Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Факультет биологии и биотехнологии

Кафедра молекулярной биологии и генетики

Дисциплина «Биоэтика»

Лекция 8

Этические аспекты создания и использования ГМО

Трансгенные растения и микроорганизмы, оценка биобезопасности, Картахенский протокол и методы детекции ГМО

Автор: Амирова Айгуль Кузембаевна, к.б.н., ассоциированный профессор
Электронная почта: aigul_amir@mail.ru

Цель и структура лекции

Цель: сформировать объективную научную и биоэтическую оценку рисков, пользы и правового регулирования ГМО

КЛЮЧЕВОЙ ФОКУС

План и модули лекции

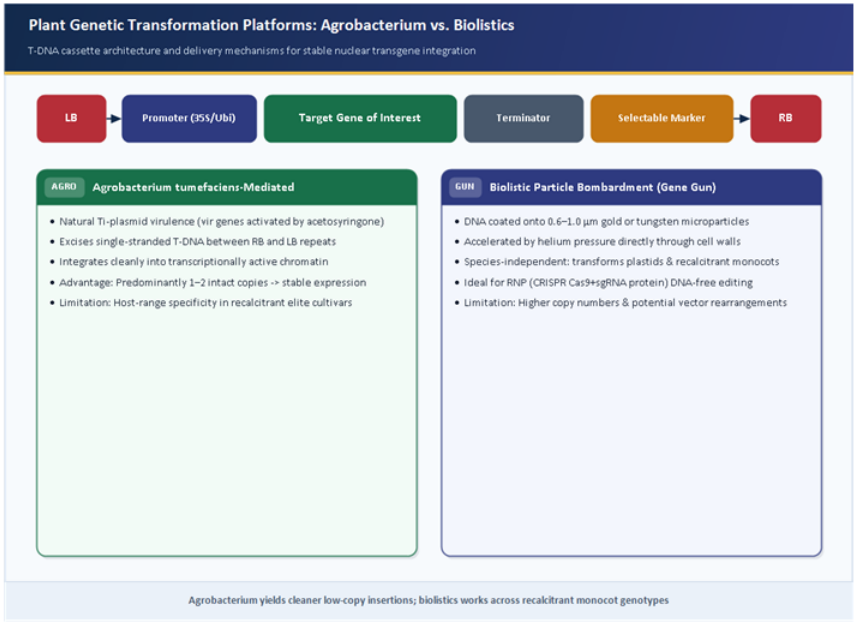
Структура вопроса:
1. Понятие ГМО
2. Поколения ГМ-культур
3. ГМ-микроорганизмы
4. Глобальная статистика
5. Риски и детекция
6. Право и маркировка

- **Понятие ГМО:** Технология рекомбинантной ДНК и перенос целевых генов
- **Поколения ГМ-культур:** 1-е (агропризнаки), 2-е (биофортификация), 3-е (биофарминг)
- **ГМ-микроорганизмы:** Ферменты пищевой промышленности, инсулин и функциональные продукты
- **Глобальная статистика:** Масштабы мирового выращивания ГМ-культур (>206 млн га)
- **Риски и детекция:** Пищевые и экологические риски; методы ИФА и ПЦР контроля
- **Право и маркировка:** Картахенский протокол, порог 0,9% и Закон РК о биобезопасности

Понятие ГМО и технология получения трансгенных организмов

Генетически модифицированный организм — организм с целенаправленно измененным генотипом методом генной инженерии

- **1. Выделение гена:** Клонирование или синтез целевого гена (напр., Bt-токсина или устойчивости)
- **2. Векторная конструкция:** Сборка плазмиды: промотор (35S CaMV), целевой ген, терминатор и маркер
- **3. Трансформация:** Введение конструкции (Agrobacterium tumefaciens или «генная пушка»)
- **4. Отбор и регенерация:** Культивирование на селективных средах, регенерация и молекулярный скрининг



Понятие ГМО и векторы для получения трансгенных организмов

Отличие от традиционной селекции: точечное введение 1–3 известных генов (в том числе из неродственных видов) вместо случайного смешивания тысяч генов.

Три поколения генетически модифицированных растений (ГМП)

Эволюция задач сельскохозяйственной биотехнологии

КЛЮЧЕВОЙ ФОКУС

Систематизация

Сфокусируйтесь на ключевых механизмах и практическом значении темы.

