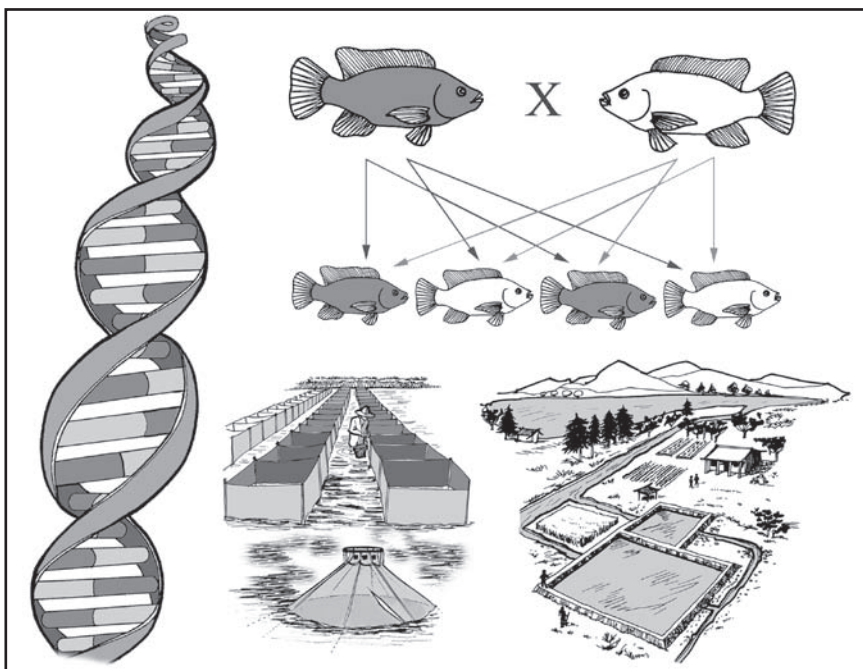


РАЗВИТИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ

3. Управление генетическими ресурсами



РАЗВИТИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ

3. Управление генетическими ресурсами

Используемые обозначения и представление материала в настоящем информационном документе не означают выражения какого-либо мнения со стороны Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) относительно правового статуса или уровня развития той или иной страны, территории, города или района, или их властей, или относительно делимитации их границ или рубежей. Упоминание конкретных компаний или продуктов определенных производителей, независимо от того, запатентованы они или нет, не означает, что ФАО одобряет или рекомендует их, отдавая им предпочтение перед другими компаниями или документами аналогичного характера, которые в тексте не упоминаются.

ISBN 978-92-5-406045-9

Все права защищены. ФАО поощряет тиражирование и распространение материалов, содержащихся в настоящем информационном продукте. Разрешается их бесплатное использование в некоммерческих целях. За тиражирование в целях перепродажи или в других коммерческих целях, включая образовательные, может взиматься плата. Заявки на получение разрешения на тиражирование или распространение материалов ФАО, защищенных авторским правом, а также все другие запросы, касающиеся прав и лицензий, следует направлять по электронной почте по адресу copyright@fao.org или на имя начальника Подотдела издательской политики и поддержки Управления по обмену знаниями, исследованиям и распространению опыта по адресу: Chief, Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

ПОДГОТОВКА НАСТОЯЩЕГО ДОКУМЕНТА

Настоящее Техническое руководство было подготовлено Департаментом рыбного хозяйства и аквакультуры Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), по согласованию с Devin M. Bartley (Старшим сотрудником отдела по рыбным ресурсам) и при поддержке Регулярной программы ФАО, Комиссии ФАО по генетическим ресурсам для продовольствия и сельского хозяйства, программы «*FishCode*» (Программа глобального партнерства для ответственного рыболовства ФАО) и Всемирного рыболовного треста. Свой вклад в написание отдельных глав настоящего Руководства внесли следующие эксперты в области управления генетическими ресурсами: Devin M. Bartley, Malcolm C.M. Beveridge, Randall E. Brummett, Joachim Carolsfeld, R.J. Lawton, Brian J. Harvey, Anne Kapuscinski, Graham Mair, Raul W. Ponzoni, Roger S.V. Pullin, Douglas Tave и Álvaro Toledo. Главным редактором Руководства является Devin M. Bartley при содействии вышеуказанных специалистов. Верстка и форматирование текста осуществлены José Luis Castilla; дизайн обложки – Emanuela D'Antoni.

