



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование»
(квалификация – бакалавр)

На тему «Экологические и социальные аспекты использования генно-модифицированных сельскохозяйственных культур»

Исполнитель: Гамм Мария Олеговна

Руководитель: д.б.н, профессор Романенко Александр Алексеевич

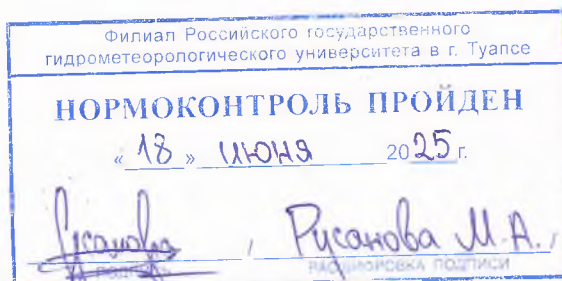
«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«18» июня 2025 г.



Туапсе
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Теоретические основы использования генно-модифицированных культур в сельском хозяйстве.....	6
1.1 История создания ГМ-культур.....	6
1.2 Виды и способы создания генетически модифицированных культур...	16
2 Сравнительный анализ результатов испытаний и эксплуатаций ГМ-культур, их преимущества и недостатки.....	27
2.1 Статистика применения трансгенных культур в мире и России.....	27
2.2 Анализ результатов использования ГМО продуктов	40
3 Влияние ГМ-культур на здоровье человека и окружающую среду и предполагаемые риски.....	51
Заключение.....	57
Список литературы.....	62

Введение

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, питание является одним из ключевых факторов, влияющих на здоровье человека. Проблема голода остаётся актуальной для многих регионов мира, что подчёркивает необходимость поиска новых подходов к обеспечению продовольственной безопасности и улучшению качества питания.

Создание генетически модифицированных источников пищи представляет собой перспективное направление, которое может способствовать решению ряда проблем, связанных с питанием и здоровьем населения. Модификация пищевых продуктов позволяет придать им новые характеристики, в том числе обогатить их нутриентами, полученными путём химического синтеза или имеющимися в природе. Это может стать одним из способов борьбы с проблемой голода и улучшения качества жизни людей в разных частях мира.

Генетически модифицированные организмы или трансгенные организмы – это активно обсуждаемая сегодня тема в научных кругах, средствах массовой информации, обыденной жизни. Проблемы их создания и использования, а также использование продуктов переработки ГМО представляются актуальными в связи с их интенсивным распространением и теми рисками, которые они вызывают.

Перенос генов из одних организмов в другие, далеко отстоящих от них в систематическом и эволюционном плане, так называемый трансгеноз, осуществляют в самых разных группах организмов – бактерий, растений, грибов, животных. Такие манипуляции осуществляются с использованием современных генно-инженерных технологий.

Интерес к созданию трансгенных организмов огромен, так как они позволяют уже сейчас и позволят в будущем решить многие из насущных проблем человечества, прежде всего, связанные с проблемами продовольственного обеспечения населения Земли, диагностики, профилактики

и лечения разного рода заболеваний, восстановлением нарушенных экосистем и т.д. Однако сложные молекулярно-генетические технологии, являющиеся по сути нанотехнологиями, используемые сегодня для получения генетически-модифицированных организмов, пока еще не совершенны, что вызывает целый ряд рисков, возникающих при создании и использовании таких организмов.

Генная инженерия – не единственный способ изменения генома организмов, в природе подобные изменения происходят путем мутаций, также некоторые бактерии способны встраивать свою ДНК в геномы растений, а ретровирусы могут интегрировать свой геном в клетки растений, грибов и животных. В определенном смысле генная инженерия является более продвинутой и точной селекцией, ведь в ходе селекции никогда не известно какие именно изменения произошли в геноме организма, и не приобрел ли он помимо нужных и полезных свойств вредные и токсичные.

Генно-модифицированные сельскохозяйственные культуры становятся всё более популярным инструментом в сельском хозяйстве благодаря их потенциальным преимуществам, таким как повышенная урожайность, устойчивость к вредителям и болезням, а также возможность адаптации к изменяющимся климатическим условиям. Однако использование таких культур вызывает опасения с точки зрения экологии и социальных последствий. Анализ этих аспектов необходим для понимания полного спектра влияния генно-модифицированных организмов на окружающую среду и общество, что делает данную тему актуальной для исследования.

Таким образом, использование генно-модифицированных объектов имеет перспективы активного использования в сельском хозяйстве, пищевой промышленности и медицине.

Актуальность исследований обоснована тем, что использование генетически модифицированных продуктов питания может помочь решить проблему нехватки продовольствия в мире.

Объект исследования – генно-модифицированные сельскохозяйственные культуры, используемые в современном сельском хозяйстве.

Предмет исследования – экологические и социальные аспекты использования генно-модифицированных сельскохозяйственных культур

Цель исследования – комплексный анализ экологических и социальных аспектов использования генно-модифицированных сельскохозяйственных культур для оценки их потенциального влияния на окружающую среду, сельское хозяйство и общество в целом.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- изучить вклад ученых в создание генно-модифицированных культур;
- обобщить материалы по видам и способам использования генно-модифицированных культур;
- рассмотреть виды ГМ-культур и способы их создания;
- определить основные риски, связанные с использованием ГМ-культур;
- описать современные представления о целях и способах создания генно-модифицированных культур;
- охарактеризовать воздействие ГМ-культур на окружающую среду;
- провести анализ испытаний ГМ-культур, выявить их преимущества и недостатки в контексте сельскохозяйственного производства;
- сделать выводы о эффективности использования генно-модифицированных культур.

1 Теоретические основы использования генно-модифицированных культур в сельском хозяйстве

1.1 История создания ГМ-культур

Термин «биотехнология» образован от греческих слов «*bios*» (жизнь), «*techne*» (искусство, мастерство) и «*logia*» (наука). В прямом переводе на русский язык означает «науку о создании жизни». Согласно общепринятому определению, биотехнология – это область знаний, изучающая способы применения живых существ и биологических процессов в промышленном производстве. Она интегрирует в себя разнообразные научные дисциплины из сферы естественных наук, такие как биология, микробиология, химия, физика, кибернетика, генетика и другие.

В настоящее время с использованием биотехнологий создают иммуномодуляторы (например, интерфероны), гормоны (в частности, инсулин), вакцины (против гепатита В, гриппа и других заболеваний), ферменты, необходимые в фармацевтике и пищевой промышленности, диагностические инструменты для проведения клинических исследований (например, экспресс-тесты на наркотики и гормоны), витамины, биоразлагаемые пластмассы, антибиотики, биосовместимые материалы.

Особый интерес вызывают биотехнологические разработки, направленные на внедрение в геном животных различных генетических конструкций, включая гены других животных, человека, растений и микроорганизмов, а также создание совершенно новых генетических комбинаций, не встречающихся в природе. Растения и животные, полученные с помощью методов генной инженерии, называют генетически модифицированными, а продукты их переработки – трансгенными продуктами питания. Генная инженерия – это направление биотехнологии, которое занимается целенаправленным созданием новых комбинаций генетического материала в лабораторных условиях («*in vitro*»), способных воспроизводиться в клетках и синтезировать заданный продукт.

К исходу XX столетия научное сообщество осознало, что генетический материал живых существ подвержен изменениям, а горизонтальный перенос генов играет важную роль в эволюционном процессе, представляя собой скорее закономерность, нежели аномалию.

В 1977 году был достигнут важный прорыв в области генной инженерии растений — было выявлено, что почвенные бактерии *Agrobacterium* способны встраивать собственную ДНК в геном разнообразных растений. Это позволяло бактериям модифицировать генетический материал растительных клеток, побуждая их производить питательные вещества, необходимые исключительно для самих бактерий.

На протяжении истории земледелия люди активно влияли на генетическое разнообразие культурных растений. Они отбирали для посева растения с желаемыми признаками и скрещивали различные сорта, создавая новые комбинации генов и, как следствие, новые сочетания признаков. Позже, для ускорения селекции, стали использовать мутагены и ионизирующее излучение, вызывающие случайные изменения в геноме. Однако этот метод был далек от совершенства: он приводил к множеству нежелательных мутаций, требовал длительного отбора и не гарантировал сохранения ценных признаков.

На смену традиционным методам пришла генная инженерия, предлагающая целенаправленное изменение наследственной информации. В отличие от искусственного отбора и случайных мутаций, генная инженерия позволяет точно и предсказуемо модифицировать геном.

Рождением генной инженерии принято считать 1972 год, когда Пол Берг создал первую рекомбинантную ДНК (рДНК), объединив гены из разных организмов и получив генетически модифицированный табак. Вскоре, в 1973 году, был создан первый ГМ-микроорганизм – кишечная палочка, способная производить человеческий инсулин.

Тем не менее, ввиду непредсказуемости результатов, полученных в ходе экспериментов, Стэнли Коэн и Герберт Бойер, авторы этого прорывного открытия, обратились к научному сообществу с призывом временно

приостановить исследования. Свою позицию они изложили в публикации в журнале Science, получив поддержку Пола Берга [12, с.17].

В 1975 году в Калифорнии состоялась конференция, где ведущие специалисты в области генной инженерии пришли к соглашению о снятии моратория и возобновлении приостановленных исследований. Однако условием было строгое соблюдение разработанных протоколов безопасности.

Разработка методики промышленного производства и тщательное тестирование инсулина микробно-человеческого происхождения заняли семь лет. Американская компания Genentech в 1980 году начала коммерциализацию этого инновационного препарата. Инсулин, полученный с использованием ГМ-бактерий, полностью идентичен человеческому, именно этот фактор обеспечивает более высокую усвояемость в сравнении со свиным (отличается на одну аминокислоту) и бычьим (отличается на три аминокислоты) инсулинами.

Немецкие генетики из Института растениеводства в Кельне в 1983 году создали трансгенный табак, обладающий устойчивостью к насекомым-вредителям. Спустя пять лет, в 1988 году, впервые в истории была осуществлена посадка генно-модифицированной кукурузы. После этого генная инженерия стала развиваться стремительными темпами. В 1992 году в Китае началось выращивание трансгенного табака, а в 1994 году стартовали коммерческие продажи ГМ-продуктов.

Первыми на рынке появились устойчивые к гниению помидоры, разработанные в Калифорнии. Американская компания Monsanto в 1994 году представила свою первую разработку в области генной инженерии – генетически модифицированный помидор под названием FlavrSavr.

Эти плоды могли храниться полужелтыми в прохладном месте в течение нескольких месяцев и быстро созревали в тепле. Уникальные свойства были достигнуты благодаря внедрению генов камбалы. В дальнейшем ученые объединили гены сои с генами бактерий, создав культуры, устойчивые к гербицидам.

Следует отметить, что с этого момента наблюдается экспоненциальный рост индустрии генетически модифицированных культур. В 1995 году мировые площади под трансгенными культурами составляли лишь 1,7 млн. га, но к 2007 году они увеличились до 114 млн га, а к 2012 году достигли 170,3 млн га, что соответствует 11% от общей площади пахотных земель. В 2008 году общая площадь земель, занятых ГМ-культурами, превысила 114,2 млн гектаров. Лидирующие позиции по выращиванию ГМ-культур занимает США, за которыми следуют Бразилия, Аргентина, Индия, Канада и Китай (таблица 1).

Таблица 1 – Государства, лидирующие по площади возделывания генетически модифицированных культур.

Страна	Площадь (млн га)
США	75
Бразилия	51,3
Аргентина	24,5
Индия	11,6
Канада	11,0
Китай	3,7
Парагвай	3,6
Пакистан	2,9
ЮАР	2,3
Уругвай	1,4

Африка рассматривается как регион с высоким потенциалом для внедрения генетически модифицированных растений в сельское хозяйство, что обусловлено проблемами бедности и недостаточного питания.

Следует подчеркнуть, что, в то же время, десятки стран ввели запреты на выращивание ГМО-культур на своей территории. Согласно данным SustainablePulse, полный запрет действует в 38 странах, включая Швейцарию, Австрию, Францию, Германию, Венгрию, Грецию, Болгарию, Польшу, Россию, Алжир, Турцию и Кыргызстан. В шестидесяти странах существуют значительные ограничения, в том числе частичные запреты на возделывание ГМО-растений в определенных регионах США, Австралии и Бельгии.

Известно, что в некоторых странах, например, в Перу, закон о запрете на выращивание ГМО-культур не соблюдается фермерами [2, с.21].

В Российской Федерации засевание полей трансгенными растениями запрещено. Однако 22 линии генно-модифицированных растений, включая кукурузу, картофель, сою, сахарную свеклу и рис, разрешены для импорта в Россию для использования в кормовых и пищевых целях. Также, В 2014 году Всероссийский центр изучения общественного мнения организовал исследование, посвящённое отношению населения к ГМО. Согласно результатам, 75% населения готовы платить больше за продукты, не содержащие генетически модифицированные организмы, а 80% населения считают необходимым запретить ГМО [6, с.160].

Тем не менее, многие страны, запрещающие выращивание генно-модифицированных культур, допускают импорт таких продуктов и кормов для животных. Например, в Китае, Японии и Канаде существуют ограничения на ГМО-продукты до тех пор, пока они не пройдут соответствующий нормативный контроль.

В 2015 году значительная часть стран Евросоюза ввела запрет на культивирование генетически модифицированных растений на своей территории. При этом, несмотря на ограниченное выращивание ГМ-культур в Европе, ЕС продолжает импортировать ГМ-кукурузу и сою, используемые в качестве корма для скота. Политика в отношении ГМО, как в плане выращивания, так и импорта, в разных странах мира, включая страны ЕС, подвержена изменениям. Во всем мире продолжают научные споры и дебаты между сторонниками и противниками ГМО. Транснациональные корпорации, продвигающие ГМ-технологии, проявляют особый интерес к рынкам Южной Америки, где в настоящее время ведутся наиболее интенсивные дискуссии по этому вопросу.

На карте показана история внедрения генетически модифицированных культур в мире. За последние 28 лет 41 страна пробовала выращивать 22 различные культуры, созданные с помощью трансгенеза, редактирования генов

Проанализировав более шести тысяч исследований ГМ-кукурузы за 21 год, ученые пришли к выводу, что она не представляет угрозы для здоровья человека и может оказывать положительное воздействие.