- **1-е поколение:** Агрономические признаки: устойчивость к гербицидам (HT) и вредителям (Bt), вирусам — Соя Roundup Ready, кукуруза и хлопчатник Bt, вирус-устойчивая папайя — Фермеры и агросектор (снижение потерь урожая и пестицидов)
- **2-е поколение:** Биофортификация и пищевая ценность: витамины, аминокислоты, жирные кислоты — «Золотой рис 2» (β-каротин), высокоолеиновая соя, кукуруза с лизином/метионином — Потребители (борьба со скрытым голодом и дефицитом нутриентов)
- **3-е поколение:** Биофарминг и устойчивость к изменению климата (засуха, засоление) — Растения — продуценты антител, вакцин, ферментов; засухоустойчивая пшеница HB4 — Медицина, промышленность и продовольственная безопасность

Генетически модифицированные микроорганизмы (ГММ) и функциональные продукты

Широко используемые в пищевой индустрии и медицине продукты штаммов-продуцентов

01 **Рекомбинантный химозин:** Свертывание молока при производстве сыра (>80–90% мирового сыроделия) — Заменил сычужный фермент из желудков телят (гуманность и стандарт качества)

02 **Человеческий инсулин и интерфероны:** Лечение сахарного диабета и вирусных инфекций (штаммы E. coli, дрожжи) — Спас миллионы жизней; исключил аллергию на животный инсулин

03 **Ферменты (амилазы, протеазы, липазы, фитаза):** Хлебопечение, соки, корма для животных, бытовая химия — Очистка препаратов без следов трансгенной ДНК; снижение фосфатного загрязнения

04 **Аминокислоты и витамины (лизин, B2, C):** Обогащение кормов и функционального питания — Снижение себестоимости и повышение биологической ценности рационов

Функциональные продукты питания: цели и этические требования

Пища с научно доказанной пользой для профилактики заболеваний

Аспект I

- **Биофортификация нутриентами:** Повышение уровня провитамина А («Золотой рис 2» — до 37 мкг/г каротиноидов), железа, цинка, фолатов и омега-3
- **Удаление аллергенов и токсинов:** Снижение глютена в пшенице, акриламида при жарке в картофеле Innate, аллергенов арахиса и сои

Аспект II

- **Обогащение про- и пребиотиками:** Синбиотики, пищевые волокна и антиоксиданты (фиолетовый томат с антоцианами)
- **Этический стандарт вывода на рынок:** Строгое подтверждение стабильности состава, биобезопасности и отсутствие вводящей в заблуждение рекламы

Глобальные масштабы возделывания биотехнологических культур

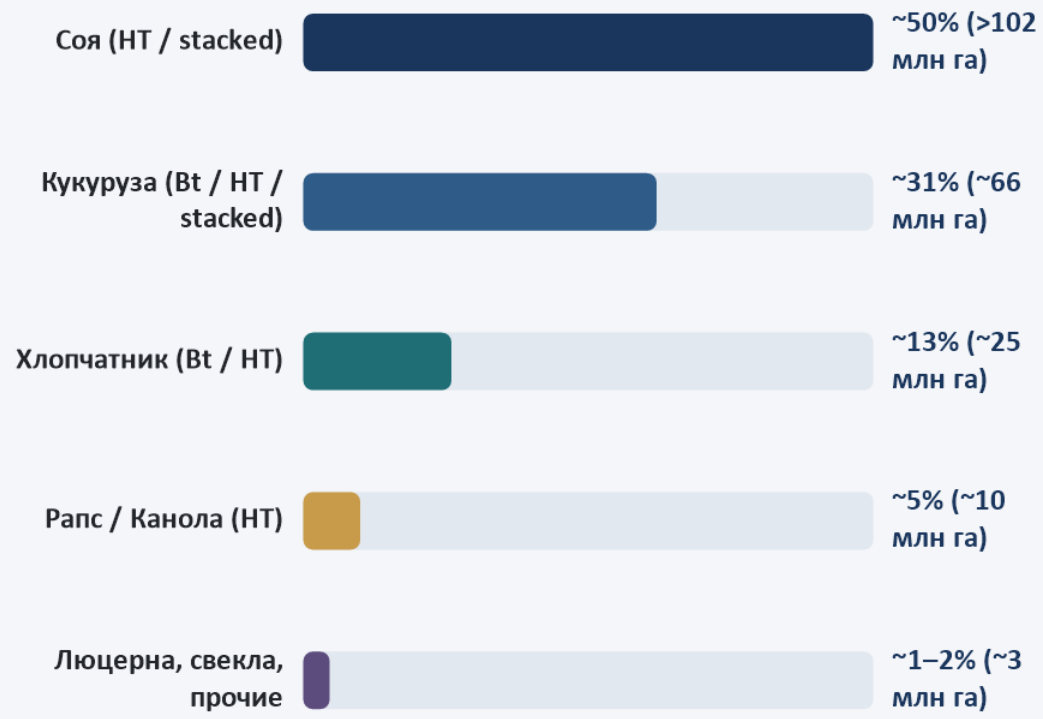
Динамика внедрения ГМ-растений в мировом сельском хозяйстве (данные ISAAA / AgbioInvestor 2024–2025)