Печать и перевод настоящего Технического руководства координировались господином M. Halwart, сотрудником Службы аквакультуры (FIRA) Департамента рыбного хозяйства и аквакультуры ФАО. Большая часть работы по координированию и редактуре для выпуска настоящего Руководства была проделана в то время, когда главный редактор находился на занятиях по повышению квалификации сотрудников ФАО в Виктории (Британская Колумбия), проводившихся Всемирным рыболовным трестом (*World Fisheries Trust*). Авторы и составители благодарят за поддержку Консультативный комитет ФАО по вопросам зарубежного обучения и Всемирный рыболовный трест.

ФАО. 2010. *Развитие аквакультуры. 3. Управление генетическими ресурсами*. Техническое руководство ФАО по ответственному рыбному хозяйству. No. 5, Приложение 3. Рим, ФАО. 154с.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Данное Техническое руководство было разработано с целью поддержания разделов Кодекса поведения ФАО для ответственного рыболовства (*FAO's Code of Conduct for Responsible Fisheries*) по аспектам управления генетическими ресурсами в аквакультуре. Предоставлены рекомендации по управлению и одомашниванию маточных стад; программам генетического улучшения; программам распространения генетически улучшенной рыбы; по экономическим вопросам программ генетического улучшения; оценке и контролю рисков; по рыболовству, базирующемуся на использовании рыбы, выращенной в искусственных условиях; по сохранению рыбных генетических ресурсов; генетическим банкам; профилактическому подходу и связям с общественностью. Эффективное управление генетическими ресурсами, оценка и контроль рисков могут помочь популяризировать ответственную аквакультуру путем увеличения производительности и эффективности и свести к минимуму негативные воздействия на окружающую среду. Эти выгоды ответственного применения в аквакультуре генетических принципов должны быть доведены до сведения потребителей, лиц, ответственных за разработку политики, ученых и иных лиц, заинтересованных в ответственном рыболовстве и аквакультуре.

СОДЕРЖАНИЕ

Подготовка настоящего документа	iii
Краткое содержание	iv
Список авторов	x
Предпосылки	xi
1 ВВЕДЕНИЕ	1
1.1 Значимость генетического разнообразия и необходимость управления генетическими ресурсами	2
1.2 Соответствующие статьи Кодекса	4
2 МЕЖДУНАРОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	8
3 УПРАВЛЕНИЕ МАТОЧНЫМ СТАДОМ: ИНБРИДИНГ, ДРЕЙФ ГЕНОВ И ОДОМАШНИВАНИЕ	14
3.1 Введение	14
3.2 Инбридинг	14
3.3 Дрейф генов	24
3.4 Одомашнивание	33
3.5 Сложности и возможности	35
4 МЕТОДОЛОГИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ В АКВАКУЛЬТУРЕ	37
4.1 Введение	37
4.2 Генетическое улучшение в аквакультуре	38
4.3 Подходы к генетическому улучшению	39
4.3.1 Селекционное разведение	40
4.3.2 Гибридизация и кроссбридинг	46
4.3.3 Манипуляция хромосомными наборами	49
4.3.4 Регулирование пола	51
4.3.5 Трансгеноз	55
4.3.6 Генетические маркеры и маркерная селекция	57
4.4 Текущее состояние генетического улучшения и будущие сценарии	61

