведения за прошлые и текущие периоды, особенно в том, что касается работы с конкретными образцами после их поступления.

Доступ к такой информации, ее наличие и обмен данными должны иметь высокий приоритет, так как это ведет к более надежному и рациональному сохранению коллекций.

Интерактивные поисковые базы данных, содержащие фенотипические данные, способны помочь пользователям зародышевой плазмы точнее формулировать свои запросы. В свою очередь, обратная связь в виде присылаемых дополнительных оценочных данных повышает достоинство и полезность коллекций.

Наличие информации о сохраняемой зародышевой плазме и легкий доступ к ней будут способствовать ее более активному использованию. Кроме того, это поможет кураторам генного банка совер-

шенствовать планирование деятельности по восстановлению всхожести и размножению, чтобы поддерживать необходимые запасы образцов.

Для информационных систем, используемых в генбанках, ФАО рекомендует использовать интерактивные поисковые базы данных, такие как база данных семян (SID), Семенной банк тысячелетия (MSB) и т.д. Система управления ботаническими исследованиями и гербарием (BRANMS) является системой, разработанной в целях управления данными о курировании и зародышевой плазме, а EURISCO является сетевым электронным каталогом, который дает информацию о Европейских *ex situ* коллекциях растений.

#### 8. Проактивное управление генными банками.

Устойчивое и эффективное сохранение генетических ресурсов растений зависит от активности управления сохраняемой зародышевой плазмой. Проактивное управление имеет решающее значение для того, чтобы зародышевая плазма сохранялась эффективным образом и могла быть своевременно и в достаточных количествах предоставлена для дальнейшего использования селекционерами растений, фермерами, исследователями и другими пользователями. Это подчеркивает важность обеспечения сохранности и обмена материалом, а также связанной с ним информацией, и позволяет внедрить функциональную стратегию для управления кадровыми и финансовыми ресурсами для создания рациональной системы.

Такая система включает в себя стратегию управления рисками и поощряет сотрудничество с третьими сторонами в плане оказания генбанкам помощи в их усилиях по сохранению биоразнообразия.

Содержание полевых коллекций является затратным и необходимо прилагать усилия по развитию дополнительных типов хранения методами *in vitro* и криоконсервации. В этой связи требуется соблюдение правовых и нормативных основ на национальном и международном уровне, особенно в том, что касается доступности, наличия и рассылки материалов, а также здоровья растений и семян.

Нормы Международной конвенции по карантину и защите растений закладывают основы регулирования в области карантина и здоровья, направленные на предотвращение интродукции и распространения вредителей и болезней растений. Прежде всего, необхо-

димы долговременные и постоянные обязательства от учреждений, содержащих генбанк, по обеспечению кадровыми и финансовыми ресурсами. Помимо этого, проактивное управление способствует применению практического опыта и знаний по отношению к новой зародышевой плазме, поступающей в генбанк, и направлено на максимально возможное применение стандартов генного банка в особых местных условиях. Иногда это может означать, что даже если конкретный стандарт соблюдается не полностью, то принимаются упреждающие меры для соответствия основополагающим принципам управления генным банком [28].

Согласно классификации ФАО, приведенной в Стандартах генных банков, они подразделяются на банки для ортодоксальных семян, полевые банки и банки для культуры *in vitro* и криосохранения.

В описании генных банков для ортодоксальных семян дается перечень основных стандартов организации их работы. В них входят стандарты: пополнения генного банка зародышевой плазмой; сушки и хранения; мониторинга жизнеспособности семян; восстановления всхожести и размножения; описания; оценки; документирования; рассылки и обмена; дублирования для обеспечения надежности сохранения; безопасности и персонала. В каждом из них приводится подробное обоснование целесообразности применения, описание технических характеристик проводимых процессов, а также особых условий (действий в нештатных ситуациях) [29].