В частности, установлено, что содержание микотоксинов, ядовитых и канцерогенных соединений, вырабатываемых плесневыми грибами и нередко загрязняющих сельскохозяйственную продукцию, включая кукурузу, в ГМ-кукурузе снижено на 36,5%. Дополнительно, применение методов генной инженерии привело к заметному увеличению продуктивности кукурузных посевов в глобальном масштабе, с приростом урожайности от 5,6% до 24,5%.

Авторы исследования уверены в однозначности полученных результатов и надеются, что их работа поможет укрепить доверие потребителей к продуктам, полученным из ГМ-растений [25, с.270].

В журнале «Пищевая и химическая токсикология» 19 сентября 2012 года была опубликована работа французских исследователей под руководством Жилья-Эрика Сералини, озаглавленная «Долговременные токсические эффекты гербицида Roundup и толерантной к нему ГМ-кукурузы». В исследовании утверждалось, что крысы, употреблявшие генетически модифицированную кукурузу, демонстрировали повышенную восприимчивость к развитию раковых опухолей, преждевременной смерти и патологиям в развитии органов. В средствах массовой информации эти результаты были представлены под сенсационным заголовком о вреде ГМО.

Эксперимент был основан на предположении, что гербицид Roundup оказывает токсическое воздействие на растения путем блокирования производства необходимых для их жизнедеятельности аминокислот. Генетическая модификация кукурузы заключалась во внедрении гена устойчивости к данному гербициду. Ученые стремились проверить безопасность этого генетически модифицированного продукта для человека.

В ходе эксперимента Сералини 200 крыс (100 самцов и 100 самок) были случайным образом разделены на группы. Известно, что шесть групп каждого пола получали в рацион ГМ-кукурузу в различных пропорциях (11, 22 и 33%) в

присутствии или отсутствии гербицида Roundup. Три группы получали обычную кукурузу и воду с ферментом устойчивости к гербициду. Контрольная группа получала стандартный рацион без ГМ-кукурузы и гербицида. За крысами наблюдали в течение двух лет, усыпляя особей с потерей 25% массы тела, большими опухолями или признаками прострации. При вскрытии проводилось изучение внутренних органов.

В разделе «Смертность» исследования авторы представили данные в виде диаграмм, вместе с тем, указывая, что нормальная продолжительность жизни крыс в контрольной группе составляла 600-650 дней для самцов и 680-720 дней для самок. Утверждалось, что смертность после этого возраста обусловлена естественными причинами, а более ранняя смерть связана с патологиями. Известно, что в контрольной группе преждевременно погибли 30% самцов и 20% самок, имевших опухоли, в то время как в некоторых группах, получавших ГМ-кукурузу, преждевременная смертность достигала 50% у самцов и 70% у самок.

Тем не менее в эксперименте возникает проблема статистической интерпретации результатов: сравнивается небольшая контрольная группа (10 крыс) с несколькими группами большего размера (по 90 крыс в каждой группе, разделенных по полу). Велика вероятность того, что вследствие естественной изменчивости, в одной или нескольких из этих девяти групп состояние здоровья крыс окажется хуже, чем в контрольной группе. Это ставит под сомнение статистическую значимость полученных результатов.

В дополнении, биолог и научный журналист Ася Казанцева приводит упрощенную аналогию для иллюстрации данной проблемы: если мы попытаемся доказать вред ювелирных украшений, сравнивая группу из 10 мальчиков, не носящих украшения, с тремя группами по 30 мальчиков, носящих кольца, серьги или и то, и другое, то через 50 лет мы можем обнаружить, что в одной из групп, носящих украшения, умерло больше мальчиков, чем в контрольной. Очевидно, что это не будет являться убедительным доказательством вреда украшений.

Различия в смертности между группами крыс, отмеченные исследователями, незначительны: три самца против пяти и две самки против семи. В опубликованной работе и в СМИ эти различия представляются в процентном выражении, что создает впечатление значимости, однако малый размер выборки не позволяет делать однозначные выводы о влиянии или отсутствии влияния генетически модифицированных продуктов.

К концу жизни вероятность развития опухоли у крыс Спрэг-Дули может превышать 80%. Таким образом, выводы о влиянии ГМО, основанные на таких данных, представляются весьма спорными. Критика научного сообщества в адрес эксперимента Сералини вызвана многочисленными и серьезными недостатками в его проведении (рисунок 2).

Отсутствие учета объема воды, потребляемой крысами вместе с ферментом, обеспечивающим устойчивость к гербициду R.

Не все представленные цитологические срезы обладают достаточной диагностической ценностью для выявления опухолей.

В докладе отсутствует четкое заключение о том, что наблюдаемые эффекты непосредственно связаны с генетической модификацией исследуемого продукта. То есть не установлена причинно-следственная связь между ГМО и негативными последствиями для здоровья.

Неполная доступность исходных данных исследования вызывает вопросы к прозрачности и надежности полученных результатов.

Заявление авторов о том, что их исследование является «первым рецензируемым долгосрочным исследованием токсичности биотехнологических культур», не соответствует действительности. Поскольку ранее был опубликован обзор 12 долгосрочных исследований, проведенных учеными из Ноттингемского университета, который не выявил опасности ГМ-продуктов для здоровья.

Рисунок 2 – Основные проблемы эксперимента Сералини

Кроме того, используемый вид крыс, Спрэг-Дули, известен своей предрасположенностью к образованию опухолей. Уже к 18 месяцам жизни у 45% этих крыс развиваются новообразования, особенно часто у самок в молочных железах. Исследования показали, что данный вид крыс также гиперчувствителен к гербицидам, что также проявляется в образовании опухолей молочных желез.

В целом, экспертные комиссии отмечают нестандартный статистический подход и недостаточный контроль над ключевыми параметрами эксперимента Сералини. На основании этих претензий делается вывод о невозможности подтверждения вреда генных модификаций по результатам данного исследования.

В опыте, проведённом в 1999 году британскими исследователями из Абердинского университета и обнародованном в журнале *Lancet*, проводилось сопоставление двух групп лабораторных крыс. Известно, что одна группа получала в пищу генетически модифицированный картофель, содержащий встроенный ген, кодирующий синтез лектина, в то время как другая группа питалась обычным картофелем с добавлением лектина. Сравнение грызунов осуществлялось по пяти показателям: толщина слизистой оболочки желудка, а также длина толстой, тощей, слепой и подвздошной кишок.

В итоге, статистически значимые различия были зафиксированы исключительно для тощей кишки, что послужило ошибочным основанием для заключения об общих различиях между двумя группами крыс и, как следствие, о выявленном негативном влиянии генетически модифицированных организмов на состояние здоровья. Вместе с тем, вероятность статистической погрешности применённого метода анализа оценивается в 23%. Следовательно, существует 23% вероятность того, что отмеченные различия в длине тощей кишки являются случайными. Следовательно, вновь не удалось подтвердить гипотезу об опасности ГМ-продуктов.

Вместе с тем, последующие исследования не выявили никаких признаков отрицательного воздействия ГМО на здоровье человека. Употребление

генетически модифицированных продуктов питания не имеет статистически значимой корреляции с такими заболеваниями, как рак, ожирение, диабет, патологии желудочно-кишечного тракта, заболевания почек, аутизм и аллергические реакции. Установлено, что за 40 лет исследований ни один компетентный орган в мире не зарегистрировал негативных последствий, которые могли бы послужить причиной для запрета или ограничения использования ГМО в рационе питания взрослых и детей [22, с.5].

1.2 Виды и способы создания генетически модифицированных культур

Генная инженерия, представляющая собой методологию разработки генетических программ, объединяет в себе комплекс специализированных техник, требующих совместной работы специалистов в области биохимии, генетики и микробиологии. Данный процесс включает в себя извлечение или синтез генов, создание рекомбинантных ДНК-молекул, доставку гена в клетку-реципиент с использованием вектора и, при необходимости, его интеграцию в геном этой клетки. Важным этапом является обеспечение функционирования введенного гена в клетке-реципиенте, что позволяет синтезировать соответствующий белок.

Трансгеноз определяется как процесс переноса генетического материала в геном другого организма. Животные, чей геном был модифицирован путем введения чужеродных генов, называются трансгенными. Исследования, проведенные в США, Австралии, России и Шотландии, показывают, что получение трансгенных особей является относительно редким явлением. Статистические данные свидетельствуют о том, что успешность получения трансгенных животных составляет около 1% от общего числа подопытных особей, которое варьируется от 56 до 295.

В начале 1980-х годов ученые значительно продвинулись в понимании процесса переноса ДНК. Они разработали метод, позволяющий бактериям переносить в растения гены, полезные не для самих бактерий, а для человека.

Данный подход получил название агробактериальной трансформации и в настоящее время, как известно, является наиболее широко используемым способом трансформации двудольных растений.

В 1988 году был предложен альтернативный метод, применимый для генетической модификации широкого спектра организмов. Этот подход основан на механическом введении ДНК, адсорбированной на микроскопических частицах инертного материала – золота. Эти микрочастицы ускоряют до высоких скоростей с использованием генной пушки и направляются в ткани организма, подлежащего трансформации. Проникая в клетки, инородная ДНК случайным образом интегрируется в хромосомы и также передается по наследству согласно законам классической генетики.

Этот метод особенно эффективен для трансформации растений, которые трудно поддаются агробактериальной трансформации. Например, RR-соя с признаком устойчивости к гербициду «Roundup», занимающая доминирующее положение на рынке генетически модифицированных растений, была создана компанией Agracetus в 1988 году с использованием этого метода. В то время агробактериальная трансформация сои еще не была достаточно оптимизирована.

Генетически модифицированные организмы классифицируются в зависимости от видов манипуляций с их генами, с целью создания определённых категорий, включая ТРАНС, ЦИС и ИНТРА, при этом более мягкие методы модификации могут подразумевать меньшие ограничения.

В современных условиях организмы, чья наследственная информация была намеренно изменена путём внедрения чужеродных генетических элементов, именуются трансгенными. В качестве таких элементов могут выступать гены, заимствованные у видов, которые не способны к скрещиванию с модифицируемым организмом, или даже гены, принадлежащие животным. В качестве иллюстрации можно привести сорт риса, генетический код которого был обогащен геном, полученным от кукурузы, что делает его трансгенным. В исследованиях этой категории нет ограничений, что открывает широкие

возможности. Однако потенциальная угроза заключается в том, что новые черты, усвоенные этими растениями, могут повлиять на их применение в пище или корме, а также передаваться их диким природным родственникам, что может вызвать изменения в экосистеме.

Цисгенные растения представляют собой генетически модифицированные организмы, чей геном был дополнен генами, полученными от того же вида или близкородственных видов, с которыми возможно естественное скрещивание. Важно отметить, что целевой ген при этом не подвергается модификации и сохраняет свои регуляторные последовательности. В качестве примера цисгенеза можно привести создание картофеля, устойчивого к фитофторозу, путем введения генов устойчивости от диких видов картофеля, произрастающих в Мексике и Андах.

Подобные разработки ведутся также в Бельгии. Цисгенез не оказывает влияния на генофонд вида и не вносит в растение принципиально новых характеристик. Изменения, происходящие в растении, аналогичны тем, которые могли бы возникнуть при традиционной гибридизации с родственными дикими формами.

Интрагенез является развитием идеи цисгенеза. В этом случае в ДНК растения внедряется генетическая конструкция, состоящая из гена самого растения, соединенного с регуляторными участками других его генов. В результате этой модификации формируются новые сочетания уже существующих фрагментов ДНК растения. При этом интрагенез позволяет усиливать определенные характеристики растений, например, увеличивать содержание витаминов в листьях, или, наоборот, уменьшать или устранять нежелательные свойства путем изменения регуляции соответствующих генов.

Слияние соматических клеток в селекции растений представляет собой метод создания новых растительных форм путем объединения генетического материала из ядер, митохондрий и пластид. Данный процесс осуществляется посредством культивирования и последующего слияния соматических клеток, лишенных клеточных стенок, известных как протопласты. Этот метод

гибридизации растений получил широкое распространение. Важно отметить, что в Европейском Союзе соматические гибриды не подлежат классификации как генетически модифицированные организмы, что упрощает их распространение, так как регулируется это менее строго [7].

На начальном этапе для создания нового растения из двух различных видов растений получают протопласты, извлекая содержимое клеток без их оболочек. Обычно используются клетки культурных и диких растений. Процесс получения протопластов включает в себя обработку клеток специальными веществами, которые разрушают клеточную оболочку. Затем протопласты стимулируются к слипанию и слиянию с использованием химических или механических методов. В результате слияния образуется регенерант, или соматический гибрид, который восстанавливает клеточную оболочку и развивается в новый живой организм.

Соматические клетки растений, участвующие в образовании тканей и не задействованные в половом размножении, открывают возможности для гибридизации отдаленных и нескрещиваемых видов, а также стерильных растений. Таким образом, метод слияния протопластов позволяет преодолевать несовместимость между культурными и дикими видами. С помощью этой технологии возможно создание межвидовых гибридных клеточных линий, например, рис+соя, ячмень+табак и табак+мышь. Однако, стоит отметить, что большинство получаемых регенерантов уже не способны к размножению, и иногда они представляют собой просто конгломерат клеток, а не полноценные растения.

Хотя данный метод сопровождается значительной «перетасовкой» генов и является очень неточным, он все равно используется в сельском хозяйстве более активно, чем технологии направленного мутагенеза.

На рисунке (рисунок 3) представлены наиболее распространенные способы создания генетически модифицированных растений. Внедряемые в трансгенные растения характеристики дают возможность справляться с такими проблемами, как защита от насекомых-вредителей, улучшение качественных

характеристик производимой продукции, резистентность к неблагоприятным условиям окружающей среды и т. д.