5	РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ УЛУЧШЕННЫХ ВИДОВ И СОГЛАШЕНИЯ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ МАТЕРИАЛА	64
5.1	Введение	64
5.2	Перемещение улучшенного вида в другую страну	66
5.2.1	Введение	66
5.2.2	Руководство по перемещению	67
5.2.3	Соглашения по перемещению материала (Material Transfer Agreements - MTAs)	68
5.2.4	Протоколы перемещения	68
5.3	Распространение улучшенного вида в пределах страны как часть рациональной стратегии развития аквакультуры	73
5.4	Обсуждение	75
	Приложение 5.1 Соглашение по перемещению материала	76
6	ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОГРАММ ГЕНЕТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ	77
6.1	Данные о генетическом улучшении	77
6.2	Факторы, ограничивающие широкое распространение и внедрение технологии	77
6.3	Цели разведения	79
6.4	Затраты и выгоды программы генетического улучшения	81
6.5	Факторы, влияющие на экономические выгоды и соотношение выгод/затрат программ генетического улучшения	82
6.6	Общая применимость результатов	83
6.7	Постановка показателей базовых параметров в контекст реальной жизни	83
6.8	Анализ чувствительности	84
6.8.1	Биологические параметры	84
6.8.2	Экономические параметры	85
6.8.3	Эффективность использования	86
6.8.4	Итоги анализа чувствительности	87
6.9	Шансы на успех	88
6.10	Заключительные замечания	89

7	ОЦЕНКА РИСКОВ И МОНИТОРИНГ В ПРОГРАММАХ ПО ГЕНЕТИЧЕСКОМУ УЛУЧШЕНИЮ	91
7.1	Введение	91
7.2	Кодекс поведения	92
7.3	Принципы	93
7.4	Оценка генетических последствий	98
7.5	Оценка экологических последствий	100
7.6	Анализ неопределенности	101
7.7	Управление экологическими рисками	102
7.7.1	Изоляция генетически измененных организмов	102
7.7.2	Мониторинг генетически измененных организмов на предмет экологического воздействия	103
7.8	Ограничения и возможности	105
7.9	Заключение	106
8	РЫБОЛОВСТВО, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА ПОСАДОЧНОМ МАТЕРИАЛЕ ИЗ АКВАКУЛЬТУРЫ	108
8.1	Общие принципы	108
8.2	План управления генетическими ресурсами для рыболовства, базирующегося на посадочном материале из аквакультуры	109
8.2.1	Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором предполагается скрещивание посадочного материала с местными видами	109
8.2.2	Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором предполагается скрещивание посадочного материала друг с другом, но не с местными видами	111
8.2.3	Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором скрещивание посадочного материала не предполагается	112
8.3	Контроль, оценка и отчетность	113

9	СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДИКИХ РЫБ И АКВАКУЛЬТУРА	115
9.1	Введение	115
9.2	Генетические ресурсы диких рыб	115
9.3	Значимость для аквакультуры	117
9.4	Подходы к управлению	118
9.4.1	Категоризация и приоритезация	118
9.4.2	Межотраслевые перспективы	120
9.4.3	Объединение аквакультуры и сохранения	122
9.4.4	Сохранение <i>in situ</i> (на месте)	123
9.4.5	Сохранение <i>ex situ</i> (внешнее)	125
9.5	Информация	126
9.6	Аквакультура сохранения для исчезающих видов рыб	129
9.7	Выводы	130
10	СОЗДАНИЕ БАНКОВ ВОДНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ	132
10.1	Введение	132
10.2	Генетические банки <i>in situ</i> и <i>ex situ</i>	132
10.3	История	133
10.4	Информация по криобанкам гамет и эмбрионов	134
10.5	Информация по живым генетическим банкам (коллекция маточных стад)	135
10.6	Управление данными	135
10.7	Политические аспекты	136
10.8	Создание генетических банков водных организмов	137
11	ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОД	138
11.1	Подход	138
11.2	Выводы	141

12 СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ	143
12.1 Введение	143
12.2 Стратегия коммуникации	144
12.2.1 Знание своей аудитории	146
12.2.2 Определение партнеров по продвижению программ генетического управления	146
12.2.3 Обмен опытом с другими секторами	148
12.2.4 Использование точной терминологии, соответствующей национальному и международному законодательству	149
12.3 Заключение	149
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Найробийская Декларация	151

СПИСОК АВТОРОВ

Devin M. Bartley
Fisheries and Aquaculture
Department
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Рим, Италия
E-mail: devin.bartley@fao.org

Malcolm C.M. Beveridge
The WorldFish Center
Box 1261 Maadi 11728
Каир, Египет
E-mail: m.beveridge@cgiar.org

Randall E. Brummett
The WorldFish Center
PO Box 228 (Messa)
Яунде, Камерун
E-mail: r.brummett@cgiar.org

