



УДК 606/608

**КРАТКИЙ ОБЗОР
ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ
И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РИСКОВ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЛЯ ПРИРОДНЫХ ВИДОВ**

© 2021 г. Ю. Ф. Картавец

Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация
E-mail: yuri.kartavtsev48@hotmail.com

Поступила в редакцию 09.03.2021; после доработки 21.04.2021;
принята к публикации 01.09.2021; опубликована онлайн 20.09.2021.

Представлены краткие сведения о генетически модифицированных организмах (ГМО), методах их создания, областях использования, потенциальных рисках применения, а также необходимости и сферах контроля их использования, в том числе применительно к водным организмам. Приведённые материалы позволяют заключить, что экспертное сообщество в настоящее время не имеет точного ответа на вопрос о масштабах использования ГМО в стране, а также о степени генетической безопасности их применения в некоторых сферах производства, особенно в полужамкнутых системах воспроизводства растений, животных и других объектов в Российской Федерации и за рубежом. Использование молекулярных маркеров генов и новая нормативная база позволят осуществить более точный мониторинг применения ГМО в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности в РФ, ответить на запросы Правительства России и общества, а также на ряд других важных вызовов относительно генетической безопасности.

Ключевые слова: генетически модифицированный организм, ГМО, создание, применение, потенциальные риски, аквакультура, сельское хозяйство

Генетически модифицированный организм — организм, генотип которого был искусственно изменён при помощи методов геной инженерии (**Генетически модифицированный организм, 2021**). Далее по тексту статьи сокращение «ГМО» употребляется в определённом выше значении. Иногда используются также сочетание «ГМ-организм» и аббревиатура «ГМО» как «генно-модифицированный объект» (**Ганжа и др., 2011**).

Данный краткий обзор даёт только общие представления о ГМО и о некоторых недавних разработках в этой сфере. Более детальную информацию можно найти в цитируемых источниках. Сейчас ГМО имеются практически во всех пищевых продуктах, предлагаемых в магазинах (**Захарова и др., 2015**). Способы получения ГМО разнообразны и базируются на методах трансфекции и трансдукции, которые добавляют к нормальному геному организмов набор фрагментов ДНК других организмов, модифицирующий его генотип и фенотип (свойства) в нужном направлении, конструируя новый трансгенный организм. ГМО получает новые генетические компоненты посредством специальных молекулярных конструкций — векторов. При трансфекции в качестве вектора для переноса новых генов (гена), которые специально адаптируются для переноса, используется бактериальная плаزمиды. При трансдукции в качестве вектора

обычно выступают модифицированные ретровирусы или их специальные части, способные ферментативно встраиваться в ДНК выбранного организма. Недостаток обоих процессов — случайное место встраивания в чужую ДНК. Последствием этого является утрата функциональности самих внедрённых генов или активация/деактивация соседних генов клеток организма-хозяина, чреватая вредными эффектами, включая их злокачественное перерождение. В последние годы методика переноса генетического материала получила значительное усовершенствование, что позволяет более точно внедрять векторы посредством технологии редактирования генома CRISPR/Cas (Mojica et al., 2005).

ГМ-организмы могут быть более эффективны и безопасны при выращивании, разведении и культивировании в замкнутых системах, а также применимы для использования в пищевых и медицинских целях при надлежащем контроле. Генетические изменения осуществляются, как правило, в согласии с изложенными выше подходами в хозяйственных целях, но могут быть обусловлены и исключительно научными задачами. В данном сообщении рассмотрен только круг вопросов, касающихся применения ГМО в хозяйственной деятельности человека. В сельском хозяйстве и пищевой промышленности под ГМО подразумеваются лишь организмы, модифицированные внесением в их геном одного или нескольких трансгенов (Кузнецов, 2005). Это же относится и к другим организмам, например к водным, разводимым в замкнутых и полужамкнутых системах, то есть применимо и к хозяйствам аквакультуры при полном или частичном контроле воспроизводства со стороны человека.