>206M га
Площадь посевов ГМ-культур в мире

27+
Стран выращивают биотех-культуры

+120x
Рост площади с 1996 г. (1,7 → 206 млн га)

Структура глобальных площадей по ведущим ГМ-культурам (%)



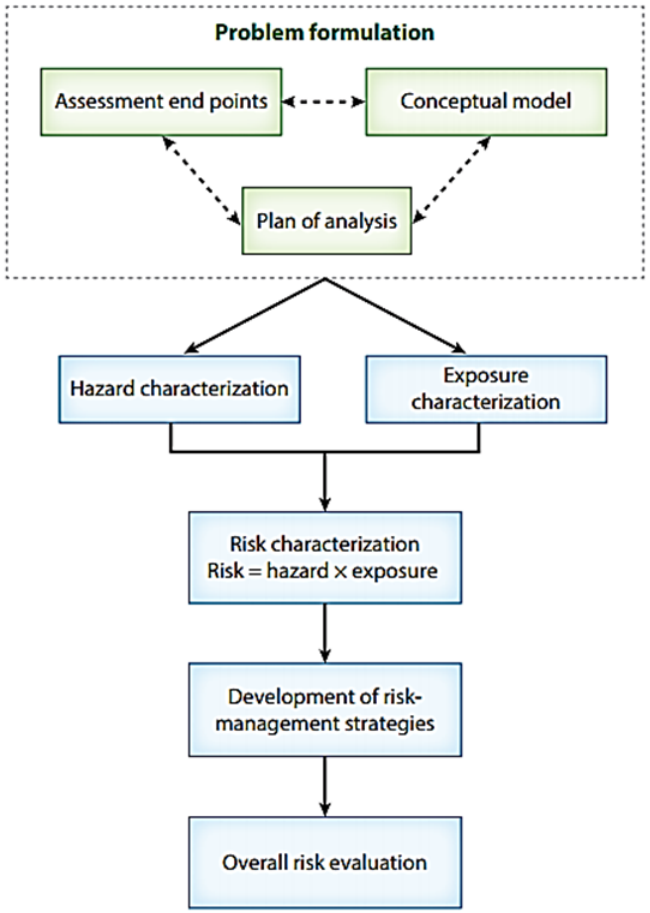
Лидеры (топ-5)

- США (~74,7 млн га) и Бразилия (~66,9 млн га) дают более 68% мировых площадей
- Далее следуют Аргентина, Индия и Канада
- Мета-анализ (Klümper & Qaim): -37% хим. пестицидов и +22% урожайности

Три группы потенциальных рисков ГМО

Системная классификация опасений общества и объектов научного контроля

- **Пищевые и медицинские риски:** Аллергенность нового чужеродного белка; Токсичность метаболитов или сдвиг состава; Использование генов устойчивости к антибиотикам как селективных маркеров (сейчас вытесняются)
- **Экологические риски:** Перенос трансгенов с пыльцой диким сородичам («суперсорняки»); Выработка резистентности у вредителей к Bt-токсину; Воздействие на нецелевые организмы и снижение сортового разнообразия
- **Социально-экономические и этические риски:** Патентная монополизация семенного фонда транснациональными корпорациями; Экономическая зависимость мелких фермеров от ежегодной покупки семян (терминаторные технологии запрещены мораторием); Право потребителя на информированный выбор и уважение религиозных пищевых правил



Оценка пищевых, экологических и социально-экономических рисков ГМО

Принцип существенной эквивалентности и научная оценка безопасности

Международный стандарт проверки (ВОЗ, ФАО, Codex Alimentarius, EFSA)

1 1. Молекулярный профиль

Картирование места вставки, числа копий, отсутствия нецелевых перестроек ДНК

2 2. Композиционный анализ

Сравнение белков, углеводов, жиров, витаминов и антинутриентов с исходным сортом

3 3. Токсикология и аллергия

Тест гомологии к известным аллергенам, перевариваемость в SGF, 90-дневные токсико-тесты

4 4. Полевой экомониторинг

Оценка влияния на почвенную биоту, опылителей и нецелевую энтомофауну

Консенсус ВОЗ, РАН и Национальных академий наук США/ЕС: разрешенные на рынке ГМ-культуры не несут большего риска, чем традиционные сорта.