R.J. Lawton
The WorldFish Center
3, Abu El Feda St, 6th Floor
Цамалек, Каир
Египет

Anne Kapuscinski
Department of Fisheries, Wildlife and
Conservation Biology
University of Minnesota
200 Hodson Hall
1980 Folwell Ave.
St. Paul, MN 55108
Соединённые Штаты Америки
E-mail: kapus001@umn.edu

Brian J. Harvey
755 Emerson St.
Victoria, B.C.
Канада V8R 2C2
E-mail: bjharvey@telus.net

Graham Mair
School of Biological Sciences
Flinders University
GPO Box 2100
Аделаид, Южная Австралия 5001
Австралия
E-mail: graham.mair@flinders.edu.au

Raul W. Ponzoni
The WorldFish Center
Jalan Batu Maung
11960 Batu Maung
Пенанг, Малайзия
E-mail: r.ponzoni@cgiar.org

Roger S.V. Pullin
ФАО Консультант
7A Legaspi Park View
134 Legaspi St
Макати Сити, Филиппины
E-mail: karoger@pacific.net.ph

Douglas Tave
New Mexico Interstate Stream
Commission
121 Tijeras N^o, Suite 2000
Albuquerque, NM 87102
Соединённые Штаты Америки
E-mail: douglas.tave@state.nm.us

ПРЕДПОСЫЛКИ

1. С давних времен рыболовство является одним из главных источников питания для человечества и обеспечивает работу и экономические преимущества для всех, кто вовлечен в эту сферу деятельности. Однако по мере накопления знаний и быстрого развития промысла стало ясно, что хотя водные биоресурсы и восстанавливаются, они не являются неисчерпаемыми и требуют правильного управления, чтобы они и в дальнейшем поддерживали продовольственное, экономическое и социальное благосостояние растущего мирового населения.

2. Принятие Конвенции ООН по морскому праву в 1982 г. создало новые условия для более эффективного управления морскими ресурсами. Новый правовой режим океанов обозначил для прибрежных государств права и обязанности относительно управления рыбохозяйственными ресурсами и их использования в пределах своих исключительных экономических зон (ИЭЗ), что охватывает около 90 % мирового морского рыбного хозяйства.

3. В последние годы мировая отрасль рыбного хозяйства стала очень динамично развивающимся сектором пищевой промышленности, и многие государства стали прилагать усилия для использования новых возможностей путем инвестирования в современный рыболовный флот и перерабатывающие предприятия в ответ на растущий международный спрос на рыбу и рыбные продукты. Однако стало ясно, что многие промысловые ресурсы не выдерживают зачастую неконтролируемый рост эксплуатации.

4. Явные признаки чрезмерной эксплуатации важных рыбных ресурсов, изменения экосистем, значительные экономические потери и международные конфликты, связанные с управлением и торговлей рыбой, создали угрозу долгосрочному устойчивому развитию и роли рыбного промысла в обеспечении населения продовольствием. По этим причинам, Девятнадцатое заседание Комитета по рыбному хозяйству ФАО (КОФИ), проведенное в марте 1991 г., пришло к решению об острой необходимости новых подходов к управлению рыбным хозяйством, включая природоохранные, а также экологические, социальные и экономические аспекты. Комитет обратился в ФАО с просьбой разработать концепцию ответственного рыболовства и Кодекс ведения ответственного рыбного хозяйства для содействия его применению.

5. Затем, Правительство Мексики, совместно с ФАО, организовало Международную конференцию по ответственному рыболовству в Канкуне в мае 1992 г. Канкунская декларация, принятая на этой конференции, была представлена на Саммите ЮНСЕД в Рио-де-Жанейро, Бразилия, в июне 1992 г., которая поддержала создание Кодекса ведения ответственного рыбного хозяйства. Техническая консультация ФАО по рыболовству в открытом море, проведенная в сентябре 1992 г., также рекомендовала разработку Кодекса с целью решения проблем рыболовства в открытом море.