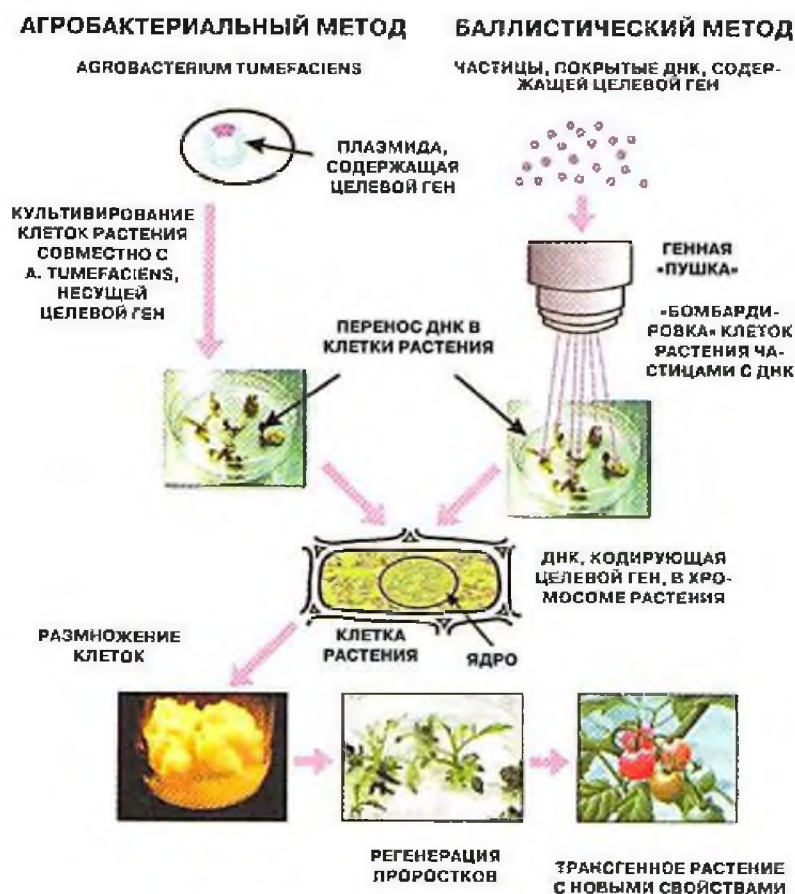


Рисунок 3 – Способы создания генно-модифицированных растений

Для борьбы с вредителями создают трансгенные растения, отличающиеся повышенной экспрессией генов, которые кодируют защитные пептиды. Примером может служить внедрение гена дефенсина из семян редьки в клетки трансгенного табака, что повышает его сопротивляемость к листовому патогену *Alternaria longipes*.

Хлопчатник содержит природный инсектицид госсипол, но ряд насекомых адаптировались к нему. Как известно, в Шанхайском биологическом институте создали табак с РНК, подавляющей ген устойчивости к госсиполу. После употребления листьев такого табака, гусеницы хлопковой совки, будучи перенесенными на хлопчатник, погибли от отравления госсиполом в течение двух суток. Важно отметить, что ежегодный ущерб от хлопковой совки для китайского хлопководства достигает миллиарда долларов. Аналогичные

методы разрабатываются в США для уничтожения вредителей кукурузы [20, с.204].

Генная модификация культур способствует значительному уменьшению использования гербицидов в борьбе с сорняками, что снижает химическую нагрузку на окружающую среду. В Соединенных Штатах и Канаде на десятках миллионов гектаров культивируются устойчивые к гербицидам сорта хлопка, рапса, сои, кукурузы и сахарной свеклы (рисунок 4).

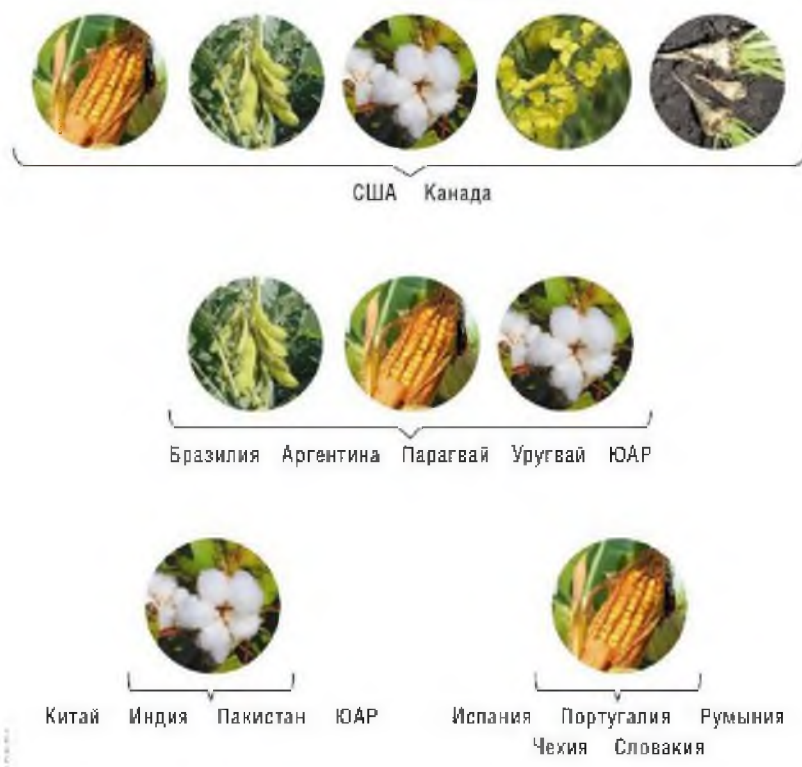


Рисунок 4 – ГМ-культуры, выращиваемые в разных странах

Сельскохозяйственные культуры с древних времен вынуждены конкурировать с нежелательной растительностью за доступ к водным ресурсам, солнечному свету, жизненному пространству и необходимым элементам питания. Игнорирование проблемы сорняков приводит к ощутимому снижению объемов собираемого урожая. В связи с этим были разработаны гербициды – соединения химической природы, предназначенные для уничтожения сорных растений. Задача гербицидов заключается в селективном воздействии, направленном на уничтожение сорняков без нанесения вреда культивируемым растениям или другим формам жизни. Тем не менее, учитывая сходство многих

биологических процессов между сорными и культурными растениями, разработка гербицида с желаемыми характеристиками представляет собой сложную задачу. Для решения этой проблемы исследователи обратились к методам геной инженерии, что позволило успешно создать культуры, устойчивые к определенным видам гербицидов.

Обычно в эту категорию входят трансгенные сельскохозяйственные культуры, обладающие способностью адаптироваться к сложным климатическим условиям, включая засушливые регионы, засоленные почвы, территории с повышенным уровнем осадков и низкими температурами. Разумеется, возделывание таких культур может оказать значительную поддержку местному населению, расширяя ассортимент доступных продуктов питания и, как следствие, повышая вероятность улучшения здоровья и укрепления иммунитета.

В агропромышленном секторе наиболее распространены генетически модифицированные сорта следующих культур (рисунок 5):

6	соя
24	кукуруза
10	хлопчатник
15	рапс
28	картофель
2	кабачки
1	папайя
11	томаты
2	рис
2	сахарная свекла
2	мускусная дыня
2	лен

Рисунок 5 – Название и количество разновидностей самых распространенных трансгенных культур в сельском хозяйстве

В 2010 году Бразилия продемонстрировала наибольший в мире прирост

площадей, занятых трансгенными культурами, увеличив их на 4 миллиона гектаров. В Австралии, после продолжительной засухи, годовой прирост площадей, отведённых под трансгенные культуры, достиг 184%. В Мьянме внедрение ГМ-сортов хлопчатника охватило 75% посевных площадей. Индия демонстрирует устойчивый рост площадей под ГМ-культурами на протяжении 9 лет.

В Российской Федерации разрешено использование двенадцати генно-модифицированных сельскохозяйственных культур (рисунок 6). По данным Роспотребнадзора, содержание ГМО отмечается менее чем в 1% от общего объема реализуемой пищевой продукции [8, с.79].

6	кукуруза
4	картофель
1	свекла
1	рис

Рисунок 6 – Разрешенные к использованию ГМ-сорта в России

Растения, как и животные, подвержены болезням, с которыми бывает сложно бороться. Традиционные методы селекции для внедрения генов устойчивости к болезням могут занимать много времени. Генная инженерия позволяет напрямую вставлять гены устойчивости, значительно ускоряя процесс создания устойчивых растений.

Улучшение потребительских характеристик агропродукции достижимо посредством применения биотехнологических методов. К примеру, генетическая модификация подсолнечника позволяет получать масло, имитирующее органолептические и химические свойства оливкового. В сельскохозяйственной практике внедряются трансгенные сорта бобовых и зерновых культур с улучшенным аминокислотным составом.

Растения подвержены воздействию абиотических стрессоров, таких как

дефицит влаги, избыток солей в почве, экстремальные температуры. Исследования показали, что интродукция гена холинмонооксидазы (ХМО) в *Arabidopsis thaliana* повышает устойчивость к засолению и низким температурам [17]. Аналогичные результаты были получены при создании трансгенного риса. Трансгенные томаты, экспрессирующие бетаинальдегиддегидрогеназу (БАД) из лебеды *Atriplex hortensis*, демонстрируют устойчивость к засолению. Селекционированы сорта томатов, пригодные для орошения соленой водой, что перспективно для повышения урожайности на засоленных почвах.

Жирные кислоты, являющиеся основным компонентом растительных масел, служат важным сырьем для химической промышленности. В США разрешено коммерческое культивирование трансгенного рапса с измененным составом масла. Помимо традиционных жирных кислот, масло содержит до 45% лауриновой кислоты (12-членной жирной кислоты), используемой в производстве моющих средств, косметики и других продуктов. Это открывает перспективы для модификации производства кондитерских изделий, фармацевтических препаратов, косметических средств, детергентов, отвердителей, полимеров, смазочных материалов и дизельного топлива.

Создание инсектицидных растений стало возможным благодаря внедрению гена дельта-эндотоксина бактерии *Bacillus thuringiensis* (Bt). Белок Bt обладает высокой токсичностью для насекомых-вредителей, тем не менее безопасен для остальных видов. Он представляет собой протоксин, который подвергается протеолитическому расщеплению в кишечнике личинок насекомых, в результате чего образуется активированный токсин.

Сельскохозяйственные работники всегда мечтали о создании растений, полностью защищённых от вредителей, так как насекомые могут значительно повредить урожай и увеличить затраты на его возделывание.

Именно для этой цели были выведены пестициды – химические препараты, применяющиеся для борьбы с паразитами, вредителями и болезнями растений. Однако, несмотря на их важность для обеспечения здорового урожая, многие пестициды токсичны не только для целевых

вредителей, но и для людей, животных и полезных насекомых.

Для снижения или исключения необходимости применения пестицидов, некоторые растения были генетически модифицированы для производства белков, которые избирательно уничтожают насекомых-вредителей, не нанося вреда самому растению и другим организмам. Примером таких растений являются Bt-растения, в которые введён ген бактерии *Bacillus Thuringiensis*, обеспечивающий синтез белка, убивающего гусениц.

Активно ведутся исследования по улучшению питательных свойств растений. Уже созданы и проходят испытания ГМ-сорта хлопка с цветным волокном. Другое направление – изменение декоративных качеств растений, например, создание цветов необычной окраски. Также разработаны ГМ-сорта табака с существенно сниженным содержанием никотина. В Вирджинском университете ученые успешно внедрились крысиные гены в ДНК салата, что привело к увеличению содержания витаминов на 700%. Биологи из Канады модифицировали виноград, внедрив ген морозостойкости, взятый у дикого родственника брокколи [19, с.342].

Дефицит витаминов, которые организм не может производить самостоятельно, но которые необходимы для метаболизма, может привести к серьезным заболеваниям. Генная инженерия используется для повышения питательной ценности культур, так как фрукты и листовые овощи, содержащие необходимые витамины, часто трудно выращивать и они являются дорогостоящими, а также основные зерновые культуры, такие как гречиха, могут не содержать этих ключевых витаминов. Успешным примером является «золотой рис», генетически модифицированный для значительного накопления витамина А, что придает ему характерный цвет. Эта разработка была направлена на борьбу с дефицитом витамина А в развивающихся странах.

Для некоторых сельскохозяйственных культур серьезной проблемой является их сохранность при хранении и транспортировке. Многие продукты необходимо перевозить на большие расстояния и хранить длительное время. Особенно сложно работать с культурами, которые быстро портятся или

перезревают. Для замедления процессов созревания и защиты продукции при хранении и транспортировке применяются методы охлаждения, специализированная обработка, а также химические консерванты. Однако данные меры приводят к увеличению финансовых затрат и экологической нагрузки на производство пищевых продуктов, оказывая негативное влияние на их стоимость и потребительские свойства.

В свою очередь, генная инженерия предоставляет возможность для глубокого изучения механизмов созревания и предлагает инструменты для модификации сельхозкультур с целью улучшения их характеристик после сбора урожая. В качестве конкретных примеров можно привести томаты FlavrSavr, арктические яблоки и картофель сорта «Innate». Внедрение определенных ферментов, регулирующих процессы созревания и хранения, посредством генной инженерии позволяет придать растениям необходимые качества, повышая их устойчивость к порче и продлевая срок годности.

2 Сравнительный анализ результатов испытаний и эксплуатаций ГМ-культур, их преимущества и недостатки

2.1 Статистика применения трансгенных культур в мире и России

После десятилетия роста, в течение которого в Российской Федерации зафиксирован рост обрабатываемых сельскохозяйственных земель на восемь процентов, достигший рекордного значения в 82,3 миллиона гектаров к 2022 году, наметилась тенденция к их сокращению. Предварительные данные за 2024 год показывают, что размер сельскохозяйственных угодий снизился до 80,5 млн га, вернувшись к показателям 2021 года (рисунок 7). При этом, зерновые и зернобобовые культуры по-прежнему занимают доминирующее положение, составляя более половины от общей площади посевов – 57,3%.

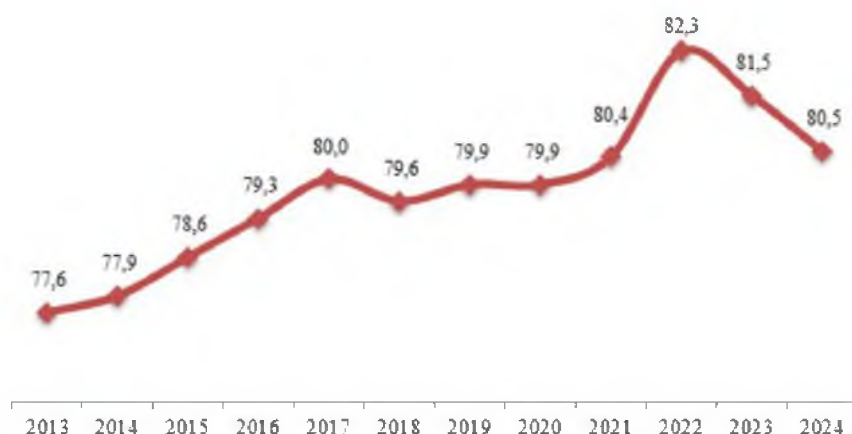


Рисунок 7 – Изменение площади посевов сельхозкультур в Российской Федерации в период с 2013 по 2024 годы, в миллионах гектаров

Общая площадь, отведённая под посевы зерновых и зернобобовых культур, в 2024 году уменьшилась на 3,8% по сравнению с предыдущим годом, достигнув отметки в 46,1 миллиона гектаров. Наибольшее сокращение коснулось гречихи (14,7%), ячменя (12,6%) и овса (8,1%). Даже площадь под основной культурой, пшеницей, уменьшилась на 4,1%, несмотря на то, что она по-прежнему занимает более 61% от всех посевов зерновых и зернобобовых (рисунок 8). Единственным исключением стала кукуруза на зерно, посевы которой незначительно увеличились (на 1%).