Стандарты полевых генбанков включают в себя стандарты: выбора места; пополнения генного банка зародышевой плазмой; закладки полевых коллекций; агротехники; восстановления всхожести и размножения; описания; оценки; документирования; рассылки; безопасности дублирования для обеспечения надежного сохранения.

В этих руководствах объясняется необходимость учета условий при выборе места для полевого генбанка, соответствующих агроэкологических условий для сохранения растений, возможных природных и техногенных катастроф; обеспечения длительного землепользования, доступности участка для персонала и наличия водных ресурсов, избежания генетических потерь. Приводится информация об источниках пополнения коллекций с учетом соответствующих национальных и международных требований, например фитоса-



нитарных правил, карантинных законодательств, национальных законов о доступе к генетическим ресурсам. Описываются основные моменты, которые должны быть учтены при создании коллекции полевого генбанка: сколько растений одного образца следует сохранять; как растения должны быть расположены в генбанке; какая должна быть применена агротехника для обеспечения оптимальных условий роста образцов в коллекции. Приводится основная информация по агротехнике, которая подразумевает повседневный уход за полевыми коллекциями, обеспечивающий оздоровление образцов растений, легкий доступ к ним и их наличие для использования, различные мероприятия, в том числе борьбу с вредителями и болезнями, правильную подкормку растений, полив, прополку, обрезку и мониторинг образцов для обеспечения генетической целостности коллекций [29].

Стандарты для культуры *in vitro* и криосохранения имеют широкий и обобщенный характер вследствие заметной вариативности между неортодоксальными семенами и вегетативно размножающимися растениями.

Они включают в себя стандарты пополнения генбанков зародышевой плазмой; тестирования неортодоксального поведения семян и оценки содержания воды, энергии и жизнеспособности; хранения рекальцинтранных семян в условиях повышенной влажности; хранения культуры *in vitro* и в условиях замедленного роста; криосохранения; документирования; рассылки и обмена; безопасности и дублирования для обеспечения надежного сохранения.

Сохранение *in vitro* используется для среднесрочного (от нескольких месяцев до нескольких лет) хранения органов растений или целых проростков в безвредных для них условиях, лимитирующих их рост. Для долгосрочного хранения такой способ нецелесообразен.

Культура *in vitro* применяется преимущественно для хранения клоновой зародышевой плазмы сельскохозяйственных культур, так как дает возможность безопасно перемещать зародышевую плазму при фитосанитарном контроле. В техническом описании содержится подробная информация о возможностях, которые предоставляет хранение материала *in vitro*, основных параметрах, которые следует учитывать, взаимосвязях и взаимодополняемости с другими технологиями хранения, такими как полевые генбанки.

В целом *in vitro* служит источником оздоровленного материала для рассылки и размножения, а также источником эксплантов для криосохранения. Большое значение имеют безопасное устранение и утилизация зараженных материалов. Это служит гарантией того, что болезнетворный организм или вредитель не попадут в окружающую среду. В этой связи необходим непрерывный систематический мониторинг, помогающий избежать аккумуляции заражения, которая может иметь место при перемещении материала по воздуху от сосуда к сосуду или активными переносчиками, такими как клещи и трипсы.

Криоконсервация позволяет хранить клетки или ткани в течение неограниченного времени в жидком азоте ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), где приостанавливается всякая метаболическая деятельность. Любой протокол криосохранения включает в себя пять необходимых компонентов: выбор, прекультура, методика криоконсервации, вывод из состояния глубокого охлаждения и укоренение проростков или саженцев. Для предотвращения ущерба от криоконсервации следует разрабатывать криопротоколы, которые могут включать в себя возможное применение криопротекторов, частичное подсушивание, охлаждение, хранение при криогенных температурах, оттаивание и регидратацию.

Есть два основных типа процедур криосохранения: обычное медленное замораживание, основанное на вызванном заморозкой обезвоживании, и экспресс-замораживание (витрификация), при котором перед охлаждением проводится обезвоживание.