В основном озабоченность применением ГМО затрагивает сферы их правовой, экологической, агротехнической и пищевой безопасности (Ганжа и Банникова, 2010 ; Ганжа и др., 2011 ; Кузнецов, 2005 ; Чуйко, 2011), а также гарантий защищённости генома человека при молекулярной терапии с применением технологии CRISPR/Cas (см. <https://ru.wikipedia.org/wiki/CRISPR>), которая уже входит в медицинскую практику в ряде стран.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (Food and Agriculture Organization, FAO) рассматривает использование методов генетической инженерии для создания трансгенных сортов растений либо других организмов как неотъемлемую часть сельскохозяйственной биотехнологии. Перенос генов, отвечающих за полезные признаки, является естественным следствием развития работ по селекции животных и растений. Новые методики расширили возможности селекционеров в части управляемости процесса создания новых сортов и увеличения его эффективности, в частности для передачи полезных признаков между нескрещиваемыми видами (Журавлева, 2016 ; FAO, 2004). В современной аграрной практике есть множество примеров успешного применения трансгенных растений, значительно повышающих урожайность. В начале 1980-х гг. в США были получены первые линии ГМО, предназначенные для коммерческого использования. Правительственными организациями — Национальными институтами здравоохранения США (National Institutes of Health, NIH) и Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, FDA) — была проведена всесторонняя проверка этих линий. организмов получили допуск на рынок после оценки доказательств безопасности их применения.

В ряде стран, в том числе в России, создание, производство и применение продукции с использованием ГМО подлежит государственному регулированию. Для этого правительством и другими органами принято более 150 нормативно-законодательных актов (Вершкова и др., 2008). В РФ исследовано и одобрено к применению несколько видов трансгенных объектов. Наиболее известные из них: соя — линия 40-3-2, линия А 2704-12, линия А 5547-127; картофель — сорт Russet Burbank Newleaf, сорт Superior Newleaf, «Елизавета 2904/1 kgs», «Луговской 1210 amk»; кукуруза — линия GA 21, линия T-25, линия NK-603, линия MON 863, линия MON 88017, линия MIR 604, линия Bt 11; рис — линия LL 62; сахарная свёкла — линия H7-1 (Genetically Engineered Mice, 2012 ; Lidder & Sonnino, 2011).

По данным Международной службы наблюдения за применением агrobiотехнологий (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA), к 2004 г. сельскохозяйственные культуры с биотехнологическими изменениями производились в 14 государствах, а к 2009 г. — в 25 (James, 2009). По объёмам производства ГМО в растениеводстве лидируют США, Бразилия, Аргентина, Индия, Канада и Китай. Между тем многие страны, такие как Австрия, Франция, Люксембург, Греция, Швейцария и Новая Зеландия, запретили выращивание ГМ-растений. Использование ГМО в настоящее время ограничено лишь в небольшом числе государств (рис. 1). Распространение ГМО растительного происхождения для 25 стран со спецификацией объектов разведения представлено в обзоре (Ганжа и др., 2011). Важно отметить, что внедрение ГМО в выращивание растений с высокой вероятностью означает их включение в рацион человека либо прямо, либо через пищевые цепи при использовании в виде кормов и кормовых добавок в животноводстве. При этом контроль за их влиянием на потребителя незначителен или отсутствует.