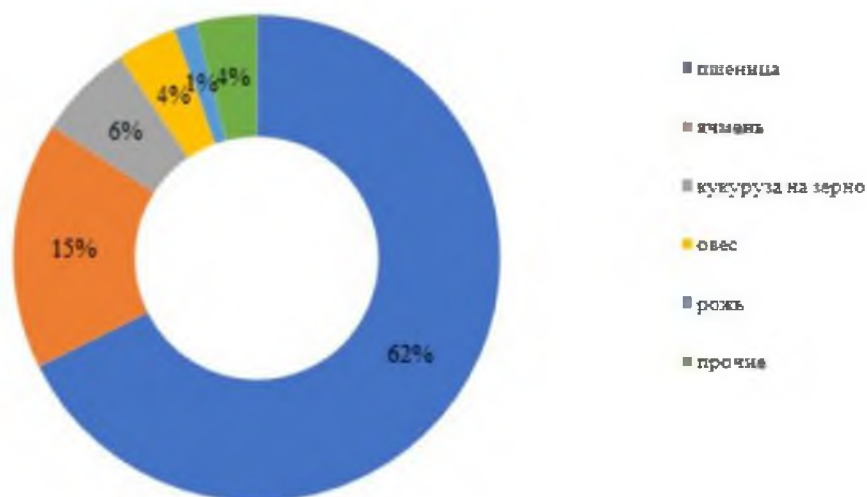


Рисунок 8 –Распределение земель, занятых зернобобовыми и зерновыми культурами на территории России в 2024 году в процентном соотношении

Согласно предварительным оценкам, в 2024 году общий объем урожая зерновых и зернобобовых культур в РФ достиг 125 миллионов тонн, что свидетельствует о снижении на 13,8% по сравнению с показателями прошлого года. Наиболее заметное снижение наблюдается по пшенице (на 11,2%, до 82,4 млн тонн). Аналогичная тенденция к уменьшению наблюдается и в сборах ячменя и кукурузы, где зафиксировано сокращение на 21,2% и 20,3% соответственно (рисунок 9).



Рисунок 9 – Объемы валового сбора зернобобовых и зерновых культур в РФ в период с 2013 по 2024 годы, выраженные в миллионах тонн

Сбор пшеницы в нашей стране в 2024 году сократился на 11,2% по сравнению с предыдущим годом, достигнув 82,4 млн тонн при урожайности 29,3 ц/га (рисунок 10). Также помимо уменьшения территорий, отведенных под посевы этой сельхозкультуры, зафиксировано падение урожайности на 7,9 процента.

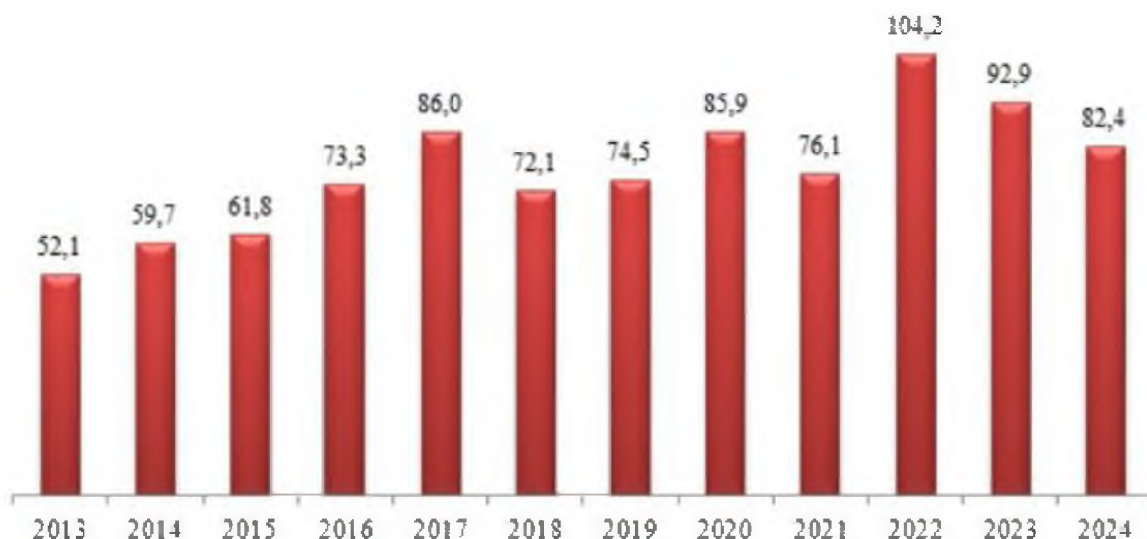


Рисунок 10 – Изменение общего объема собранной пшеницы в РФ в период с 2013 по 2024 год, измеренного в миллионах тонн.

Тройка лидеров по общему объему собранной пшеницы в 2024 году: Ростовская область, Краснодарский край и Ставропольский край. На эти регионы приходится почти треть (32,1%) всего урожая. Однако, положительная динамика наблюдалась только в Краснодарском крае, где урожайность также показала рост. Подробная информация о лидерах по урожаю пшеницы представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Урожай пшеницы в России в 2024 г. составил 92826 тыс. т при урожайности 31,8 ц/га

Регион	Урожай, тыс. т	Урожайность, ц/га
Ростовская область	13832	46
Краснодарский край	9227	56
Ставропольский край	6632	37
Волгоградская область	5318	32
Саратовская область	4010	28
Воронежская область	3457	45

Продолжение таблицы 2

Курская область	2872	56
Тамбовская область	2729	45
Алтайский край	2549	14
Орловская область	2413	52
Липецкая область	2382	48
Пензенская область	2363	40
Оренбургская область	2259	16
Белгородская область	2189	55
Республика Татарстан	2155	26

Наибольшие площади, отведённые под посевы зерновой кукурузы, были отмечены в 2017 году, достигнув отметки свыше 3 миллионов гектаров. В последующем, в 2018 году, наблюдалось резкое сокращение этих площадей. Это было обусловлено рядом факторов, включая задержку наступления весеннего периода в некоторых регионах, а также засушливые условия в начале посевной кампании в отдельных областях. Тем не менее, к 2021 году показатель посевных площадей вновь приблизился к отметке в 3 миллиона гектаров. Под кукурузу было засеяно 2,7 миллиона гектаров в 2024 году, что сопоставимо со среднегодовым значением за последнее десятилетие (рисунок 11).

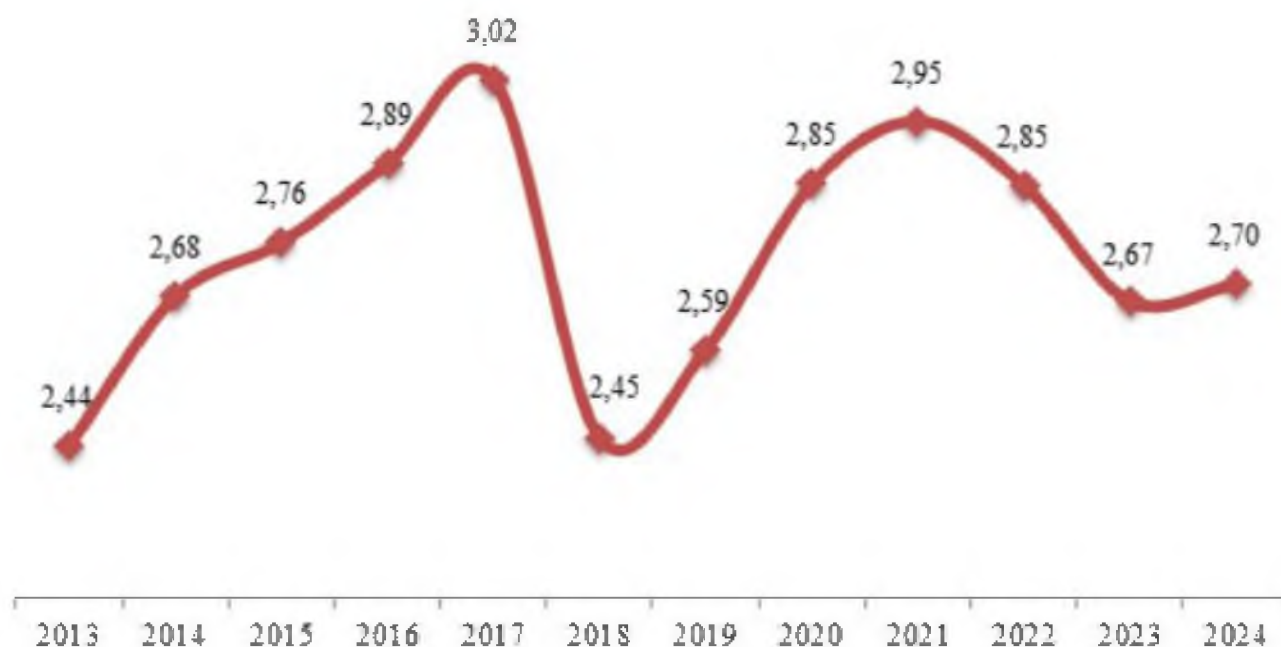


Рисунок 11 – Размеры территорий, отведённых под посевы зерновой кукурузы в пределах Российской Федерации, в период с 2013 по 2024 годы, в миллионах гектаров

В 2023 году в стране был зафиксирован небывалый урожай зерновой кукурузы, достигший 16,6 млн тонн. Этот показатель на 5,3% превысил объемы, собранные в предыдущем, 2022 году. Тем не менее, в 2024 году наблюдалось снижение урожайности на 26,1%, опустившись до уровня 51,2 ц/га. Как следствие, общий объем собранной зерновой кукурузы уменьшился на 20,3% по сравнению с рекордным 2023 годом, составив 13,2 млн тонн (рисунок 12).

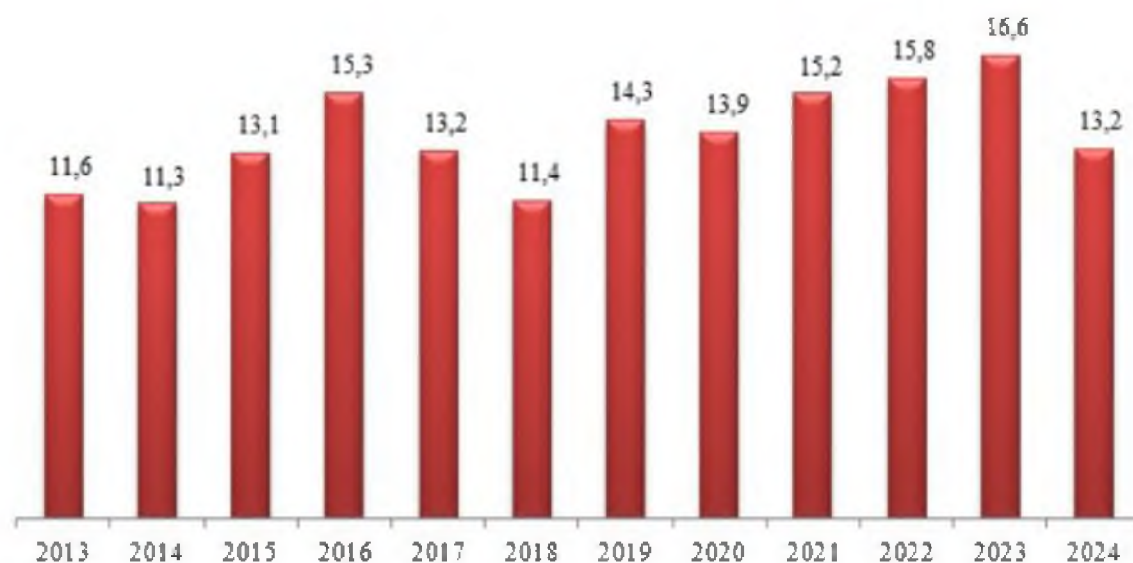


Рисунок 12 – Объемы валового сбора зерновой кукурузы в Российской Федерации в период с 2013 по 2024 годы, в миллионах тонн

Среди регионов Российской Федерации лидирующую позицию по общему объему валового сбора занимает Краснодарский край, демонстрируя показатель в 9,2%. Однако, в этом регионе наблюдается значительное падение производства: урожайность зерна снизилась почти вдвое (на 48,6%) по сравнению с прошлым годом, а посевные площади сократились на 1,5%. В итоге, в 2024 году Краснодарский край собрал на 50,4% меньше кукурузы, чем в 2023 году.

В тройку лидеров также входят Курская и Брянская области, суммарно обеспечивающие 16,3% валового сбора кукурузы в стране (8,3% и 8% соответственно). В Курской области также зафиксировано снижение урожая на

27,9%, что объясняется как уменьшением урожайности (на 29,2%), так и сокращением посевных площадей (на 12,8%) по сравнению с предыдущим годом. Далее следует таблица 3, представляющая информацию о ведущих регионах по урожаю кукурузы.

Таблица 3 – Урожай кукурузы в России в 2023 г. составил 16624 тыс. т при урожайности 69,3 ц/га.

Регион	Урожай, тыс. т	Урожайность, ц/га
Краснодарский край	2458	60
Курская область	1519	102
Брянская область	1138	92
Воронежская область	1206	68
Тамбовская область	1145	90
Кабардино-Балкарская Республика	1048	78
Белгородская область	956	96
Ставропольский край	867	64
Саратовская область	730	53
Республика Северная Осетия	713	79
Орловская область	681	102
Ростовская область	583	54

В 2024 году наблюдается тенденция к снижению урожайности по ряду сельскохозяйственных культур, включая кукурузу. Данная ситуация обусловлена двумя основными факторами: сокращением посевных площадей и снижением урожайности, вызванным неблагоприятными метеорологическими условиями. В этом году общий объем собранного зерна и зернобобовых оказался на 10,6% меньше, чем показатель предыдущего 2023 года. Параллельно с этим, площади, задействованные под посевы данных культур, уменьшились на 3,8%. Информация о регионах-лидерах по урожаю зерна представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Урожай зерна в России в 2024 г. составил 144925 тыс. т при урожайности 31 ц/га.