Методы детекции и идентификации ГМО в продуктах питания

Аналитическая база для контроля маркировки и биобезопасности

Метод анализа	Мишень детекции	Принцип и чувствительность	Сфера применения
ПЦР и ПЦР в реальном времени (qPCR)	Трансгенная ДНК (промотор 35S, терминатор NOS, специфические стыки)	Амплификация фрагмента ДНК; количественная оценка с порогом до 0,01–0,1%	Золотой стандарт государственных лабораторий контроля (0,9%)
Иммуноферментный анализ (ИФА / ELISA и тест-полоски)	Целевой рекомбинантный белок (например, Cry1Ab, EPSPS)	Специфическое связывание антител; быстрый скрининг сырья (сырое зерно)	Экспресс-контроль на элеваторах и таможне (неприменим после термообработки)
Хроматография и масс-спектрометрия (ВЭЖХ, ЖХ-МС)	Измененный профиль метаболитов, жирных кислот, белков	Разделение и оценка композиционной эквивалентности и примесей	Научная экспертиза и анализ новых продуктов (2-го поколения)

Картахенский протокол по биобезопасности (2000 г.)

Глобальный договор к Конвенции о биологическом разнообразии (более 170 стран-участниц, включая РК)

01 **Принцип предосторожности:** Отсутствие полной научной достоверности не мешает принять меры защиты биоразнообразия

02 **Процедура AIA:** Заблаговременное обоснованное согласие страны-импортера до ввоза живых измененных организмов (ЖИО)

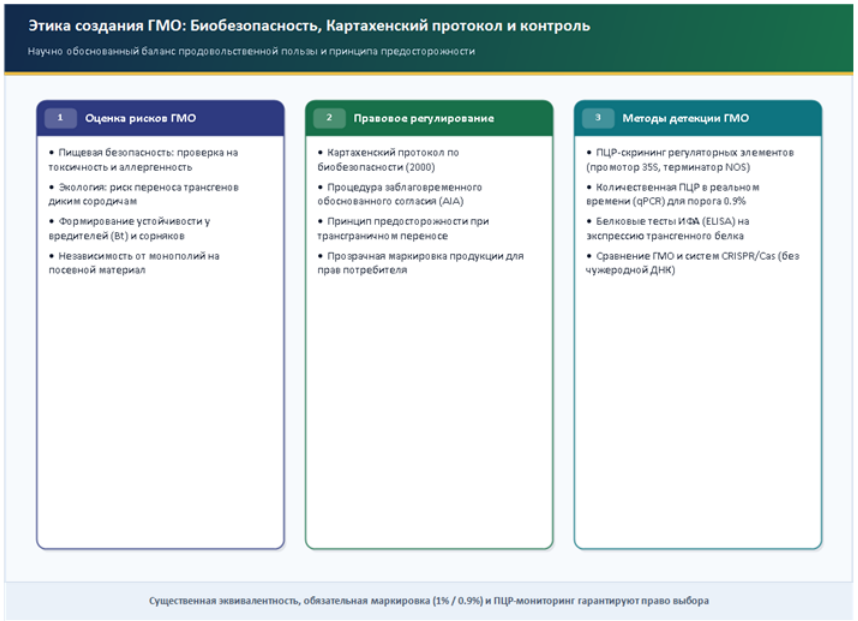
03 **Механизм посредничества (BCH):** Глобальный портал обмена данными о рисках, разрешениях и методах детекции ЖИО

04 **Маркировка и документация:** Четкая идентификация «может содержать ЖИО» при трансграничном перемещении