6. На СП заседании Совета ФАО, проведенном в ноябре 1992 г., где обсуждалась разработка Кодекса, было рекомендовано отдать приоритет проблемам открытого моря, а также представить предложения по проекту Кодекса к заседанию Комитета рыбного хозяйства в 1993 г.

7. На Двадцатом заседании КОФИ, состоявшемся в марте 1993 г., были рассмотрены структура и содержание Кодекса, включая решение о разработке Руководства, и были одобрены сроки дальнейшей работы над Кодексом. Комитет также обратился в ФАО с просьбой об ускоренной подготовке предложений, как части Кодекса, по предотвращению смены флагов на рыбацких судах, что влияет на меры охраны и управления в открытом море. В результате, на Двадцать седьмом заседании Конференции ФАО в ноябре 1993 г. было принято Соглашение о содействии соблюдению рыболовными судами в открытом море международных мер по сохранению живых ресурсов и управлению ими, которое, согласно Резолюции 15/93 Конференции ФАО, составляет неотъемлемую часть Кодекса.

8. Кодекс был сформулирован с тем, чтобы его интерпретация и применение были в согласии с соответствующими положениями международных законов, как указано в Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., а также с Соглашением об осуществлении положений Конвенции ООН по морскому праву от 10 декабря 1982 года, которые касаются сохранения трансграничных рыбных запасов и запасов далеко мигрирующих рыб и управления ими 1995 г., и, в числе прочих, с Канкунской декларацией 1992 г. и Декларацией Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию 1992 г., в частности, с Главой 17 Повестки дня на XXI век.

9. Разработка Кодекса осуществлялась ФАО в согласии и сотрудничестве с соответствующими агентствами ООН и другими международными организациями, включая неправительственные.

10. Кодекс ведения ответственного рыбного хозяйства состоит из пяти вводных статей: Предмет и область применения; Цели; Взаимосвязь с другими международными нормами; Исполнение, мониторинг и обновление и Особые требования к развивающимся странам. За этими вводными статьями следует статья «Общие принципы», а затем шесть тематических статей: Управление рыбным хозяйством, Промысловые операции, Развитие аквакультуры, Интеграция рыбного хозяйства в управление прибрежными районами, Действия после вылова рыбы и торговля, а также Исследования в области рыбного хозяйства. Как упоминалось ранее, Соглашение о содействии соблюдению рыболовными судами в открытом море международных мер по сохранению живых ресурсов и управлению ими составляет неотъемлемую часть Кодекса.

11. Кодекс является добровольным, однако определенные его части основаны на соответствующих положениях международного права, в согласии с Конвенцией ООН по морскому праву от 10 декабря 1982 г. В Кодекс также включены положения, которые могут в будущем стать, или уже стали обязательными вследствие других юридически обязательных соглашений между сторонами, такие как Соглашение о содействии соблюдению рыболовными судами в открытом море международных мер по сохранению живых ресурсов и управлению ими от 1993 г.

12. Двадцать восьмое заседание Конференции по Резолюции 4/95 приняло Кодекс ведения ответственного рыбного хозяйства 31 октября 1995 г. Данная Резолюция, среди прочего, содержала просьбу к ФАО о разработке, по мере необходимости, технического руководства для поддержки исполнения Кодекса в сотрудничестве с членами и важнейшими заинтересованными организациями.

1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время роль аквакультуры в производстве продуктов питания, экономическом развитии и продовольственной безопасности признается безоговорочно. Являясь наиболее быстро растущим сектором по производству продуктов питания, аквакультура сдерживает свое обещание по обеспечению растущего народонаселения продуктами питания, поскольку мировой рыболовный промысел в большинстве своем достиг своих биологических пределов производства или ресурсы были истощены по причине перевылова и деградации среды обитания. Менее учитывается роль аквакультуры в сохранении и восстановлении исчезающих видов. Фактически, аквакультуру очень часто называли одной из причин возникновения угрозы водному биоразнообразию.