Регион	Урожай, тыс. т	Урожайность, ц/га
Ростовская область	16170	44

Продолжение таблицы 4.

Краснодарский край	13987	56
Ставропольский край	9138	38
Волгоградская область	6373	30
Воронежская область	6281	44
Саратовская область	5925	26
Курская область	5507	59
Тамбовская область	5138	49
Алтайский край	4500	14
Орловская область	4142	51
Белгородская область	3656	59
Липецкая область	3653	48
Республика Татарстан	3604	25
Оренбургская область	3401	14
Пензенская область	3264	39
Республика Башкортостан	3207	19
Рязанская область	2780	39
Самарская область	2755	24
Тульская область	2588	44
Омская область	2511	12
Красноярский край	2461	26

По сравнению с предыдущим годом, единственной культурой, продемонстрировавшей рост валового сбора, является рис, объем которого увеличился на 17,2%. Отмечается существенное расширение площадей, отведенных под зернобобовые культуры, а именно на 31,6%. Тем не менее вследствие падения урожайности на 28,7%, общий объем собранного урожая зернобобовых уменьшился на 9,8%. Информация о лидерах по урожаю зернобобовых представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Урожай зернобобовых в России в 2023 г. составил 5954 тыс. т при урожайности 20,6 ц/га.

Регион	Урожай, тыс. т	Урожайность, ц/га
Ставропольский край	690	29
Ростовская область	532	31
Краснодарский край	446	35
Алтайский край	344	12
Саратовская область	328	12

Продолжение таблицы 5

Омская область	237	11
Самарская область	232	16
Новосибирская область	221	14
Рязанская область	220	31
Тамбовская область	219	36
Волгоградская область.	194	19

Тем не менее предварительные данные за 2024 год свидетельствуют о некотором спаде в объемах производства по сравнению с пиковыми значениями.

Снижение урожайности сельскохозяйственных культур из-за неблагоприятных погодных условий, таких как летняя засуха, весенние заморозки и сильные дожди во время уборки, создаёт серьёзные проблемы для аграрного сектора. В условиях, когда традиционные методы ведения сельского хозяйства оказываются неэффективными, внедрение генетически модифицированных культур становится особенно важным.

Генетически модифицированные культуры разрабатываются с целью повышения их устойчивости к экстремальным климатическим условиям. Изменение генов позволяет создавать сорта, которые лучше справляются с засухой, морозами и другими неблагоприятными условиями. Это может значительно повысить урожай и стабильность сельскохозяйственного производства, даже в условиях изменчивой погоды.

Кроме этого, ГМ-культуры могут иметь повышенную защиту от болезней и вредителей, что также позитивно сказывается на урожайности. Это особенно важно, когда традиционные методы борьбы с вредителями и заболеваниями оказываются либо неэффективными, либо слишком дорогими.

Несмотря на возможные выгоды от использования генно-модифицированных культур, Россия в настоящее время придерживается осторожной политики, акцентируя внимание на безопасности и соблюдении регуляторных требований. С 2016 года в стране введён запрет на коммерческое культивирование таких культур. С 1 сентября 2023 года вступил в силу

Федеральный закон №454 «О семеноводстве», принятый 30 декабря 2021 года, который запрещает использование семян растений, содержащих ГМО, за исключением случаев проведения научных экспериментов и испытаний. Кроме того, приказ Министерства сельского хозяйства России №346 от 6 апреля 2023 года ввёл строгие процедуры для утилизации семян или растений, у которых подтвердили наличие ГМО.

Тем не менее, в мировой практике уже существуют успешные примеры коммерческого выращивания генетически модифицированных организмов, что подтверждается данными из разных стран. Трансгенные растения способствуют увеличению продуктивности фермеров и снижению потребности в пестицидах. Приблизительно 9 из 10 культивируемых в Соединенных Штатах посевов кукурузы, соевых бобов и хлопчатника являются продуктом генной модификации.

Главные культуры, подвергаемые генетической инженерии в мировом растениеводстве, включают сою, кукурузу, картофель, хлопчатник и сахарную свеклу. Использование генной инженерии позволяет увеличить урожайность этих сельскохозяйственных культур почти в два раза. За последние пять лет глобальная площадь, занятая трансгенными растениями, возросла с 8 миллионов гектаров до 46 миллионов гектаров. Это свидетельствует о значительном росте внедрения биотехнологий в сельское хозяйство во всем мире.

Фермерские хозяйства, использующие трансгенные культуры, показывают рост урожайности на 20%, при этом применение пестицидов снижается в среднем на 37%. В результате этого общий доход фермеров, работающих с ГМО, увеличился на 68%.

Октябрь 2020 года стал знаковым моментом для сельского хозяйства, так как появилась возможность легально заниматься выращиванием и употреблением генетически модифицированной пшеницы. Аргентина стала первой страной в мире, которая начала культивировать эту сельскохозяйственную культуру. Власти государства санкционировали

коммерческое культивирование генно-модифицированной культуры компанией Bioceres, однако подчеркнули, что реализация станет возможной лишь при условии одобрения импорта со стороны Бразилии, ключевого импортёра аргентинской пшеницы. Вскоре после этого, Abitrito, представляющая интересы бразильской пшеничной индустрии, публично выразила несогласие с культивированием и применением ГМ-пшеницы в мукомольном производстве.

Согласно информации, предоставленной Bioceres, урожайность нового сорта пшеницы, разработанного с использованием технологии HB4, превосходит традиционные сорта на 20%. Помимо этого, подтверждена её засухоустойчивость, что было установлено в ходе исследований, проводившихся в течение последних десяти лет. Компания активно ведет переговоры с регуляторными органами Бразилии, США, Уругвая, Парагвая и Боливии о возможности поставок генетически модифицированной пшеницы.

В отличие от кукурузы и других зерновых, генетическая модификация пшеницы представляет собой более сложную задачу. Однако, с 1990-х годов были разработаны различные методы, позволяющие модифицировать геном пшеницы. Одним из таких методов, запатентованным Japan Tobacco Inc., было получено несколько ГМ-культур.

Сорт пшеницы MON71800, генетически модифицированный компанией Monsanto для устойчивости к глифосату, получил официальное разрешение на использование в ряде стран. Начиная с 2004 года, Соединенные Штаты Америки, Колумбия, Новая Зеландия, Австралия утвердили данный сорт для культивирования и потребления.

В Уругвае, Парагвае, Бразилии и США рассматривались заявки на одобрение другого генетически модифицированного сорта пшеницы, HB4. В Уругвае в 2019 году завершился этап публичных обсуждений, посвященных проведению полевых испытаний трансгенной пшеницы этого сорта. Одновременно с этим, уругвайская Комиссия по оценке рисков биологической безопасности дала разрешение на осуществление данных испытаний. Также в 2019 году Министерство сельского хозяйства Парагвая сообщило об успешном

прохождении пшеницей НВ4 всех необходимых проверок на предмет биобезопасности. В настоящее время данный сорт находится на этапе рассмотрения возможности его промышленного производства.

В 2005 году исследователи обнаружили, что добавление гена НВ4 из подсолнечника в геном модельного растения *Arabidopsis thaliana* значительно повышает его засухоустойчивость. Спустя годы, в 2019 году, была выведена генетически модифицированная пшеница сорта IND-00412-7 (НВ4), содержащая измененную версию гена НВ4. Эта пшеница демонстрирует высокую урожайность даже в регионах с неблагоприятными условиями для земледелия. Предполагается, что засухоустойчивость НВ4 связана с изменениями в гормональной регуляции растения, однако точные механизмы этого процесса еще предстоит выяснить.

Генная трансформация осуществлялась методом биолистики, при котором молодые эмбрионы пшеницы подвергались «бомбардировке» микроскопическими частицами золота, несущими целевые гены.

В 2022 году ученые из Иллинойского университета в Урбана-Шампейн, США, создали генетически модифицированную сою, которая выдает на 25% больше урожая по сравнению с традиционными растениями. Исследователи пояснили, что увеличенная продуктивность бобов связана с улучшением фотосинтеза благодаря генной инженерии.

Учёные модифицировали три гена, что сделало растения более чувствительными к условиям низкой освещенности. Их вмешательство затронуло определенные участки ДНК, которые отвечают за защитный механизм, называемый нефтохимическим тушением: когда растение получает слишком много света, этот механизм активируется и временно останавливает фотосинтез.

В ходе пяти крупных испытаний модифицированные соевые бобы показали увеличение урожайности в среднем на 25%, при этом одно из испытаний зафиксировало рост на 33%. По словам руководителя исследовательского проекта профессора Стивена Лонга, для достижения

аналогичных результатов через традиционную селекцию понадобятся десятилетия. Ученый охарактеризовал открытие как прорыв и выразил надежду, что ГМО-растения помогут справиться с проблемой глобального голода.

В 2024 году в США разрешили культивировать и разводить генно-модифицированную пшеницу, разработанную аргентинской компанией BioceresCrop Solutions. Для того чтобы начать коммерческое использование в стране, Bioceres предстоит выполнить множество процедур, в том числе завершить полевые испытания, что займет несколько лет. Значимость признания сорта HB4 безопасным высока, так как это первый подобный шаг со стороны аграрного ведомства, отметили в Американской пшеничной ассоциации (USW). В мае компания Bioceres заявила о начале продаж семян HB4 аргентинским фермерам. Ранее в мире не существовало опыта коммерческого производства генно-модифицированной пшеницы.

Управление по контролю за продуктами и медикаментами США (FDA) завершило оценку пшеницы Bioceres в 2022 году и не выявило у компании никаких вопросов, касающихся безопасности продуктов, произведенных на основе генно-модифицированных культур.

На данный момент пшеница от Bioceres разрешена для производства кормов и пищевых продуктов в Нигерии, Бразилии, Колумбии, Индонезии и Южноафриканской Республике. Сорт HB4 уже возделывается в Аргентине и Бразилии. Однако такие крупные импортеры североамериканской пшеницы, как Мексика, Филиппины и Япония, пока не выдали разрешений на использование HB4.

В 2024 году китайские власти официально заявили об отсутствии рисков, связанных с культивированием генно-модифицированной пшеницы. Известно, что ранее уже были одобрены высокоурожайные трансгенные сорта кукурузы и сои, устойчивые к вредителям и гербицидам.

Одобрение генетически модифицированной пшеницы, устойчивой к болезням, рассматривается как значимый шаг в развитии этой технологии,

поскольку пшеница используется в производстве хлеба и макаронных изделий для употребления в пищу, а Китай является крупнейшим производителем и потребителем пшеницы в мире.

В 2024 году ожидается, что в Пекине введут новые правила по маркировке генетически модифицированных культур в пищевых продуктах.

В Австралии и Новой Зеландии регуляторные органы разрешили промышленное культивирование и употребление в пищу бананов сорта QCAV-4. Этот сорт, благодаря внедрению гена дикого банана, обладает резистентностью к панамской болезни, грибковому заболеванию, представляющему угрозу для банановых плантаций во всем мире. Согласно информации, опубликованной Квинслендским технологическим университетом, QCAV-4 является первым в мире генно-модифицированным бананом, получившим одобрение контролирующих организаций.

Группа исследователей из Соединенных Штатов и Кении пять лет назад успешно применили технологию CRISPR для редактирования генома африканского банана сорта GonjaManjaya. Целью было устранение вирусной ДНК, вызывающей болезнь банановых прожилок, которая губительно сказывается на урожае.

По состоянию на 2024 год, тройка лидеров по выращиванию генетически модифицированных культур выглядит следующим образом: США, Бразилия и Аргентина.

В Соединенных Штатах под ГМ-культуры отведено 71,5 млн гектаров, что составляет значительную часть (около 40%) всех обрабатываемых земель. В частности, 92% всего объема возделываемой кукурузы, 94% сои и 96% хлопка.

Активно использует генетически модифицированные организмы и Бразилия (52,8 миллионов гектаров). Основную долю занимают посевы сои (96% от общего объема ГМО-посевов), за которыми следуют кукуруза и хлопок. Аргентина занимает третье место с 24 млн гектаров, где также доминируют ГМ-соя и кукуруза. В число крупных производителей генетически модифицированных культур также входят Канада (12,5 млн гектаров, в

основном рапс, кукуруза и соя) и Индия (11,9 млн гектаров, преимущественно хлопок).

2.2 Анализ результатов использования ГМО продуктов

Мировое сообщество предпринимает действия для регулирования применения генетически модифицированных организмов и генетически модифицированных ингредиентов в пищевой промышленности. В частности, действует Картахенский протокол по биобезопасности, принятый 29 января 2000 года, в рамках Конвенции о биологическом разнообразии.

Результаты социологических исследований демонстрируют разное отношение к биотехнологиям в разных регионах мира. В Соединенных Штатах Америки около 75% населения считают применение биотехнологий важным достижением общества.

В то же время, в Европе 44% населения рассматривают их как потенциальную угрозу для здоровья. Оппоненты рекомбинантной ДНК, составляющие 30% в Европе и 13% в США, оценивают эту технологию как рискованную и неприемлемую с моральной точки зрения.

Во Франции высказывают мнение о недостаточной обоснованности преимуществ трансгенных кормовых и пищевых продуктов. Также отмечается, что существующая система маркировки продуктов, содержащих трансгенные компоненты, не обеспечивает потребителей исчерпывающей информацией о предлагаемой продукции.

Некоторые государства законодательно запретили реализацию пищевых продуктов с ГМИ или ввели ограничения на их продажу. При этом, причины таких мер не всегда подкреплены убедительными научными данными о вреде ГМО. В странах Европейского союза и в Российской Федерации установлено пороговое значение содержания ГМИ в пищевой продукции, при котором обязательна маркировка, указывающая на наличие этих компонентов. Этот порог составляет 0,9%.

В Российской Федерации запрещено коммерческое культивирование генетически модифицированных растений. Следовательно, все генетически модифицированное сырье, используемое в стране, поступает из-за рубежа. При этом, контроль за ввозом подобной продукции на территорию РФ ограничен.