Основополагающее значение для криосохранения имеет также и понимание толерантности и чувствительности ортодоксальных семян к высушиванию в сравнении с неортодоксальными (промежуточными и рекальцитрантными). На стадии зрелости оводненность ортодоксальных семян обычно находится в пределах 5-14%, хотя некоторые виды опадают при гораздо более высоком содержании воды, после чего подвергаются сильному обезвоживанию. В отличие от рекальцитрантных все ортодоксальные семена приобретают устойчивость к высыханию, которая является генетически запрограммированной.

Рекальцитрантные же семена не сохнут на более поздних стадиях развития и поскольку они чувствительны к высушиванию, потеря влаги быстро приводит к снижению их жизненной энергии и жиз-

неспособности, а затем и к гибели семян при относительно высоком водосодержании. Это объясняется их метаболической активностью при низкой внутриклеточной дифференциации или ее отсутствии.

У промежуточных семян также можно наблюдать определенный диапазон физиологических различий после опадания. Семена, демонстрирующие промежуточное поведение, могут выдержать потерю воды, в них есть потенциал, позволяющий работать некоторым важным механизмам и процессам, регулирующим устойчивость к высыханию. Однако они не способны длительно сохранять жизнеспособность в обезвоженном состоянии, особенно при температурах замерзания.

При закладке рекальцитрантной зародышевой плазмы на криосохранение необходимо в обязательном порядке учитывать статус развития семян, поскольку на ранней стадии онтогенеза всем семенам свойственна высокая чувствительность к высыханию. Раннее прорастание рекальцитрантных семян может начаться практически сразу после их опадения, без акцентированной паузы между окончанием развития и началом прорастания, как это бывает у ортодоксальных семян по причине обезвоживания при созревании.

Условия хранения оводненных семян, характеризующиеся влажностью и нередко требующие умеренного температурного режима, способствуют массовому размножению грибов, гифы которых могут проникнуть в ткани зародыша. Это оказывает пагубное воздействие на семена и значительно сокращает срок их жизни при хранении в оводненном состоянии. Таким образом, при работе с рекальцитрантными семенами и их хранении, как правило, требуется особая аккуратность, чтобы их оводненность не опускалась ниже уровня характерного для опадания.

Одновременно с этим рекальцитрантные семена слишком крупные как для быстрого их высушивания, так и для быстрого охлаждения криогенным веществом (что требуется для успешного криосохранения). Предпочтительнее выбирать в качестве экспланта отделенный зародыш или зародышевую ось, поскольку они могут быть обезвожены до такого уровня, когда кристаллизация льда будет сведена к минимуму. Зародыши можно сушить потоком воздуха (мгновенная сушка), что значительно сокращает время, в течение

которого материалу может быть нанесен ущерб от обезвоживания, связанный с метаболизмом. Таким образом, зародыши подсушивают без нанесения им губительного урона, обеспечивая время, необходимое для помещения их под воздействие криогенных температур. В случаях, когда подготовить зародыши или их оси для успешного криосохранения не представляется возможным, можно использовать альтернативные экспланты, такие как апикальные меристемы побегов, которые отделяют от ростков, взошедших из пророщенных *in vitro* семян [29].

Таким образом, эффективно управляемые генбанки обеспечивают сохранность генетического разнообразия и делают его доступным для селекционеров. Стандарты генбанков для генетических ресурсов растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства определяют процедуры сохранения генетических ресурсов растений, устанавливают критерии, позволяющие повысить качество научно-технической работы и согласуются с ключевыми международными нормативными актами в области сохранения и использования генетических ресурсов растений [29].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования в области генетических ресурсов растений и животных в России необходимо продолжать и расширять. Однако с учетом непростой экономической ситуации одной из сложных проблем является недостаточное финансирование исследований в этой области, а также нехватка банков для сохранения ценного генетического материала, что неминуемо приводит к трудностям в освоении новых технологий.