Аквакультурный сектор добился значительных успехов в увеличении производства и защите окружающей среды. Однако сектор в настоящее время подвергается критике за ухудшение состояния водной среды обитания в результате сбросов, в которых содержатся остатки корма, продукты жизнедеятельности и лекарственные препараты, а также в результате побега разводимой рыбы в естественные условия. Существует потенциал для повышения производства, эффективности и экологической устойчивости сектора, и эффективное управление водными генетическими ресурсами может содействовать разрешению всех вышеуказанных вопросов. Генетически улучшенная рыба (Главы 4, 5, и 6) растет быстрее и использует корм более эффективно, в результате чего сокращаются потери. Для рыбы, устойчивой к заболеваниям, необходимо меньше медикаментозного лечения. Некоторую разводимую рыбу можно сделать стерильной, чтобы сократить шансы ее скрещивания с местными видами или создания одичавших популяций. Управление маточным стадом (Главы 3 и 8), программы генетического улучшения (Главы 4, 5 и 6) и создание генетических банков (Глава 10) помогут улучшить производительность и рентабельность, а также будут способствовать защите и сохранению диких ресурсов (Глава 9). Оценка рисков (Глава 7), придерживаясь международных рекомендаций (Глава 2) и профилактического подхода (Глава 11), поможет обеспечить принятие мудрых решений, которые обезопасят общество и окружающую среду, одновременно позволяя сектору развиваться.

Рыбные генетические ресурсы (FiGR – *Fish Genetic resources*) охватывают весь рыбный и водный беспозвоночный генетический материал, имеющий фактическую или потенциальную ценность для рыболовства и аквакультуры. К ним относятся ДНК, гены, гаметы, отдельные организмы, дикие, разводимые и исследуемые популяции, виды и организмы, генетически измененные (например, путем селекционного разведения, гибридизации, манипуляции хромосомными наборами и передачи генов). Предметом настоящего Руководства является то, каким образом эти ресурсы могут быть использованы, чтобы помочь аквакультуре реализовать свой потенциал полностью и сохранить ценное генетическое разнообразие диких популяций.

Целью настоящего Руководства является предоставление краткого набора инструкций как структуры, которая может использоваться лицами, разрабатывающими политику, и главными управляющими ресурсами для улучшения управления рыбными генетическими ресурсами (FiGR). В данном Руководстве управление понимается как использование и сохранение. Подход к управлению генетическими ресурсами заключается в целостной точке зрения, включающей экономику, сохранение, анализ рисков и неопределенности, а также рост производительности и рентабельности.

1.1 Значимость генетического разнообразия и необходимость управления генетическими ресурсами

Из более чем 230 видов разводимых водных животных и растений, в отношении которых ФАО ведет статистику, лишь некоторые являлись предметом тщательно разработанных программ по управлению генетическими ресурсами. Канальный сом, нильская тилапия, атлантический лосось и многие разводимые виды карпа представляют собой случаи, демонстрирующие значительный прирост производства, возможный благодаря программам генетического улучшения. Только несколько рыбозаводных хозяйств, обычно специализирующихся на лососевых, намеренно избирают для зарыбления потомство, которое либо совпадает, либо полностью отличается от местных рыб. Оценка, проведенная компетентным генетиком, показала, что недостаток запасов, причиной которого является снижение объемов вылова и рост народонаселения может быть компенсирован за счет внедрения программ генетического улучшения в уже существующие аквакультурные системы

(то есть не потребуется никаких дополнительных систем выращивания, земле- или водопользования).

Управление FiGR необходимо не только для увеличения производства. Помимо того, что генетические ресурсы являются неотъемлемо важными для программ генетического улучшения в аквакультуре, они выступают необходимым сырьем, которое позволяет видам адаптироваться к краткосрочным и долгосрочным изменениям в их среде обитания; они дают видам, популяциям и отдельным особям способность к гибкости при столкновении с и адаптации к изменениям в их среде обитания, причиной которых являются как человеческий фактор, так и природные явления. Соответственно, генетическое разнообразие необходимо для постоянной эволюции видов. Генетическое разнообразие взаимодействует с экологическим изменением для создания различных форм, размеров, характеров жизненного цикла, поведения и окраски, что делает морские виды столь ценными и интересными. Некоторые из этих различий проявляются в различных окрасках рыб или разнообразных рисунках чешуи, в то время как другие различия проявляются в различных путях миграции или репродуктивном поведении. Без генетического разнообразия не было бы разнообразия видов, адаптации, селекции и эволюции; в итоге это привело бы к вымиранию, поскольку климат и среды обитания изменяются под воздействием природных факторов или деятельности человека