В настоящий момент отсутствует нормативная документация, обязывающая поставщиков осуществлять обязательную сертификацию генетически модифицированных организмов (или генетически модифицированного сырья) при ввозе на таможенную территорию страны. Текущие правовые акты не содержат четких указаний относительно регулирования импорта и оборота трансгенного сырья [1, с.109].

Известно, что существуют различные методологии для определения наличия генетически модифицированных компонентов как в исходном сырье, так и в конечных пищевых продуктах, изготовленных с его использованием. Анализируются как сами генетически модифицированные растительные продукты, так и продукты, полученные в результате их переработки, которые могут содержать или не содержать измененные гены. Кроме того, учитывается процентное содержание трансгенных компонентов в готовых пищевых изделиях.

Анализ пищевых продуктов, имеющих генетически модифицированные аналоги, выявил наличие генетически модифицированных ингредиентов в ограниченном количестве образцов. Из 747 протестированных образцов, трансгенные ДНК молекулы были обнаружены только в 103 случаях.

Научное сообщество разделено во мнениях относительно широкого использования трансгенных организмов. В то время как одни исследователи выражают сомнения в целесообразности их массового применения, другие, напротив, убеждены, что за подобными растениями, животными и произведенной из них продукцией – перспективы развития сельского хозяйства и пищевой промышленности (рисунок 13).

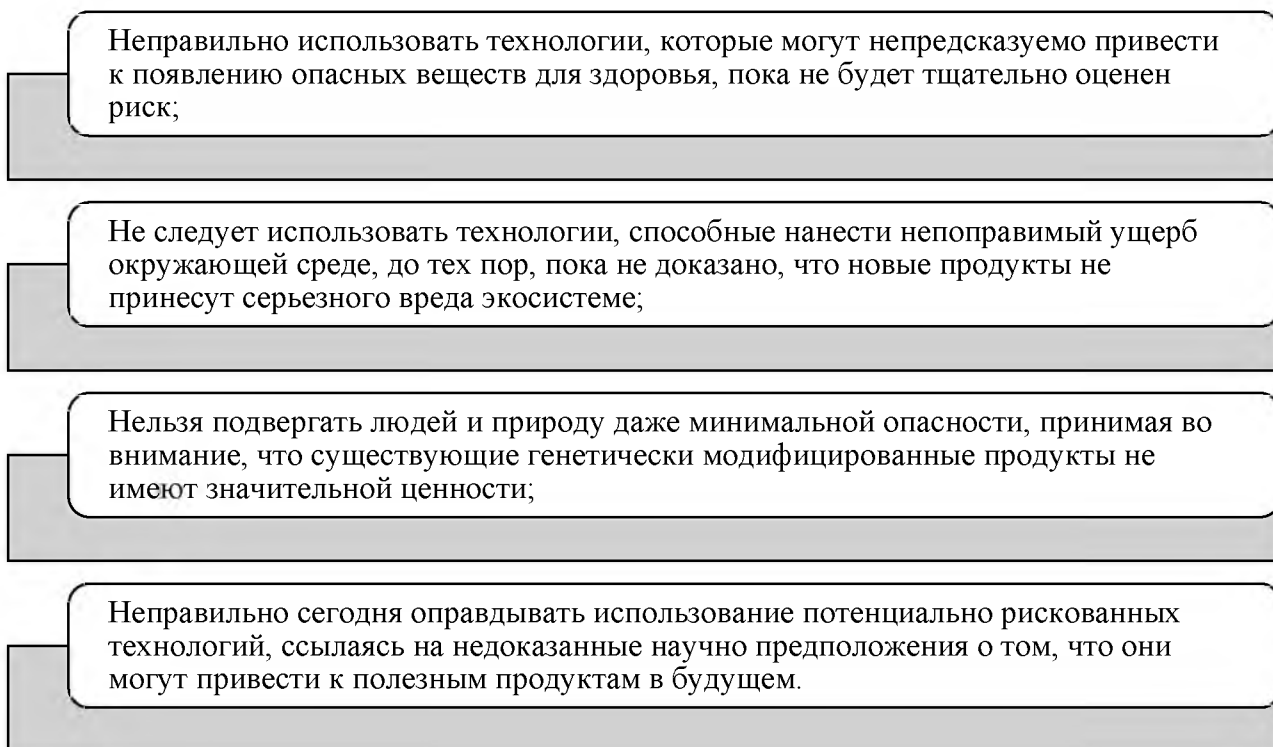


Рисунок 13 – Мнения против использования трансгенных организмов

В настоящее время, вопрос изучения и использования генетических ресурсов планеты, в частности, поиск естественных источников генетического материала, становится крайне важным. Это, в свою очередь, приводит к необходимости тщательного регулирования распространения генетически модифицированных организмов. Конечно, оценка безопасности ГМО в разных странах включает в себя два ключевых аспекта: исследование биобезопасности ГМО и анализ безопасности ГМО и произведенных из них продуктов питания для употребления в пищу. В Соединенных Штатах Америки, контроль за производством и введением в оборот трансгенных культур осуществляют Министерство сельского хозяйства (USDA), Агентство по охране окружающей среды (EPA) и Управление по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов (FDA) [15]. Методы контроля ГМО могут отличаться в зависимости от страны.

В ряде западных государств, за безопасностью рынка продовольствия следят независимые общественные организации, которым государство передает соответствующие полномочия.

В Российской Федерации вопросами обеспечения безопасности при создании, использовании, передаче и регистрации ГМО занимаются различные организации, включая Центр гигиенической сертификации и экспертизы, центр «Биоинженерия», Московский государственный университет (МГУ), Институт питания РАМН, Межведомственная комиссия по проблемам генно-инженерной деятельности, Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова и Московский научно-исследовательский институт гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана.

Хотя прямые доказательства вреда генетически модифицированных растений для здоровья человека отсутствуют, научное сообщество высказывает опасения относительно потенциальных изменений генетической информации человека и животных в долгосрочной перспективе. Непредсказуемость последствий такого воздействия служит причиной запрета импорта продуктов, содержащих ГМ-компоненты, в ряде стран Западной Европы.

В России сложилась противоречивая ситуация: разрешена продажа ГМ-содержащих продуктов после сертификации, но запрещено их выращивание. Российское законодательство в отношении ГМО считается строгим, однако, компоненты лекарств и косметики, полученные из трансгенных организмов, не подпадают под эти ограничения. По оценкам, ГМО в определенных количествах присутствуют примерно в 20% пищевых продуктов, хотя фактическая цифра может достигать 70%.

Россия импортирует генно-модифицированные добавки, сельскохозяйственное сырье и корма от более чем 50 зарубежных и отечественных компаний, а также от не установленного числа нелегальных поставщиков.

Общий объем поставок оценивается в 500 тыс. тонн в год, включая около 260 тыс. тонн кормов. Государственный мониторинг объемов, видов и безопасности импортируемого ГМ-сырья, продуктов и кормов не проводится. При этом отмечается значительный рост потока ГМ-продуктов в Россию в последние годы [3, с.22].

В отличие от большинства стран, трансгенные продукты в России не подлежат обязательной маркировке. В стране отсутствуют сертифицированные лаборатории для анализа продуктов на наличие трансгенов, а также независимые исследования безопасности ГМ-растений. Специалисты выражают обеспокоенность относительно нарушения экологического баланса, увеличения использования гербицидов на устойчивых к ним культурах, возможности передачи устойчивости к гербицидам сорнякам, появления резистентных к пестицидам вредителей, а также потенциального негативного воздействия на полезных насекомых и здоровье человека, связанного с аллергенностью чужеродных белков и генетического материала.

С целью предотвращения потенциальных негативных последствий, связанных с развитием генной инженерии, ЮНЕСКО в 1997 году приняла «Всеобщую декларацию о геноме человека и правах человека». Возможные риски, которые представляют трансгенные организмы для экологии и, следовательно, для здоровья человека, обусловлены следующими факторами: вытеснение естественных видов из их экологических ниш, что приводит к нарушению баланса в экосистемах; сокращение видового разнообразия; неконтролируемый перенос генетического материала от трансгенных организмов к природным, что потенциально может вызвать активацию известных патогенов или образование новых.

В настоящее время существуют четыре основные методологические причины, которые ставят под сомнение целесообразность разработки и применения генно-модифицированных организмов и продуктов питания, полученных из них:

- Невозможно контролировать распространение ГМО и их продуктов в окружающей среде. Пыльца генетически модифицированных растений переносится насекомыми-опылителями на расстояния до нескольких десятков километров, а ветром и водой – на сотни километров. Например, пыльца ГМ-рапса была обнаружена на поле генетически чистого сорта на расстоянии 5 км, а в образцах меда, собранного пчелами, – до 11 км.

– Технология создания ГМО сопряжена с рисками. Внедрение чужеродного гена в ДНК организма-хозяина осуществляется с использованием бактерии-переносчика. При этом невозможно точно предсказать место встраивания гена в хромосоме.

– ГМО могут приобретать не только запланированные свойства, но и непредсказуемые, неблагоприятные характеристики, представляющие опасность.

– Отсутствуют надежные методы для оценки последствий распространения ГМО и их производных для окружающей среды и человека. Для выявления всех потенциальных угроз, связанных с ГМО, необходимо всестороннее изучение влияния их культивирования и разведения на различные условия, а также воздействия ГМ-продуктов на все группы живых организмов, с учетом возможных генетических, тератологических, иммунологических и эндокринологических изменений в различных системах органов всех этнических и половозрастных групп населения. Проведение подобных исследований в настоящее время не представляется возможным ни теоретически, ни практически.

Главным образом, были определены следующие категории потенциальных угроз, связанных с распространением генетически модифицированных организмов и продуктов, полученных из них, для здоровья человека и окружающей среды (рисунок 14):

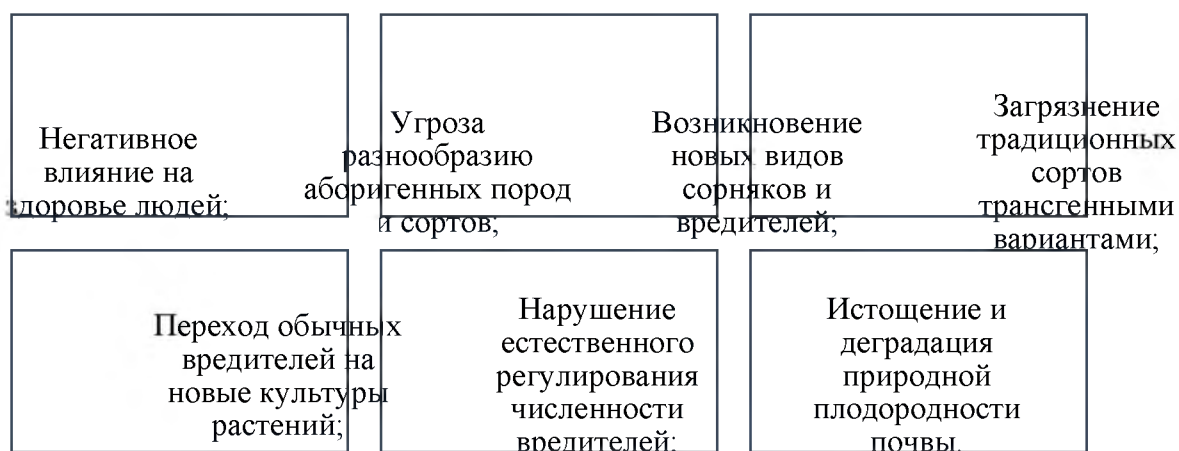


Рисунок 14 – Риски, связанные с распространением трансгенных организмов

При культивировании генетически модифицированных сортов сельскохозяйственных культур существуют определенные агротехнические риски, которые следует учитывать (рисунок 15).

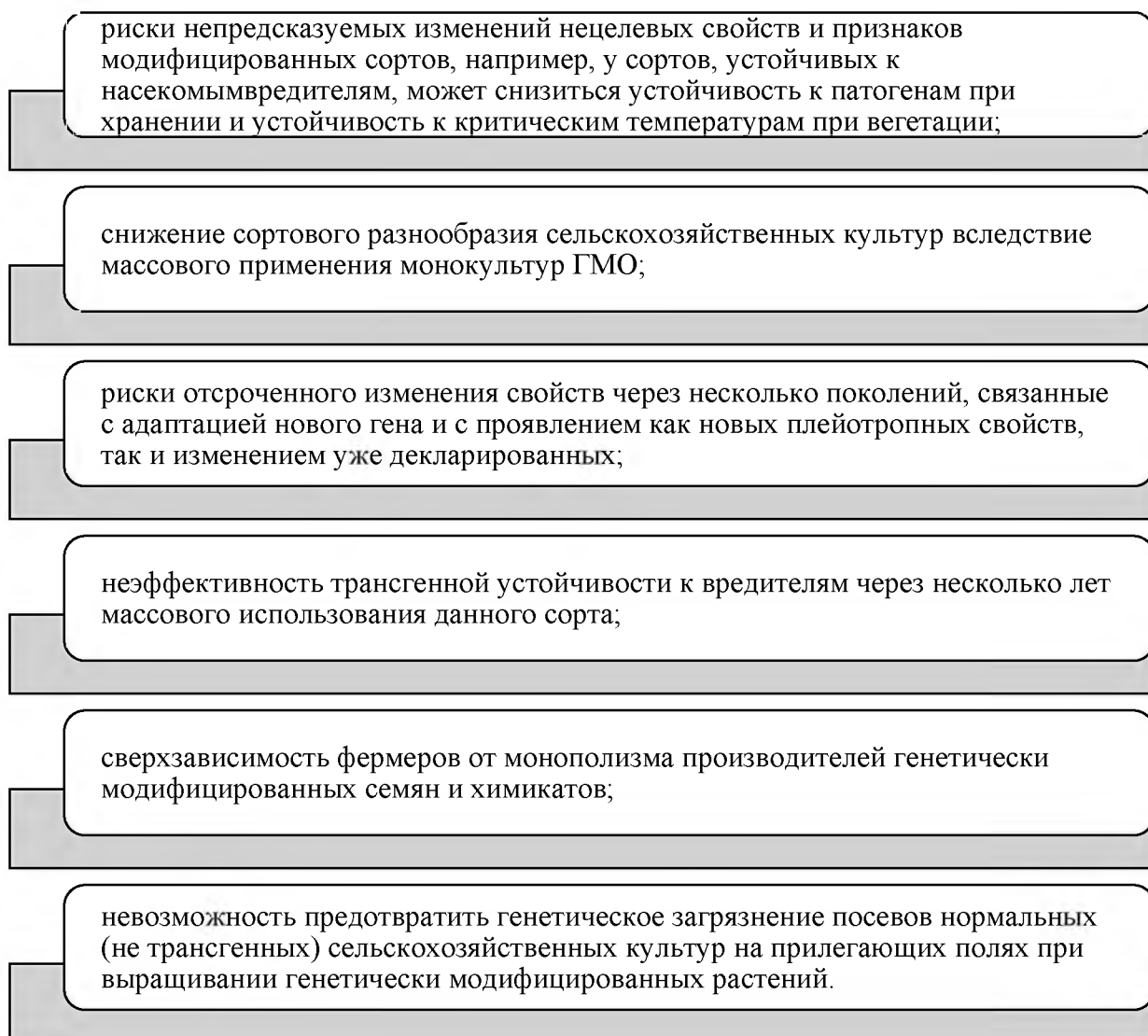


Рисунок 15 – Агротехнические риски, вызванные выращиванием трансгенных сортов

Вместе с тем, результаты ряда независимых российских исследований указывают на потенциальные угрозы, связанные с включением генетически модифицированных продуктов в рацион питания. Недавние изыскания отечественных ученых, в частности доктора биологических наук И. Ермаковой из Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, при изучении влияния трансгенной сои на крыс, и М. Коноваловой из Саратовского

аграрного университета, исследовавшей воздействие генно-модифицированной кукурузы на мышей, показали, что добавление данных культур в корм вызывает у подопытных животных увеличение агрессивного поведения, ослабление или исчезновение материнского инстинкта, случаи каннибализма по отношению к потомству, повышение уровня смертности среди новорожденных в первом поколении, а также репродуктивные проблемы, приводящие к отсутствию второго и третьего поколений.