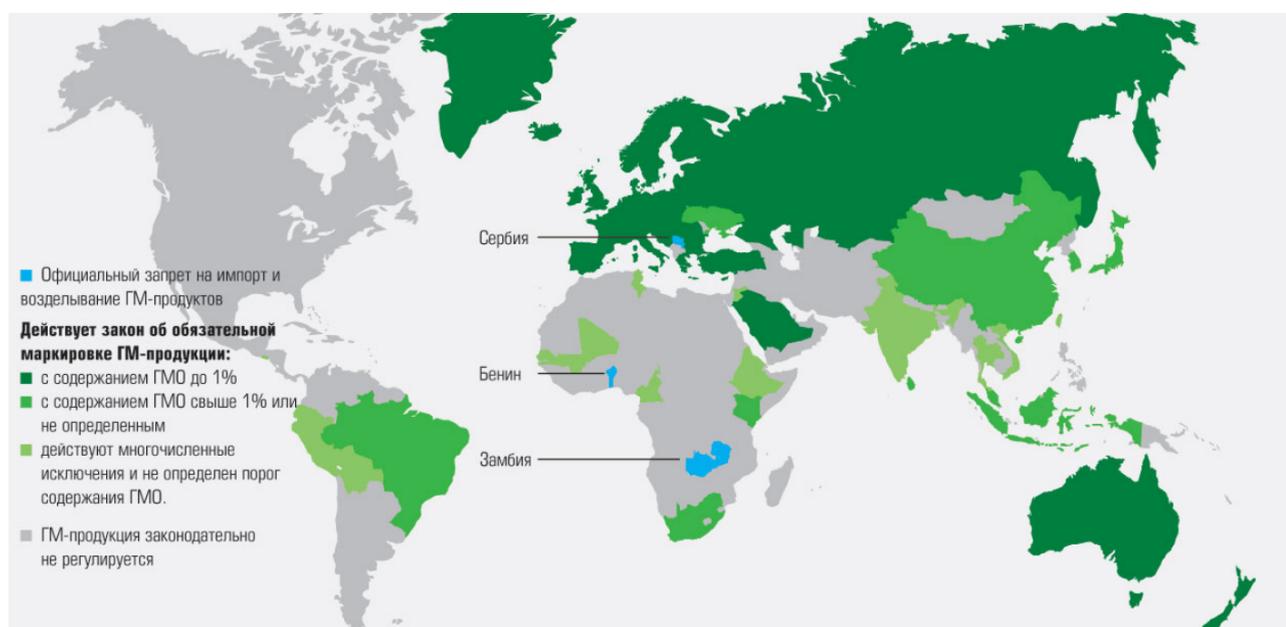


Рис. 1. Распространённость ГМО в мире. Цветами показаны области континентов с ограничениями по распространению; оттенками серого обозначены зоны, где использование ГМО не регулируется на законодательном уровне (источник: <https://www.9111.ru>)

Fig. 1. Prevalence of GMOs in the world. The colors indicate areas of continents with distribution restrictions; the shades of gray indicate areas where GMOs usage is not regulated by law (source: <https://www.9111.ru>)

В России с 01.01.2011 рыбная и другая продукция, произведённая из выловленных биоресурсов, в том числе полученная при выращивании и подращивании рыб и других объектов аквакультуры и марикультуры, приравнивается к сельскохозяйственной. По Постановлению Правительства РФ от 30.11.2010 № 953, соответствующие изменения внесены в существующую норму «Об отнесении видов продукции к сельскохозяйственной продукции и к продукции первичной переработки, произведённой из сельскохозяйственного сырья собственного производства».

В рыбном хозяйстве ГМО апробируют как на модельных организмах, так и на объектах товарного выращивания (Исаева и Морозов-Леонов, 2005 ; Микодина, 2008). Так, описаны ГМО сёмги *Salmo salar*, кижуча *Oncorhynchus kisutch*, чавычи *O. tshawytscha*, лосося Кларка *O. clarkii clarkii*, тилапии нильской *Oreochromis niloticus*, тилапии мозамбикской

O. mossambicus, медаки *Oryzias latipes*, карпа *Cyprinus carpio*, канального сомика *Ictalurus punctatus*, африканского сома *Clarias gariepinus*, мешкожаберного сома *Heteropneustes fossilis*, карасей *Carassius auratus grandoculis* и *C. carassius*, светлопёрого судака *Sander vitreus*, обыкновенной щуки *Esox lucius*, амурского сома *Parasilurus asotus*, вьюнов *Misgurnus fossilis* и *M. anguillicaudatus*, дорады *Sparus aurata*, красного пагра *Pagrus major*, леща чёрного *Megalobrama amblycephala* и даanio *Brachydanio rerio* (Ганжа и др., 2011). В РФ исследования по ГМО в аквакультуре выполняют, изучая представителей наиболее разводимых видов — радужной форели, тилапии, карпа и др. (Ганжа и др., 2011).

Между тем имеются противоречивые позиции относительно применимости геномных технологий, включая широкое использование ГМО, заслуживающие серьёзного внимания экспертного сообщества, профильных ведомств и государственных органов. Сторонники использования ГМО-технологий доказывают, что только они при нынешней численности населения могут избавить мир от угрозы голода. Противники этого подхода считают, что при современном уровне агротехники и механизации сельскохозяйственного производства уже существующие, полученные классическим путём сорта растений и породы животных способны обеспечить население планеты высококачественным продовольствием (Обзор первого дня конференции, 2019 ; Обзор докладов за 23 июня, 2019) (Материалы конгресса Вавиловского общества генетиков и селекционеров).

В 2019 г. на Международном генетическом конгрессе (VII Съезд ВОГиС) был рассмотрен комплекс этических, социальных, юридических и научных норм при применении генетических технологий, включая создание ГМО и контроль за их использованием (Обзор докладов за 20 июня, 2019). Несмотря на множество документов, как уже упомянутых, так и новых (Агапов и Ганюхина, 2016 ; Ганжа и Банникова, 2010 ; Чуйко, 2011), единый свод законодательных актов по данной проблематике в РФ не принят. В этой связи крайне своевременным является запрос Правительства России от 17.03.2020 № МН-7/435-АМ по теме «Совершенствование механизма контроля за выпуском в окружающую среду генно-инженерно-модифицированных организмов и продукции, полученной с применением таких организмов или полученной из таких организмов, а также мониторинга их воздействия на человека и окружающую среду с использованием современных технологий». Литература по данным вопросам частично аннотирована и включает 42 статьи только по разделу «Методы определения ГМО и контроль качества биопродуктов» (Генетически модифицированные организмы, 2017). В следующем разделе автор предлагает свое видение вопросов для их рассмотрения экспертным сообществом, а также в ведомствах и других государственных органах.