У карпа обыкновенного на настоящий момент самая долгая история одомашнивания и генетического улучшения для аквакультуры. Генетические улучшения разводимого атлантического лосося, канального сома и нильской тилапии начались недавно. Однако успеху этих программ разведения (то есть изменения генетической структуры диких рыб) и неизбежному использованию такого улучшенного потомства во многих хозяйственных системах сопутствует проблема взаимодействия между генетически улучшенными аквакультурными стадами рыб и других гидробионтов и их дикими родственниками. Дикие родственные формы зачастую поддерживают жизнеспособность рыболовства и поставляют новый генетический материал, который может оказаться полезным для аквакультуры. Аквакультурный сектор находится в выгодном положении и может минимизировать процент вымирания диких родственных форм разводимых видов, что произошло со многими видами в животноводческом секторе и секторе сельскохозяйственных культур.

Управление водными генетическими ресурсами должно иметь четкие задачи для планирования программ и определения степени успеха и воздействия. Эти задачи будут зависеть от целей аквакультурного хозяйства: будь то максимизация производства, максимизация эффективности, сокращение затрат, производство рыбы для выпуска в естественные условия для поддержания рыболовства или пополнение запасов исчезающих видов. Для каждой из этих задач требуются различные программы управления водными генетическими ресурсами.

1.2 Соответствующие статьи Кодекса

Данное Руководство распределено по общим предметным темам, которые важны для управления генетическими ресурсами, а не по отдельным статьям Кодекса. Это позволит лицам, принимающим решения и планирующим ресурсы, быстро найти совет по отдельной области генетики в аквакультуре. Принимая во внимание важность управления генетическими ресурсами для различных целей аквакультуры, есть несколько статей Кодекса, в реализации которой может помочь определенная глава. В данном Руководстве представлена информация по следующим статьям Кодекса (включены соответствующие главы).

СТАТЬЯ 2 – ЦЕЛИ КОДЕКСА

2e *способствовать и содействовать техническому, финансовому и иному сотрудничеству в отношении сохранения рыболовных (включая аквакультуру) ресурсов, управления и развития рыболовства (Главы 2, 5, 6, 7, 9, 10 и 11).*

2g *способствовать охране живых водных ресурсов и их сред обитания и прибрежных территорий (Главы 2, 5, 7, 9, 10 и 11).*

СТАТЬЯ 6 – ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

6.2 *Управление рыболовством должно способствовать поддержанию качества, разнообразия и доступности рыбных ресурсов в достаточном количестве для настоящих и будущих поколений в контексте пищевой безопасности, снижению уровня бедности и устойчивому развитию. Меры по управлению должны не только*

обеспечивать сохранение промысловых видов, но также тех видов, которые принадлежат к той же экосистеме или связаны с или зависят от промысловых видов (Главы 7, 9, 10 и 11).

6.8 *Все важные рыболовные среды обитания в морских и пресноводных экосистемах, таких как заболоченные территории, мангровые леса, рифы, лагуны, районы выращивания и нереста, должны быть по возможности и при необходимости защищены и восстановлены. Особые попытки должны предприниматься для охраны таких мест обитания от разрушения, деградации, загрязнения и других значительных воздействий в результате антропогенной деятельности, которые угрожают здоровью и жизнеспособности рыбных ресурсов (Главы 9 и 10).*

6.12 *В рамках своей компетенции и в соответствии с международным правом, страны-участницы должны сотрудничать на субрегиональном, региональном и глобальном уровнях через организации по управлению рыболовством, другие международные соглашения или договоренности для содействия сохранению и управлению, обеспечения ответственного рыболовства и эффективного сохранения и защиты живых водных ресурсов во всех местах их распространения, принимая во внимание необходимость принятия согласованных мер в районах, которые находятся в пределах и за границами национальной юрисдикции (Главы 2, 5 и 9).*

СТАТЬЯ 7 – УПРАВЛЕНИЕ РЫБОЛОВСТВОМ

7.2.2.d *Сохранение биоразнообразия морских сред обитания и экосистем и охрана видов, находящихся на грани исчезновения (Главы 9 и 10);*