Несмотря на активное внедрение генетически модифицированных сортов в сельское хозяйство, существуют негативные примеры их использования в кормопроизводстве для животных. Например, исследования Д. Кармана из Австралии выявили, что у свиней, питавшихся генетически измененными соей и кукурузой, частота тяжелых форм воспаления слизистой оболочки желудка возрастала в три раза по сравнению с контрольной группой, получавшей традиционный корм. Кроме того, было зафиксировано аномальное увеличение размеров матки у самок, что поднимает вопрос о возможной корреляции между употреблением ГМО и нарушениями в работе репродуктивной системы.

В ходе экспериментов в Белтсвилле (США) некоторые трансгенные свиньи демонстрировали негативные побочные эффекты, такие как вялость, потеря аппетита и предрасположенность к артриту. Значительная часть этих животных не проживала и года. Однако, подобные негативные последствия не являются неизбежными для всех трансгенных организмов. Примером тому служит трансгенный кролик в Швейцарии, достигший необычно преклонного для кроликов возраста – 10 лет.

В 1998 году в США был одобрен к использованию в качестве корма сорт кукурузы, генетически модифицированный для производства токсина CRY9C от бактерии *Bacillus thuringiensis*. Этот белок, предназначенный для борьбы с кукурузным червем, оказался потенциальным аллергеном для человека, поскольку сохраняет стабильность при повышенных температурах и может спровоцировать аллергическую реакцию, потенциально приводящую к анафилактическому шоку [5, с.48].

Генно-модифицированные культуры представляют собой одну из самых стремительно развивающихся технологий в истории современного сельского хозяйства. Первыми генетически модифицированными растениями, которые начали продаваться в США, стали помидоры FLAVR SAVR, созданные для увеличения срока хранения и уменьшения размягчения плодов. Однако они не оправдали ожиданий, и компания Calgene прекратила их продажу.

По состоянию на 2020 год, 28 стран ежегодно возделывали почти 200 миллионов гектаров генетически модифицированных растений, что в 113 раз больше по сравнению с 1996 годом, когда площадь их выращивания составляла 1,7 миллиона гектаров (таблица 6).

Таблица 6 – Год, когда страны коммерциализировали свою первую биотехнологическую культуру.

Год	Страна	Культура
1992	Китай	Табак
1994	США	Помидор
1996	Канада	Рапс
1996	Аргентина	Соя
1996	Австралия	Хлопок
1996	Чили	Кукуруза
1996	Мексика	Соя
1998	ЮАР	Хлопок
1998	Испания	Кукуруза
1998	Франция	Кукуруза
1999	Германия	Кукуруза
1999	Португалия	Кукуруза
1999	Румыния	Соя
1999	Украина	Картофель
2000	Уругвай	Соя
2001	Индонезия	Хлопок
2002	Индия	Хлопок
2002	Гондурас	Кукуруза
2002	Болгария	Кукуруза
2003	Бразилия	Соя
2003	Колумбия	Хлопок
2003	Филиппины	Кукуруза
2003	Парагвай	Соя
2005	Чехия	Кукуруза
2005	Иран	Рис

Продолжение таблицы 6

2006	Словакия	Рис
2007	Польша	Кукуруза
2008	Буркина-Фасо	Хлопок
2008	Египет	Кукуруза
2008	Боливия	Соя
2009	Коста Рика	Хлопок
2010	Швеция	Картофель
2010	Пакистан	Хлопок
2010	Мьянма	Хлопок
2012	Судан	Хлопок
2012	Куба	Кукуруза
2014	Бангладеш	Баклажан
2015	Вьетнам	Кукуруза
2018	Эсватини	Хлопок
2020	Нигерия	Хлопок
2020	Кения	Хлопок

В то время как большинство государств активно используют генную инженерию в сельском хозяйстве, 13 стран полностью отказались от выращивания генетически модифицированных культур.

Примером может служить Буркина-Фасо, где в 2015 году, под влиянием политического давления, было прекращено культивирование ГМ-хлопка, устойчивого к насекомым. Это привело к тому, что местные фермеры стали чаще использовать пестициды и столкнулись с увеличением затрат на производство.

В противоположность этому, Китай активно рассматривает возможность одобрения широкого спектра ГМ-растений и импортирует значительные объемы ГМ-продукции, однако пока разрешает своим фермерам выращивать лишь ограниченное количество генетически модифицированных культур. При этом, наибольшая доля мирового производства ГМ-культур (около 90%) приходится всего на пять стран: США, Канаду, Бразилию, Аргентину и Индию [11, с.51].

К 2030 году, по оценкам экспертов, около трети мирового экономического производства в химической промышленности, 80%

фармацевтических препаратов и половина сельскохозяйственной продукции будут создаваться с применением новейших методов трансгенных технологий.

В настоящее время доля Российской Федерации в общем мировом объеме производства биотехнологической продукции составляет менее 0,2%, что значительно ниже показателя в 5%, зафиксированного 25 лет назад. В то же время, Соединенные Штаты Америки обеспечивают 42% мирового производства, страны Европейского союза – 22%, Китай – 10%, а Индия – 2%.

3 Влияние ГМ-культур на здоровье человека и окружающую среду и предполагаемые риски

Перед тем как выпустить генетически модифицированные продукты на рынок, исследователи проводят многолетние испытания. Они внимательно изучают поведение трансгенов и продуктов генной экспрессии, чтобы выяснить, не вызывают ли они аллергии или отравления. Согласно международным нормам, каждый такой товар должен проходить строгие проверки на безопасность для человека, животных и экосистемы.

Существует множество исследований, подтверждающих безопасность трансгенных продуктов. Например, в докладе Национальных академий наук, техники и медицины США, опубликованном в 2016 году, указано, что эти продукты не опасны для человека. Авторы проанализировали более 900 научных статей, опросили 80 специалистов из разных областей и привлекли 26 экспертов для рецензирования документа. Все изученные исследования касались двух категорий ГМ-растений: устойчивых к насекомым и к пестицидам. Данные за последние два десятилетия показали, что эти сельскохозяйственные культуры не оказали негативного влияния на людей и животных, которые их употребляли.

В настоящее время большая часть генетически модифицированных культур используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных. В связи с этим, было проведено значительное количество исследований, направленных на изучение воздействия ГМО на генетический материал скота. Эти исследования не выявили каких-либо изменений в ДНК животных или в уровнях реактивных белков. Более того, трансгенные элементы не были обнаружены в продуктах животноводства, полученных от животных, употреблявших ГМ-корма. Например, куры, питающиеся ГМ-зерном, не несут генетически модифицированные яйца.

Несмотря на это, противники широкого распространения ГМО высказывают опасения, что негативные последствия для здоровья человека

могут проявиться в долгосрочной перспективе и быть необратимыми. Однако, научные данные свидетельствуют о том, что миллионы людей по всему миру употребляют ГМ-продукты на протяжении более 15 лет, и за это время не было зафиксировано каких-либо связанных с этим негативных эффектов.

Влияние ГМ-продуктов на различные организмы неоднократно изучалось как производителями ГМО, так и независимыми исследовательскими группами. Подавляющее большинство этих исследований подтверждает безопасность генетически модифицированных организмов.

Прежде чем попасть на рынок, все генетически модифицированные растения подвергаются строжайшим проверкам безопасности, как для здоровья человека, так и для экологии.

Этот процесс, включающий множество этапов, делает разработку и коммерциализацию нового ГМ-растения крайне дорогостоящим предприятием, требующим инвестиций в десятки и даже сотни миллионов долларов. Некоторые ученые считают парадоксальным тот факт, что ГМ-культуры проходят всесторонние и многократные проверки безопасности, в то время как традиционные сорта, полученные путем селекции, не подвергаются никакому контролю.

Несмотря на это, главный аргумент противников ГМО заключается в недостаточном периоде наблюдения для окончательной оценки их безопасности. Они опасаются, что долгосрочные негативные последствия могут проявиться в будущих поколениях. Однако, исследования на модельных организмах с коротким жизненным циклом, таких как мыши и крысы, не выявили отдаленных генетических нарушений, связанных с употреблением ГМО.

Также, хорошо известно, что ГМ-растения оказывают влияние на окружающую среду. Существует риск переноса генетического материала из ГМ-растений в другие организмы, в том числе в родственные растения через пыльцу, что может привести к генетическому загрязнению природных популяций [9, с.186].

Генетически модифицированные растения, обладая повышенной конкурентоспособностью, могут вытеснять аборигенные сорта, что грозит сокращением или полным исчезновением диких разновидностей. Это приведет к обеднению биоразнообразия, усилению устойчивости отдельных видов сорняков и доминированию одних над другими, что в конечном итоге нарушит баланс в экосистемах.

Научное сообщество подчеркивает необходимость дальнейших исследований для более точной оценки потенциальных рисков и преимуществ, связанных с использованием трансгенных культур.

Помимо непосредственного распространения ГМ-растений, существует риск гибридизации с дикими видами и близкородственными организмами. Это может привести к распространению введенных генов в диких популяциях. Кроме того, перенос генов между различными видами возможен через бактерии и вирусы.

В настоящее время реализуются исследовательские проекты, такие как «TransContainer», направленные на разработку методов контроля распространения трансгенов в дикой природе.

Сегодня основным негативным последствием, о котором сообщается, являются аллергические реакции у людей. Поскольку ГМ-продукты были разработаны относительно недавно, отсутствуют долгосрочные и убедительные исследования по их аллергенным свойствам. Аллергия на генетически модифицированные продукты может проявляться более сильно и опасно, поскольку их аллергический потенциал выше по сравнению с обычными растениями [10, с.253].

Принципы, используемые в производстве и распространении трансгенных организмов:

- Принцип существенной эквивалентности (СЭ) гласит, что если генетически модифицированный продукт включает ингредиенты, которые, по сути, аналогичны тем, что содержатся в натуральных продуктах, то дополнительные меры безопасности не требуются. Таким образом, принцип СЭ

является наиболее простым методом для оценки ГМ-продуктов и выявления потенциальных рисков (например, наличия аллергенов из новых белков).

- Принцип предосторожности предполагает, что любой новый генетически модифицированный продукт не должен поступать на рынок, если отсутствуют надежные доказательства его безопасности или если существуют серьезные разногласия среди ученых относительно его безопасного употребления.

- Гарантийная оговорка предоставляет странам Европейского Союза возможность ограничивать или запрещать продажу ГМ-культур.

- Продукты питания, созданные с применением генной инженерии, требуют особого обозначения, информирующего потребителей о наличии генетически модифицированных компонентов. Однако вопрос маркировки является сложным и зависит от законодательства страны, производителя и используемых принципов.

В таких странах, как Соединенные Штаты Америки, Канада, Аргентина и Филиппины, действует система добровольной маркировки. Государственное регулирование в этой области отсутствует, и производители сами принимают решение о том, указывать ли наличие генетически модифицированных ингредиентов в своей продукции. Такая система обусловлена различными факторами, включая экономические соображения и сложность определения наличия ГМО в конечных продуктах. Однако, если пищевая ценность, качество или аллергенные свойства ГМ-продуктов заметно отличаются от традиционных аналогов, требуется соответствующее пояснение.

В то же время Россия, Япония, Республика Корея, Таиланд и ряд других стран используют обязательную маркировку в соответствии с идентификационным реестром ГМО. Если содержание ГМ-ингредиентов превышает установленный порог, продукция должна быть маркирована. Например, в России применяется Сводный государственный реестр генетически модифицированных организмов, который охватывает также продукты, содержащие такие организмы и ввозимые в страну. В Японии

маркировка обязательна, если продукт содержит более 5% ингредиентов на основе ГМО. Республика Корея тоже реализовала систему обязательного обозначения, при которой необходимо маркировать продукты, если содержание ГМО в пяти наибольших ингредиентах превышает 3% [13, с.382].

Европейский союз и Бразилия ввели систему количественной обязательной маркировки, не создавая идентификационного реестра. Если в продукте обнаружены генетически модифицированные ингредиенты, и их содержание превышает установленный порог, продукт подлежит маркировке. В странах Европейского союза такой порог составляет более 0,9% ГМ-ингредиентов, а в Бразилии — 1,0%.

Слаженные действия государств и международные соглашения способствуют регуляции использования генетических ресурсов, учитывая экологические, социальные и экономические интересы всего мирового сообщества.