Два мировых подхода к маркировке ГМО

Обеспечение права потребителя на информированный выбор

- **Модель жесткой процессной маркировки (ЕС, ЕАЭС, Казахстан):** Обязательная маркировка «Содержит ГМО» / «Получено с применением ГМО» при содержании >0,9% в ингредиенте
- 0,9% допускается как технически неизбежная случайная примесь при условии регистрации линии
- Основана на принципе права потребителя знать способ производства независимо от эквивалентности
- Требует систем прослеживаемости «от поля до прилавка» и лабораторного ПЦР-контроля
- **Модель оценки конечного продукта (США, Канада):** Маркировка традиционно требовалась лишь при изменении питательных свойств или появлении нового аллергена
- В США с 2022 г. действует федеральный стандарт «Bioengineered Food» с порогом 5% и QR-маркировкой



Два мировых подхода к маркировке ГМО, биобезопасность и ПЦР-контроль

Регулирование биобезопасности и ГМО в Республике Казахстан

Сочетание национальных норм и регламентов ЕАЭС

01 **1 — Закон РК «О биологической безопасности» (2022):** Системная оценка биорисков, лицензирование и госконтроль за обращением с потенциально опасными биологическими агентами и ГМО

02 **2 — Технические регламенты ЕАЭС:** ТР ТС 021/2011 и 022/2011: обязательная госрегистрация новых ГМ-линий и маркировка при превышении порога 0,9%

03 **3 — Ограничения в детском питании:** Полный запрет использования компонентов с ГМО в продуктах для детского и лечебного питания

04 **4 — Контроль посевов и импорта:** Регулирование завоза семян, испытания в аккредитованных ПЦР-лабораториях (НЦБ, СЭС)

Баланс биоэтических аргументов «за» и «против» ГМО

Ответственный научный синтез вместо поляризации

Аспект дискуссии	Биоэтические аргументы «ЗА»	Биоэтические аргументы «ПРОТИВ» / Ограничения
Продовольствие и здоровье	Борьба с голодом, рост урожаев в стрессе, «Золотой рис» против слепоты детей	Риск утраты дикого и местного агробиоразнообразия при монокультурах
Экология	Сокращение инсектицидов и распашки новых лесов (землесбережение)	Возникновение устойчивых сорняков/вредителей при нарушении агротехники
Права общества	Соблюдение права фермера и потребителя на инновации при строгом контроле	Неравенство в патентном доступе и обязательность прозрачной маркировки 0,9%

★ Вывод преподавателя

- Ответственный научный синтез вместо поляризации
- Параметры сопоставления (3): Продовольствие и здоровье; Экология; Права общества
- Итоговый вектор: Права общества — Неравенство в патентном доступе и обязательность прозрачной маркировки 0,9%

Контрольные вопросы и ключевые выводы

Закрепление материала лекции 8

? Контрольные вопросы

- 1. В чем отличие ГМП 1-го, 2-го и 3-го поколений и какова роль ГММ в пищевой индустрии?
- 2. Назовите три группы потенциальных рисков использования трансгенных организмов.
- 3. Раскройте суть принципа «существенной эквивалентности» при оценке безопасности ГМО.
- 4. Сравните методы детекции ГМО на уровне ДНК (ПЦР) и на уровне белка (ИФА/ELISA).
- 5. Каковы основные положения Картахенского протокола и нормы маркировки ГМО в РК/ЕАЭС?

✓ Ключевые выводы

- Генная инженерия позволяет решать задачи продовольственной безопасности, медицины и снижения пестицидной нагрузки.
- Научный консенсус подтверждает безопасность разрешенных ГМ-продуктов при обязательной поэтапной оценке каждой новой линии.
- Биоэтика требует баланса инноваций, принципа предосторожности, защиты биоразнообразия и честной маркировки (0,9%).
- Казахстан регулирует сферу через Закон о биобезопасности (2022), Картахенский протокол и регламенты ЕАЭС.

Рекомендуемая литература

Источники по теме лекции 8

1 Основная литература

- 1. Закон Республики Казахстан «О биологической безопасности Республики Казахстан» от 21.05.2022.
- 2. Картахенский протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии (2000).
- 3. Klümper W., Qaim M. A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops // PLoS ONE, 2014.
- 4. Инюшин В.М., Силуянова И.В. Биоэтика: учебное пособие. — Алматы: Қазақ университеті.

2 Дополнительная литература

- 1. Технические регламенты Таможенного союза / ЕАЭС ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 022/2011.
- 2. Отчеты EFSA (European Food Safety Authority) по оценке рисков ГМО.
- 3. Портал Biosafety Clearing-House (BCH) и статистика ISAAA / AgbioInvestor.

Благодарю за внимание! • Кафедра молекулярной биологии и генетики КазНУ