К сожалению, в России не уделяется должного внимания сохранению генетических ресурсов растений. В настоящее время в различных инстанциях только рассматривается проект закона о генетических ресурсах растений, подготовленный учеными совместно с Минсельхозом России, который регулировал бы вопросы сбора, хранения и изучения генресурсов, вопросы финансирования работ и сохранности земельных участков, занятых коллекциями [5]. В этой связи сильно осложняется процесс востребованности результатов научных разработок, которые могут иметь крайне важное значение для государства.

В то же время российскими учеными выведено значительное количество новых сортов растений, которые по своим качествам не уступают зарубежным аналогам, а во многих случаях превосходят их. Это можно назвать началом процесса импортозамещения, о котором упоминается в Госпрограмме по развитию сельского хозяйства и Указе «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства».

Согласно данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в 2016 г. аграриям удалось достичь рекордных результатов: собран огромный урожай зерновых – свыше 119 млн т, 73 млн т пшеницы, рекордный урожай подсолнечника и сои, более 48 млн т сахарной свеклы.

Однако одной из основных проблем продовольственной безопасности нашей страны является развитие собственного семенного фонда. Зависимость российского аграрного рынка от иностранных поставщиков семян создает риски для устойчивого увеличения объемов производства продуктов питания. По ряду позиций доля

импортных семян составляет от 20 до 80%, но в ведомстве ведется активная работа для решения данной проблемы.

С начала 2016 г. Минсельхоз России провел ряд совместных совещаний с Федеральным агентством научных организаций, на которых обсуждались программы развития селекции и генетики в ряде отраслей – картофелеводстве, свекловодстве, овощеводстве, что может позволить России в течение ближайших пяти лет выйти на уровень 50-75%-ной обеспеченности семенами отечественного производства [30].

Вместе с тем важно расширять международное научное сотрудничество в области генетических ресурсов растений, поскольку это неминуемо повлечет за собой увеличение производства сельскохозяйственной биотехнологической продукции в России, а внедрение результатов исследований и готовых разработок по генетическим ресурсам в отечественный АПК обеспечит собственное воспроизводство всех видов сельскохозяйственной продукции, укрепит продовольственную безопасность и повысит эффективность использования сельскохозяйственных территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа развития сельского хозяйства Российской Федерации и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы.
2. Указ Президента Российской Федерации № 350 от 21 июля 2016 г.
3. **Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш.** Использование генетических ресурсов для селекции инновационных сортов кормовых культур. – М.: Вестник Российской академии наук, 2015. Т 85. – № 3, – С. 224-232.
4. **Чесноков Ю.В., Косолапов В.М.** Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса. – М.: Угрешская типография, 2016. – С. 14-18.
5. **Савченко И.В.** Генетические ресурсы – основа фундаментальных исследований создания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур // Генетические ресурсы растений, животных и микроорганизмов на службе человечества / Науч. сессия общего собр. чл. РАН. – М.: РАН, 2016. – С. 11-17.
6. **Михалев С.С., Лазарев Н.Н.** Кормопроизводство: учеб. пособ. – М.: Инфа-М, 2015. – С. 16, 45, 56, 64.
7. **Романенко Г.А.** Генетические ресурсы растений, животных и микроорганизмов – основа фундаментальных исследований сельскохозяйственной науки // Генетические ресурсы растений, животных и микроорганизмов на службе человечества / Науч. сессия общего собр. чл. РАН. – М.: РАН, 2016. – С. 6-10.
8. **Кашеваров Н.И., Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш., Полюдина Р.И.** Фундаментальные направления развития селекционного процесса создания новых сортов и гибридов кормовых культур // Генетические ресурсы растений, животных и микроорганизмов на службе человечества / Науч. сессия общего собр. чл. РАН. – М.: РАН, 2016. – С. 88-93.
9. **Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш., Ившин Г.И. и др.** Основные виды и сорта кормовых культур: итоги науч. деят. Центрального селекционного центра / ФГБНУ ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса РАН. – М.: Наука, 2015. – С. 375-390, 437-442.
10. **Лутова Л.А.** Генетическая инженерия растений: Свершения и надежды // Соросовский образовательный журн. – Т. 6. – № 10. – 2000. – С. 10-17.
11. **Шмид Р.** Наглядная биотехнология и генетическая инженерия. / Р. Шмид; пер. с нем. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – С. 181.