Идентификация ГМО, мониторинг биоразнообразия и молекулярные маркеры. Проблемы генетической безопасности. Идентификация ГМО является важнейшей составляющей контроля распространённости их практического применения. Однако в число важнейших задач биологии входит не только мониторинг ГМО и безопасности применения генетических технологий, но и изучение экологических аспектов при их контакте с природными сообществами, как это возможно при полужамкнутых системах воспроизводства. В этой связи наиболее пристального внимания заслуживают не полноциклические аграрные и другие хозяйства, в которых воспроизводство организмов находится под полным управлением человека, а полужамкнутые системы разведения (как, например, ранчирование, применяемое на большинстве лососевых рыбободных заводов), с неполным контролем жизненного цикла со стороны персонала. При этом векторы ГМ-организмов способны попадать за счёт горизонтального переноса в естественную среду, где могут передавать видам нежелательные и даже вредные в природе свойства трансгенных организмов, такие как нестабильность локализации в геноме и провоцирование при транслокациях альтераций клеточных функций с непредсказуемыми последствиями. Важнейшей задачей является мониторинг всего биологического разнообразия и принятие мер по его сохранению для поддержания комфортной среды обитания нынешних и будущих поколений граждан РФ.

Проблемы ускоренной технологизации общества и глобализации торговли продуктами питания обуславливают также необходимость контроля качества пищевых продуктов, источников лекарственных средств и их состава. Всё это невозможно без отлаженной системы идентификации организмов на основе биологических молекулярных маркеров.

Истоки приложения изменчивости биологических макромолекул, например в биологии, имеют давние корни. В целом биологические молекулярные маркеры нашли применение в многочисленных сферах с учётом потребностей современного общества. Обозначим, что такое биологический молекулярный маркер. *Биологический молекулярный маркер* (далее — ММ) — это любая макромолекула живого организма, способная быть идентификатором определённой функции, результатом биохимического, популяционного или эволюционного процесса (Картавец и Редин, 2019). Изучение и использование ММ уже стало новой ветвью биомедицинской науки, о чём свидетельствует наличие специальных журналов (Biomarkers, Current Biomarker Findings, Biomarker Insights, Barcode Bulletin и др.). Молекулярные маркеры используют в биологии и медицине во многих областях.

Можно выделить три наиболее значимые области:

1. **ДНК-штрихкодирование (DNA barcoding)**. Молекулярные маркеры нашли применение в глобальной программе переописания биологического разнообразия на современной молекулярной и биоинформационной основе iBOL (см. <https://ibol.org/>). В качестве стандартного маркера, или ДНК-штрихкода, для большинства беспозвоночных и позвоночных животных используют последовательность нуклеотидов гена *Co-1*, кодирующего субъединицу I цитохромоксидазы с митохондриальной ДНК (мтДНК). Для простоты работы в качестве штрихкода используют первую половину гена длиной порядка 650 пар нуклеотидов (пн). Для растений больше подходят другие ММ, или штрихкоды, такие как *matK* (матураза), *rbcL* (большая субъединица фермента рибулозобисфосфаткарбоксилаза) и участки внутренних транскрибируемых спейсеров рРНК, ITS1, ITS2 и др. (Жохова и др., 2018 ; Шнеер и Родионов, 2018). Основой успешной идентификации на этом уровне является низкая внутривидовая изменчивость (слабые различия последовательностей нуклеотидов между особями одного вида), но на порядок бóльшая межвидовая дивергенция образцов (между особями разных видов) — в среднем примерно 0,5–1,0 % и 10 % дивергенции для животных соответственно (Kartavtsev, 2011).

Одно из прикладных применений ММ — идентификация гибридов и инвазивных видов. В связи с глобализацией и интенсификацией международной торговли продуктами питания огромное значение приобретает идентификация образцов при экспортно-импортных операциях. Фальсификация брендов, например товарных марок, под которыми продают филе рыбы, икру и другие продукты, может быть точно установлена по ММ, что помогает государственным и частным предприятиям избежать значительных экономических и репутационных потерь (Nedunoori et al., 2017).

2. **Молекулярные маркеры для идентификации стад, линий и пород животных.** Для этого уровня *Co-1* и другие молекулярные маркеры мтДНК не вполне подходят, поскольку они относительно мало изменчивы внутри вида (хотя имеются исключения). Обычно более консервативные у животных молекулярные маркеры ядерной ДНК (ядДНК) ещё менее применимы на этом уровне. Наибольшую результативность для выявления различий между популяциями, породами, линиями животных и для их паспортизации у высших организмов проявляют локусы микросателлитных ДНК и однонуклеотидные полиморфизмы.