Картахенский протокол по биобезопасности является соглашением, которое контролирует перемещение генетически модифицированных организмов между странами. Он предназначен для того, чтобы предоставить странам необходимую информацию для принятия обоснованных решений о ввозе ГМО. Его основная цель — охрана глобального биоразнообразия путем установления строгих правил для передачи генетически модифицированных продуктов.

Картахенский протокол был принят 29 января 2000 года в Монреале и вступил в силу в сентябре 2003 года. Он установил процедуру предварительного обоснованного согласия, которая гарантирует, что страны имеют всю необходимую информацию для осознанного выбора в отношении импорта ГМО. Кроме того, был создан Информационный центр по биобезопасности для облегчения обмена данными о ГМО.

На 2024 год данный протокол был ратифицирован 173 государствами, включая 170 стран — членов ООН, а также Государство Палестина, Ниуэ и Европейский Союз.

Нагойский протокол направлен на регулирование доступа к генетическим ресурсам и справедливое распределение выгод от их использования. Его цель — обеспечить равное совместное использование выгод от генетических ресурсов и содействовать сохранению и устойчивому использованию биоразнообразия.

В конце 1980-х годов обеспокоенность общественности по поводу потенциального влияния генетически модифицированных организмов на здоровье человека значительно возросла. Это побудило страны Европейского союза к разработке законодательства, регулирующего использование ГМО. Первым шагом стала Европейская директива, касающаяся контролируемого использования генетически модифицированных микроорганизмов (ГММ).

Эта директива была принята с целью обеспечения безопасности при проведении генно-инженерных работ, что являлось приоритетной задачей ЕС. Для достижения этой цели были установлены правила оценки и управления рисками, связанными с ГМО. Директива также гарантировала безопасность персонала, работающего в лабораториях и на предприятиях, занимающихся генной инженерией. Особое внимание уделялось выявлению любых потенциальных рисков для окружающей среды и разработке мер по предотвращению и контролю случайного выброса ГМО в окружающую среду.

Заключение

В новом докладе Института мировых ресурсов подчеркивается, что генетически модифицированные продукты станут важным средством для обеспечения продовольствия мировой популяции, которая, по прогнозам, достигнет 10 миллиардов человек к 2050 году. Ученые предупреждают, что для успешного производства достаточного количества пищевых продуктов, необходимого для растущего населения, людям следует принять и реализовать новые технологии. Они акцентируют внимание на том, что ГМО — это одна из технологий, которая должна быть включена в решения данного вопроса. Доклад, подготовленный в сотрудничестве с Программой развития ООН и Программой ООН по окружающей среде, рассматривает несколько возможных решений, включая методы генной инженерии. Проблема нехватки продовольствия имеет сложные социально-экономические и политические аспекты. Важнейшим фактором, способным повлиять на эту проблему, является соотношение между ростом мирового спроса и увеличением урожайности основных культур, таких как зерновые, а также кормов и скота, включая рыбу. Для стабилизации возникающих проблем необходим комплексный подход [4, с.23].

Ключевой этический вопрос, связанный с выращиванием ГМ-растений, заключается в том, что их создание представляет собой вмешательство в естественные процессы жизни. Возникает дилемма, как найти баланс в использовании генно-модифицированных продуктов, учитывая, что разные страны по-разному воспринимают важность связанных с этим рисков. Также в решение данного вопроса вовлечены политики, компании и производители пестицидов, что затрудняет полностью объективную оценку как преимуществ, так и рисков.

В природе обмен генетическим материалом между видами — обычное явление, известное как горизонтальный перенос генов. Этот процесс, иногда включающий передачу крупных фрагментов ДНК, происходит естественным

образом. Кроме того, существуют организмы-паразиты, такие как *Agrobacteriumtumefaciens*, которые активно изменяют генетический код своих хозяев.

Учитывая это, генетическая модификация, осуществляемая человеком, не является чем-то принципиально новым или «неестественным». Масштабы человеческого вмешательства в геном живых существ несопоставимо малы по сравнению с природными процессами. Сторонники этой точки зрения подчеркивают, что те же аргументы можно применить и к традиционным селекционным сортам растений, которые, в отличие от ГМО, не вызывают столь бурных дискуссий.

Некоторые ученые полагают, что внедрение генетически модифицированных организмов может внести значительный вклад в улучшение экологической обстановки и решение проблемы сокращения биоразнообразия. Этого можно достичь за счет повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий, сокращения использования пестицидов и других подобных мер.

1. Трансгенные культуры демонстрируют значительный потенциал в повышении урожайности и устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды. Например, засухоустойчивая аргентинская пшеница HB4 позволила увеличить урожай на 20%, что подчеркивает роль ГМО в решении проблем, связанных с изменением климата и обеспечением продовольственной безопасности. Благодаря генетической модификации растения лучше противостоят болезням, вредителям и экстремальным погодным явлениям, что особенно важно в условиях меняющегося климата и роста населения планеты.

2. Внедрение ГМ-культур может способствовать снижению затрат на сельскохозяйственное производство за счет уменьшения потребности в использовании пестицидов, гербицидов и других химических веществ. Например, выращивание Bt-хлопка и сои, устойчивых к вредителям, позволяет сократить применение пестицидов в среднем на 37%. Это не только экономически выгодно, но и способствует снижению негативного воздействия

на почву и водные ресурсы. В странах, таких как США и Бразилия, широкое распространение таких культур привело к существенному увеличению доходов в аграрном секторе. В развивающихся странах, например, в Индии и Бангладеш, трансгенные культуры (такие как Bt-хлопок и баклажаны) помогли фермерам увеличить прибыль и уменьшить зависимость от пестицидов. Однако пример Буркина-Фасо, где отказ от ГМ-хлопка привел к увеличению затрат на химикаты, подтверждает экономическую целесообразность использования ГМ-культур при их правильном внедрении.

3. Некоторые генно-модифицированные культуры разрабатываются с целью улучшения их питательной ценности, например, путем обогащения витаминами и минералами. Ярким примером является «золотой рис», содержащий повышенное количество витамина А. Этот проект направлен на борьбу с дефицитом витамина А в развивающихся странах и демонстрирует, что ГМО могут играть важную роль в решении проблем, связанных с недостатком питательных веществ в регионах с ограниченными ресурсами.

4. Несмотря на преимущества, существуют опасения относительно влияния ГМО на биоразнообразие. Например, в Мексике было обнаружено генетическое загрязнение диких сортов кукурузы, что подчеркивает необходимость строгого контроля за распространением трансгенных организмов и проведения дальнейших исследований для оценки их долгосрочного воздействия. Необходимо продолжать научные исследования для оценки долгосрочных последствий использования ГМ-культур для экосистем и разработки мер по минимизации возможных негативных эффектов.

5. Эффективность использования ГМ-культур во многом зависит от контекста их применения, включая местные агроклиматические условия, социально-экономические факторы и нормативно-правовую базу. Поэтому перед внедрением ГМ-культур в сельскохозяйственные системы важно проводить тщательный анализ и оценку. Например, в Австралии разрешено выращивание бананов сорта QCAV-4, устойчивых к грибковым инфекциям, что особенно актуально для регионов, где панамская болезнь угрожает урожаю.

Однако в других странах, таких как Россия, сохраняется запрет на коммерческое использование ГМО из-за регуляторных ограничений.

6. Для гарантии безопасности и пользы генетически модифицированных культур необходимо продолжать научные изыскания, оценивающие их влияние на здоровье людей и состояние окружающей среды. Несмотря на то, что большинство исследований, включая пример с ГМ-кукурузой, которая снижает уровень опасных микотоксинов, подтверждают безопасность ГМО, важно не прекращать отслеживание возможных аллергических реакций и последствий для экологии. Спорные результаты экспериментов Сералини на крысах подчеркивают необходимость прозрачности и строгого соблюдения методологии в подобных исследованиях.

7. Ведущие страны по выращиванию ГМ-культур, такие как США, Бразилия и Аргентина, демонстрируют, что их использование может значительно повысить продуктивность сельского хозяйства. Однако в России и странах Евросоюза действуют более жесткие ограничения, что отражает разные подходы к регулированию этой сферы. Например, в России с 2023 года коммерческое выращивание ГМ-семян запрещено, за исключением случаев, связанных с научными исследованиями. Это свидетельствует о том, что политические и общественные настроения играют важную роль в решениях, касающихся применения биотехнологий.

8. Современные методы генной инженерии, включая CRISPR и агробактериальную трансформацию, позволяют создавать растения с желаемыми характеристиками гораздо быстрее, чем традиционные методы селекции. Например, американские ученые смогли увеличить урожайность сои на 25% с помощью редактирования генов, значительно ускорив процесс, который в обычной селекции занял бы десятилетия. Это доказывает, что ГМ-технологии открывают новые перспективы для адаптации сельского хозяйства к изменяющимся условиям.

9. Помимо сельского хозяйства, ГМ-организмы находят применение в производстве лекарственных препаратов (например, инсулина) и

биоразлагаемых материалов. В США, например, разрешено выращивание ГМ-рапса с измененным составом масла, которое используется в косметической промышленности и в качестве биотоплива. Это расширяет область применения биотехнологий и демонстрирует их потенциал для устойчивого развития различных секторов экономики.

Список литературы

1. Агафонов, В. Б. Правовые проблемы этикетирования пищевых продуктов, содержащих компоненты, полученные с применением генно-инженерно-модифицированных организмов / В. Б. Агафонов // Пробелы в российском законодательстве. — 2021. — Т. 14, № 1. — С. 109–113.
2. Анисимов, А. П. Правовое регулирование использования ГМО в сельском хозяйстве: дискуссионные вопросы / А. П. Анисимов, О. В. Попова // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки. — 2017. — № 3. — С. 21–29.
3. Донник, И. М. Правовое регулирование генно-инженерной деятельности в Российской Федерации / И. М. Донник, Б. А. Воронин // Аграрный вестник Урала. — 2017. — № 2 (156). — С. 20–26.
4. Ессенова, Э. М. Новые технологии в решении экологических проблем / Э. М. Ессенова, Г. А. Юн // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения. — 2022. — С. 21–23.
5. Иксанова, Н. К. Последствия использования генно-модифицированных продуктов / Н. К. Иксанова. — Мир науки, 2016. — 72 с.
6. Кнауб, Ю. В. Нормативно-правовое регулирование ГМО в РФ / Ю. В. Кнауб, Е. С. Вайскрובה // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров. — 2018. — С. 160–163.
7. Кравчук, Н. В. Регулирование генетически модифицированных организмов в Европейском союзе: необходимость корректировки законодательства очевидна / Н. В. Кравчук // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 4, Государство и право: Реферативный журнал. — 2022. — № 4. — С. 83–95.
8. Манойлина, С. З. Есть ли в России генномодифицированные продукты? / С. З. Манойлина, Т. Н. Тертычная, А. М. Коротнев // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК. — 2020. — С. 79–84.

9. Миськевич, С. В. Вредность генетически модифицированных организмов (ГМО) / С. В. Миськевич, И. О. Кривенко // Вестник международных научных конференций. — 2015. — № 5. — С. 186–189.
10. Миськевич, С. В. Распространение и риски использования генетически модифицированных организмов (ГМО) / С. В. Миськевич, Ю. В. Суртаева // Вестник международных научных конференций. — 2015. — № 5. — С. 253–256.
11. Новикова, Р. Г. Правовое регулирование в области оборота генно-модифицированных организмов (ГМО) в России и зарубежных государствах / Р. Г. Новикова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. — 2021. — Т. 25, № 1. — С. 32–66.
12. Панфилова, Л. Н. Генетически модифицированные организмы / Л. Н. Панфилова // Природные и техногенные риски. — 2015. — С. 29.
13. Пулатова, Л. Т. Использование ГМО и методы контроля по обеспечению продовольственной безопасности / Л. Т. Пулатова, Д. Б. Бабаханова // Science and innovation. — 2024. — Т. 3, № Special Issue 45. — С. 382–386.
14. Сидорова, К. А. Санитарно-экологическая оценка пищевой продукции на ГМО / К. А. Сидорова [и др.] // Естественные и технические науки. — 2020. — № 1. — С. 56–60.
15. Сотникова, Н. М. Проблемы биобезопасности генетически модифицированных организмов / Н. М. Сотникова // Межотраслевые исследования как основа развития научной мысли. — 2022. — С. 14–16.
16. Татаренко, Л. А. Правовые режимы биотехнологии (международный и национальный аспекты) / Л. А. Татаренко // Государство и право в изменяющемся мире. — 2016. — С. 1098–1102.
17. Терешанцев, С. А. ГМО как глобальный вызов человеку и обществу в условиях дефицита продовольствия / С. А. Терешанцев, Е. Д. Ярошук // Поколение будущего: взгляд молодых ученых-2017. — 2017. — С. 206–208.
18. Терещенко, А. Д. Международно-правовое регулирование

биотехнологий: международное право и российское законодательство / А. Д. Терещенко // Эволюция российского права. — 2018. — С. 89–91.

19. Тутельян, В. А. Обеспечение безопасности генно-инженерно-модифицированных организмов для производства пищевых продуктов / В. А. Тутельян // Вестник Российской академии наук. — 2017. — Т. 87, № 4. — С. 342–347.

20. Фадеева, К. А. Генетически модифицированные организмы (ГМО) / К. А. Фадеева // В мире научных открытий. — 2021. — С. 202–205.

21. Федотов, Н. Л. Влияние ГМО на генофонд человека / Н. Л. Федотов, Д. Г. Осипов, А. А. Польшов // РОСТ-Развитие, Образование, Стратегии, Технологии. — 2019. — С. 269–273.

22. Хасанова, Д. А. Воздействие генно-модифицированных продуктов на человеческий организм (обзор литературы) / Д. А. Хасанова, Ш. Ж. Тешаев // Биология и интегративная медицина. — 2020. — № 5 (45). — С. 5–19.

23. Царева, П. С. Правовое регулирование достижений в области генно-инженерной деятельности и биотехнологий / П. С. Царева // LawAfterknown: право за гранью обыденного: материалы III Международного молодежного юридического форума. — Тюмень, 2024.

24. Чурочкина, А. А. Международно-правовые аспекты защиты прав человека в контексте развития биотехнологий и генетики / А. А. Чурочкина // Закон и право. — 2024. — № 5. — С. 3.

25. Юсуфова, К. С. Исследования безопасности генетически модифицированных организмов / К. С. Юсуфова // Актуальные проблемы развития науки в современном мире. — 2021. — С. 266–271.