12. **Балков И.Я., Каракотов С.Д., Суслов В.И.** «Дорожная карта» биотехнологии – дорога к использованию генной инженерии как метода селекции. – М.: Сахарная свекла, 2013. – № 8. – С. 2-6.

13. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1247-р от 18 июля 2013 г.

14. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 839 от 23 сентября 2013 г.

15. Федеральный закон № 358-ФЗ от 3 июля 2016 г.

16. **Ельникова Ю.С.** Банк семян как ключевой метод сохранения генетического разнообразия растений в коллекционных фондах ГБУ ВО «Волгоградского регионального ботанического сада»: матер. Всерос. науч. конф. «Роль ботанических садов в изучении и сохранении генетических ресурсов природной и культурной флоры», посвященной 20-летию основания Горного ботанического сада Дагестанского научного центра РАН. – Махачкала: Наука-Дагестан, 2013. – С. 176-177.

17. **Филипенко Г.И., Силаева О.И., Вержук В.Г.** и др. Сохранение мировых генетических ресурсов растений ВИР с использованием современных технологий // Генетические ресурсы растений – основа продовольственной безопасности и повышения качества жизни / Тез. докл. Международной научной конференции, посвященной 120-летию основания института. Санкт-Петербург, 6-8 октября 2014 г. – СПб.: ВИР, 2014. – С. 34.

18. **Швачко Н.А., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А.** Кριοконсервация образцов культурных видов картофеля и коллекции ВИР // Генетические ресурсы растений – основа продовольственной безопасности и повышения качества жизни / Тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 120-летию основания института. Санкт-Петербург, 6-8 октября 2014 г. – СПб.: ВИР, 2014. – С. 35.

19. **Сторожева Н.Н., Габышев Д.В.** Крioxранилище семян как дополнительный способ сохранения генетических ресурсов растений // Генетические ресурсы растений – основа продовольственной безопасности и повышения качества жизни / Тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 120-летию основания института. Санкт-Петербург, 6-8 октября 2014 г. – СПб.: ВИР, 2014. – С. 33.

20. **Ситников М.Н., Вержук В.Г., Павлов А.В.** Изучение жизнеспособности пыльцы яблони *Malus Domestica Borkhc* использованием сред с различным содержанием сахарозы после крioxконсервации // Генетические ресурсы растений – основа продовольственной безопасности и повышения



качества жизни / Тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 120-летию основания института. Санкт-Петербург, 6-8 октября 2014 г. – СПб.: ВИР, 2014. – С. 32.

21. Главная страница: о нас [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

22. Главная страница: о нас > чем мы занимаемся > повышение продуктивности и устойчивости сельского, лесного и рыбного хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

23. Главная страница: о нас > как мы работаем [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

24. Главная страница: страны > Российская Федерация [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

25. Главная страница: темы > генетические ресурсы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

26. Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: о комиссии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 20.01.2017).

27. Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства: глобальные инструменты > глобальные планы действий [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org> (дата обращения: 23.01.2017).

28. Второй глобальный план действий по генетическим ресурсам растений для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Рим, 29 ноября 2011 г. – Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. – Рим.: ФАО, 2011. – С. 19-22.

29. Стандарты геномных банков для генетических ресурсов растений для производства и ведения сельского хозяйства. – Комиссия по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. – Рим.: ФАО, 2015. – С. vii-xi, 2-5, 8-13, 17-63, 65-113, 115-159.