3. **Молекулярные маркеры в сфере медицины** приобрели наибольшее значение, особенно при диагностике заболеваний (в частности, рака молочной железы, предстательной железы, толстой кишки и др.). Используются они и в криминалистике — с целью исключения из подозреваемых тех или иных индивидуумов. В сферу применения ММ входит также мониторинг генетической безопасности для оценки рисков использования рекомбинантных ДНК

и генетически модифицированных продуктов/объектов в пищевой и медицинской промышленности. По биомедицинской проблематике ДНК-штрихкодирования написан специальный обзор (Жохова и др., 2018).

Вышеперечисленные направления работ, кроме очевидного прикладного значения в медицине и при описании биоразнообразия, имеют важное значение для парадигм общей биологии, эволюционной генетики, а также для научной составляющей программы iBOL, хорошо работая при идентификации видов путём ДНК-штрихкодирования. В базе данных iBOL на 07.08.2020 аккумулированы следующие результаты исследования: образцов живых организмов — 11 429 832; образцов со штрихкодами — 8 466 913; идентифицированных по штрихкодам видов — 314 777 ([The Barcode of Life Data System, 2021](#), см. Taxonomy Browser). Все эти данные сопровождаются унифицированной документацией по стандартам iBOL и доступны любому пользователю через Интернет. В централизованной базе данных BOLD отражён вклад РФ и RUS-BOL ([Штрихкодирование живых организмов на основе ДНК, 2021](#)) в исследования по ДНК-штрихкодированию — 42 174 опубликованных в базе записи, образующие 7972 кластера штрихкодов, которые представлены 263 организациями (лабораториями и творческими группами). Сделанные в BOLD записи относятся к 27 320 видовым именам, в целом они представляют 6099 видов. РФ по активности находится в середине списка участников программы, на уровне таких стран, как Бразилия и Франция.

Таким образом, по существу упомянутого выше запроса Правительства РФ можно констатировать, что **экспертное сообщество в настоящее время не имеет точного ответа на вопрос о масштабах использования ГМО в стране и о степени генетической безопасности их применения в некоторых сферах производства и особенно в полузамкнутых системах воспроизводства растений, животных и других объектов в РФ**, а также за рубежом. Использование ММ и новая нормативная база позволят осуществить более точный мониторинг применения ГМО в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности в РФ и ответить на поставленные правительством вопросы, а также на ряд других важных запросов общества относительно генетической безопасности.

Перечень мер генетической безопасности:

- Генетическая безопасность продуктов питания. Проведение НИР и НИОКР для разработки методических рекомендаций по контролю экспортно-импортных продовольственных потоков. Разработка специализированных ММ для осуществления контроля за генетической и экологической безопасностью применения ГМ-организмов. Разработка рекомендаций по контролю за использованием ГМО-продуктов как объектов питания, пищевых добавок и лекарственных средств.
- Мониторинг инвазий и гибридизации. Эколо-генетический мониторинг.
- Мониторинг генофондов основных сельскохозяйственных культур, хозяйственно важных животных и рыб. Мониторинг сортового (породного) разнообразия на основе ММ.
- Мониторинг генофондов популяций человека на основе ММ и омикс-технологий, включая использование новейшей приборной базы для полногеномного секвенирования, редактирования геномов, транскриптомного, протеомного и других видов анализа для поддержания здоровья нации.
- Финансирование в объёме 150 млн рублей в год на 5 лет целевой федеральной программы по изучению и поддержанию биоразнообразия по тематике «ДНК-штрихкодирование как основа программы молекулярно-генетического и биоинформационного описания биологического разнообразия живых организмов России. Генетическая паспортизация особо ценных популяций и видов на основе новых методов описания биологического разнообразия: биобанкинг, средовые ДНК, транскриптомный анализ и другие подходы».

- Пролонгирование финансирования соответствующих тематик РФ и РФФИ по оценке биоразнообразия живых организмов и по проработке конкретных НИР и НИОКР.
- Организация системы мониторинга Роспотребнадзором — ГМО-продуктов как объектов питания, пищевых добавок и лекарственных средств, а также производителей пищевых продуктов и торговых сетей РФ — на основе молекулярных маркеров.

Работа выполнена как часть плановой темы ННЦМБ «Биоразнообразие Мирового океана: таксономия, штрихкодирование, филогенетика, репродуктивная и эволюционная биология, биогеография» (FWFE-2021-0003; 1021051202207-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агапов Д. А., Ганюхина О. Ю. О некоторых аспектах современного правового регулирования генетически модифицированных организмов в России // *Вестник Саратовской государственной юридической академии*. 2016. № 5 (112). С. 197–200. [Agapov D. A., Ganyuhina G. Yu. Some aspects of the modern legal regulation of genetically modified organisms of Russia. *Vestnik Saratovskoi gosudarstvennoi yuridicheskoi akademii*, 2016, no. 5 (112), pp. 197–200. (in Russ.)]
2. Вершкова Т. И., Просяникова М. Н., Мазур М. Е. Оценка пищевой продукции, полученной с использованием ГМО, на территории Приморского края // *Здоровье населения и среда обитания*. 2008. № 9 (186). С. 33–35. [Verzhkova T. I., Prosyannikova M. N., Mazur M. E. Otsenka pishchevoi produktsii, poluchennoi s ispol'zovaniem GMO, na territorii Primorskogo kraia. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2008, no. 9 (186), pp. 33–35. (in Russ.)]
3. Ганжа Е. В., Банникова М. А. Генетически модифицированные организмы (ГМО): новый глобальный вызов для аквакультуры // *Труды ВНИРО*. 2010. Т. 148. С. 86–104. [Ganzha E. V., Bannikova M. A. Genetically modified organisms (GMO): The new global challenge for aquaculture. *Trudy VNIRO*, 2010, vol. 148, pp. 86–104. (in Russ.)]
4. Ганжа Е. В., Банникова М. А., Федорова Л. М., Микодина Е. В. Аквакультура и трансгенные технологии: области применения и проблемы безопасности (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. № 4. С. 16–29. [Ganzha E. V., Bannikova M. A., Fedorova L. M., Mikodina E. V. Aquaculture and transgenic technologies: Range of application and safety (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2011, no. 4, pp. 16–29. (in Russ.)]
5. *Генетически модифицированные организмы: создание, оценка безопасности и контроль* : библиографический указатель литературы для студентов и преподавателей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева / сост.: Н. В. Кузнецова, А. Г. Цырульник ; отв. исполн. Р. М. Лизакова. Москва : Российский государственный аграрный университет МСХА имени К. А. Тимирязева, 2017. 14 с. [*Geneticheski modifitsirovannye organizmy: sozдание, otsenka bezopasnosti i kontrol'* : bibliograficheskii ukazatel' literatury dlya studentov i преподавателей RGAU-MSKhA imeni K. M. Timiryazeva / N. V. Kuznetsova, A. G. Tsirulnik (Contrs) ; R. M. Lizakova (Exec.). Moscow : Rossiiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet MSKhA imeni K. M. Timiryazeva, 2017, 14 p. (in Russ.)]
6. *Генетически модифицированный организм*. [Geneticheski modifitsirovannyi organizm. (in Russ.)]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/178325> [accessed: 14.02.2021].
7. Жохова Е. В., Родионов А. В., Повыдыш М. Н., Гончаров М. Ю., Протасова Я. А., Яковлев Г. П. Современное состояние и перспективы использования ДНК-штрихкодирования и ДНК-фингерпринтинга для анализа качества лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов // *Успехи современной биологии*. 2018. Т. 139, № 1. С. 25–40. [Zhokhova E. V., Rodionov A. V., Povydysh M. N., Goncharov M. Yu., Protasova Ya. A., Yakovlev G. P. Current state and prospects of using DNA-barcoding and DNA-fingerprinting for analysis of plant raw material and drugs of plant origin. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2018, vol. 139, no. 1, pp. 25–40. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1134/S0042132419010095>
8. Журавлева Г. А. *Генная инженерия в биотехнологии* : учебник / под ред. С. Г. Инге-Вечтомова.