30. Главная страница: главные новости [Электронный ресурс]. URL: <http://mcx.ru/news/news/show/58225.355.htm> (дата обращения: 13.02.2017).

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                                                                                                 | 3  |
| 1. Роль генетических ресурсов растений в развитии<br>сельского хозяйства.....                                                                                                                                  | 6  |
| 2. Обзор текущих результатов селекции кормовых культур .....                                                                                                                                                   | 14 |
| 3. Генная инженерия в растениеводстве .....                                                                                                                                                                    | 27 |
| 4. Сохранение генетических ресурсов растений.....                                                                                                                                                              | 34 |
| 5. Международный опыт в области сохранения, расширения и<br>применения генетических ресурсов растений на примере Продо-<br>вольственной и сельскохозяйственной организации Объединен-<br>ных Наций (ФАО) ..... | 45 |
| Заключение .....                                                                                                                                                                                               | 73 |
| Литература .....                                                                                                                                                                                               | 75 |

**Сергей Николаевич Сапожников**

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ  
ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР**

*Научный аналитический обзор*

Редактор: *Л.Т. Мехрадзе*  
Обложка художника *П.В. Жукова*  
Компьютерная верстка *Г.А. Прокопенковой*  
Корректор *С.И. Ермакова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

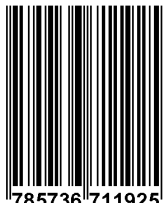
---

Подписано в печать 10.03.2017 Формат 60х84/16  
Бумага офсетная Гарнитура шрифта "Times New Roman" Печать офсетная  
Печ. л. 5,0 Тираж 500 экз. Изд. заказ 21 Тип. заказ 128

---

Отпечатано в типографии ФГБНУ "Росинформагротех",  
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-1192-5



9 785736 711925

# ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

Информационный бюллетень Минсельхоза России выпускается ежемесячно тиражом более 4000 экземпляров и распространяется во всех регионах страны, поступает в органы управления АПК субъектов Российской Федерации. В журнале публикуются материалы информационно-аналитического характера о деятельности Министерства по реализации государственной аграрной политики, отражаются приоритеты, цели и направления развития сельского хозяйства и сельских территорий, материалы о мероприятиях, проводимых с участием первых лиц государства по вопросам развития отрасли, освещается ход реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы.

Вы прочтете проблемные статьи и интервью с руководителями регионов, ведущими учеными-аграрниками, руководителями сельхозпредприятий и фермерами. Широко представлены новости АПК регионов.

В приложении к Информационному бюллетеню публикуются официальные документы – постановления Правительства России, законодательные и нормативные акты по вопросам АПК, приказы Минсельхоза России.

**Подписку можно оформить через редакцию.  
Стоимость подписки на 2017 г. с учетом доставки  
по Российской Федерации – 3696 руб.  
с учетом НДС (10%) за 12 номеров;  
308 руб. с учетом НДС (10%) за один номер**

Банковские реквизиты: УФК по Московской области  
(Отдел №12 Управления Федерального казначейства по МО)  
ИНН 5038001475 / КПП 503801001 ФГБНУ «Росинформагротех»,  
л/с 20486Х71280, р/с 40501810300002000104 в Отделении 1  
Москва, БИК 044583001 в назначении платежа указать код  
КБК 000 0000 00000000 000 440

**Журнал уже получают тысячи сельхозтоваро-  
производителей России и стран СНГ**

В Информационном бюллетене Минсельхоза России Вы можете разместить свои аналитические и рекламные материалы, соответствующие целям и профилю журнала. Подписку и размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» с любого месяца и на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет.

Телефоны для справок: 8 (496) 531-19-92,  
(495) 993-55-83,  
(495) 993-44-04.

Факс 8 (496) 531-64-90

e-mail: market-fgnu@mail.ru, ivanova-fgnu@mail.ru