- Санкт-Петербург : Эко-Вектор, 2016. 328 с. [Zhuravleva G. A. *Gennaya inzheneriya v biotekhnologii* : uchebnik / S. G. Inge-Vechtomov (Ed.). Saint Petersburg : Eko-Vektor, 2016, 328 p. (in Russ.)]
9. Захарова А. В., Козлова Л. Г., Корчашкина С. Р. Генетически модифицированные организмы и их влияние на организм человека // *Экономика и управление: новые вызовы и перспективы* : сборник статей IX международной научно-практической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. Тольятти : ПВГУС, 2015. С. 87–90. [Zakharova A. V., Kozlova L. G., Korchashkina S. R. Geneticheski modifitsirovannye organizmy i ikh vliyanie na organizm cheloveka. In: *Ekonomika i upravlenie: novye vyzovy i perspektivy* : sbornik statei IX mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / Povolzhskii gos. un-t servisa. Tolyatti : PVGUS, 2015, pp. 87–90. (in Russ.)]
10. Информационный центр VII Съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Конференция: «Хлеба будущего: геномика, генетика, селекция» : [обзор первого дня конференции, 20 июня 2019 г.]. [Informatsionnyi tsentr VII S"ezda Vavilovskogo obshchestva genetikov i selektsionerov. Konferentsiya "Khleva budushchego: genomika, genetika, selektsiya" : [obzor pervogo dnya konferentsii, 20 iyunya 2019 g.] (in Russ.). https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2018/vogis/news_21.pdf [accessed: 14.02.2021].
11. Информационный центр VII Съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Круглый стол: «Этические, правовые и социальные аспекты генетических и геномных исследований» : [обзор докладов за 20 июня 2019 г.]. [Informatsionnyi tsentr VII S"ezda Vavilovskogo obshchestva genetikov i selektsionerov. Kruglyi stol: "Eticheskie, pravovye i sotsial'nye aspekty geneticheskikh i genomnykh issledovaniy" : [obzor dokladov za 20 iyunya 2019 g.] (in Russ.). https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2018/vogis/news_20.pdf [accessed: 14.02.2021].
12. Информационный центр VII Съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Симпозиум: «Селекция и биотехнология животных» : [обзор докладов за 23 июня 2019 г.]. [Informatsionnyi tsentr VII S"ezda Vavilovskogo obshchestva genetikov i selektsionerov. Simpozium: "Selektsiya i biotekhnologiya zhivotnykh" : [obzor dokladov za 23 iyunya 2019 g.] (in Russ.). https://events.spbu.ru/eventsContent/events/2018/vogis/news_31.pdf [accessed: 14.02.2021].
13. Исаева Н. М., Морозов-Леонов С. Ю. Генетически модифицированные рыбы: цели и методы получения // *Актуальні проблеми аквакультури та раціонального використання водних біоресурсів* : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 26–30 вересня 2005 р. Київ, 2005. С. 97–99. [Isaeva N. M., Morozov-Leonov S. Yu. Geneticheski modifitsirovannye ryby: tseli i metody polucheniya. In: *Aktualni problemy akvakultury ta ratsionalnoho vykorystannia vodnykh bioresursiv* : materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 26–30 veresnya 2005 r. Kyiv, 2005, pp. 97–99. (in Ukr.)]
14. Картавцев Ю. Ф., Редин А. Д. Оценки генетической интрогрессии, дивергенции таксонов, ретикуляции генных деревьев и состоятельности ДНК-штрихкодирования по молекулярным маркерам генов // *Успехи современной биологии*. 2019. Т. 139, № 1. С. 3–24. [Kartavtsev Yu. Ph., Redin A. D. Estimates of genetic introgression, reticulation of gene trees, taxon divergence and sustainability of DNA-barcoding based on molecular markers of genes. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2019, vol. 139, no. 1, pp. 3–24. (in Russ.). <https://doi.org/10.1134/S004213241901006X>
15. Кузнецов В. В. Генетически модифицированные организмы и полученные из них продукты: реальные и потенциальные риски // *Российский химический журнал*. 2005а. Т. 69, № 4. С. 70–83. [Kuznetsov V. V. Geneticheski modifitsirovannye organizmy i poluchennye iz nikh produkty: real'nye i potentsial'nye riski. *Russkii khimicheskii zhurnal*, 2005a, vol. 69, no. 4, pp. 70–83. (in Russ.)]
16. Кузнецов В. В. Возможные биологически риски при использовании генетически модифицированных сельскохозяйственных культур // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2005б. № 3 (121). С. 40–54. [Kuznetsov V. V. Potential biological risk posed by genetically modified crops. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2005b, no. 3 (121), pp. 40–54. (in Russ.)]
17. Микодина Е. В. Генетически модифицированные организмы (ГМО) и биологическая безопасность рыб в аквакультуре // *Повышение эффективности использования водных биологических ресурсов* : материалы

- II международной научно-практической конференции. Москва : Изд-во ВНИРО, 2008. С. 167–170. [Mikodina E. V. Geneticheski modifitsirovannye organizmy (GMO) i biologicheskaya bezopasnost' ryb v akvakul'ture. In: *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya vodnykh biologicheskikh resursov : materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Moscow : Izd-vo VNIRO, 2008, pp. 167–170. (in Russ.)]
18. *Об отнесении видов продукции к сельскохозяйственной продукции и к продукции первичной переработки, произведённой из сельскохозяйственного сырья собственного производства* : Постановление Правительства Российской Федерации от 25.07.2006 № 458 (ред. от 11.11.2020) // Консультант-Плюс : официальный сайт. [*Ob otneseni vidov produktsii k sel'skokhozyaistvennoi produktsii i k produktsii pervichnoi pererabotki, proizvedennoi iz sel'skokhozyaistvennogo syr'ya sobstvennogo proizvodstva* : Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 25.07.2006 no. 458 (red. ot 11.11.2020) // Konsul'tantPlyus : official site. (in Russ.)]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61854/ [accessed: 14.02.2021].
 19. Чуйко Н. А. Основные подходы к регулированию генетически модифицированных организмов в международной практике // *Сибирский юридический вестник*. 2011. № 1 (52). С. 160–165. [Chuyko N. A. Main approaches of the regulation of genetically modified organisms in the international practice. *Sibirskii yuridicheskii vestnik*, 2011, no. 1 (52), pp. 160–165. (in Russ.)]
 20. Шнейер В. С., Родионов А. В. ДНК-штрихкоды растений // *Успехи современной биологии*. 2018. Т. 138, № 6. С. 531–537. [Shneyer V. S., Rodionov A. V. Plant DNA barcodes. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2018, vol. 138, no. 6, pp. 531–537. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.7868/s0042132418060017>
 21. RUS-BOL и Российская программа «Штрихкодирование живых организмов на основе ДНК» / НИЦМБ ДВО РАН, Владивосток, 2021 : [сайт]. [RUS-BOL i Rossiiskaya programma "Shtrikhkodirovanie zhivykh organizmov na osnove DNK" / NNTsMB DVO RAN, Vladivostok, 2021 : [site]. (in Russ.)]. <http://www.wimb.dvo.ru/misc/barcoding/index.htm> [accessed: 14.02.2021].
 22. James C. *Global Status of Commercialized Biotech. GM Crops: 2009*. Ithaca, NY : ISAAA, 2009, 304 p. (ISAAA Brief ; no. 41.)
 23. FAO. *The State of Food and Agriculture 2003–04 : Agricultural Biotechnology: Meeting the Needs of the Poor?* Rome : FAO, 2004. (FAO Agriculture Series ; no. 35.)
 24. *Genetically Engineered Mice for Cancer Research: Design, Analysis, Pathways, Validation and Pre-clinical Testing* / J. Green, T. Ried (Eds). New York ; Dordrecht ; Heidelberg ; London : Springer, 2012, 111 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-69805-2>
 25. Kartavtsev Y. Ph. Sequence divergence at mitochondrial genes in animals: Applicability of DNA data in genetics of speciation and molecular phylogenetics. *Marine Genomics*, 2011, vol. 4, iss. 2, pp. 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2011.02.002>
 26. Lidder P., Sonnino A. *Biotechnologies for the Management of Genetic Resources for Food and Agriculture* / FAO Commission on genetic resources for food and agriculture. Rome : FAO, 2011, 153 p. (FAO Background study paper ; no. 52). URL: <http://www.fao.org/3/mb387e/mb387e.pdf>
 27. Mojica F. J., Díez-Villaseñor C., García-Martínez J., Soria E. Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements. *Journal of Molecular Evolution*, 2005, vol. 60, no. 2, pp. 174–182. <https://doi.org/10.1007/s00239-004-0046-3>
 28. Nedunoori A., Turanov S. V., Kartavtsev Y. Ph. Fish product mislabeling in the Russian Far East using DNA barcoding. *Gene Reports*, 2017, vol. 8, pp. 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2017.07.006>
 29. The Barcode of Life Data System (BOLD) v4 : Database : [site]. <http://boldsystems.org> [accessed: 14.02.2021].

**BRIEF OVERVIEW
ON STUDY OF GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS
AND ASSESSMENT OF POTENTIAL RISKS OF THEIR USAGE
FOR NATURAL SPECIES**

Yu. Ph. Kartavtsev

A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: yuri.kartavtsev48@hotmail.com

Brief information is summarized on the genetically modified organisms (GMOs), methods of their construction, spheres of usage, potential risks of GMOs propagation, necessity, and ranges of control of their usage, *inter alia* their application to aquatic organisms. The data available allow concluding that the expert community currently has no exact answer concerning the scale of GMOs usage in the country, as well as about the degree of genetic safety of their usage in several fields of industry, especially in semi-closed systems for growing plants and rearing of animals and other living beings in the Russian Federation and other countries. Application of molecular genetic markers and new law regulations will help in monitoring GMOs usage in agriculture and other industries in Russia and responding to requests from the Russian Government and social institutions, as well as many challenges on genetic safety.

Keywords: genetically modified organism, GMO, construction, usage, potential risks, aquaculture, agriculture