7.4 **Сбор данных и консультации по управлению (Главы 9 и 10)**

7.5.1 *Страны-участницы должны широко применять профилактический подход к сохранению, управлению и использованию живых водных ресурсов с целью защитить их и сохранить водную среду. Отсутствие достаточной научной информации не должно становиться причиной, чтобы отложить меры по сохранению и управлению или отказаться от них (Глава 11).*

7.6.8 Эффективность мер по сохранению и управлению и их возможное взаимодействие должны постоянно контролироваться. При необходимости, такие меры должны пересматриваться или отменяться в свете новой информации (Главы 8, 9 и 11).

СТАТЬЯ 9 – РАЗВИТИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ

9.1.2 Страны-участницы должны содействовать ответственному развитию и управлению аквакультурой, включая предварительную оценку воздействия развития аквакультуры на генетическое разнообразие и целостность экосистем, на основании имеющихся научных данных (Все главы).

9.1.3 Страны-участницы должны разрабатывать и регулярно обновлять планы и стратегии развития аквакультуры, в соответствии с требованиями, чтобы гарантировать, что развитие аквакультуры экологически устойчиво, и обеспечить рациональное использование ресурсов в аквакультуре и иной деятельности (главы 7, 8, 9 и 11).

9.3.1 Страны-участницы должны охранять генетическое разнообразие и заботиться о целостности водных сообществ и экосистем путем соответствующего управления. В частности, необходимо приложить усилия для минимизации вредного воздействия, связанного с вселением в водоемы неместных видов или генетически измененных видов, используемых в аквакультуре, включая рыболовство, основанное на аквакультурных ресурсах, в частности, если существует большая вероятность распространения таких неместных видов или генетически измененных видов в водоемах, находящихся под юрисдикцией других стран-участниц, а также в водоемах, находящихся под юрисдикцией страны происхождения. Страны-участницы, по возможности, должны предпринимать шаги для минимизации негативных генетических, болезнетворных и иных воздействий на дикие популяции со стороны сбегавшей рыбы, выращенной в искусственных условиях (Главы 2, 5, 8, 9 и 10).

9.3.3 Для минимизации рисков передачи заболеваний и других негативных воздействий на дикие и разводимые популяции страны-участницы должны призывать к внедрению соответствующих действий по генетическому улучшению маточных стад, интродукции

неместных видов и производству, продаже и транспортировке икринок, личинок или молоди, производителей или иного живого материала. С этой целью страны должны содействовать подготовке и применению соответствующих национальных кодексов правил и процедур (Главы 3, 4, 5, 8 и 9).

9.3.5 *По необходимости, страны-участницы должны содействовать исследовательской работе и, по возможности, разработке методик разведения видов, находящихся на грани исчезновения, для охраны, восстановления и увеличения их запасов, принимая во внимание насущную необходимость сохранения генетического разнообразия видов, находящихся на грани исчезновения (Главы 3 и 9).*

2 МЕЖДУНАРОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Кодекс поведения для ответственного рыболовства (CCRF – *the Code of Conduct for Responsible Fisheries*) и международное сообщество признают жизненно важную роль генетических ресурсов, включая FiGR, в устойчивом развитии и сохранении. В результате, были разработаны международные механизмы, рекомендации и процессуальные кодексы. Конвенция по биологическому разнообразию (CBD – *the Convention on Biological Diversity*)¹ была разработана после Саммита Земли (*the Earth Summit*) в 1992 году и имеет больше подписавших сторон, чем любой другой документ международного права. Она является юридически обязательным инструментом, требующим сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия (включая генетическое разнообразие), а также справедливого и равного распределения выгод, полученных от этого использования. Признавая необходимость научных и технологических консультаций для выполнения статей Конвенции, CBD создала Вспомогательный орган по научным, техническим и технологическим консультациям (SBSTTA – *Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice*). CBD также учредила Картахенский протокол по биологической безопасности², пакет имеющих обязательную силу международных протоколов по международному движению живых модифицированных организмов, к которым относятся генетически модифицированные организмы (ГМО) (т.е. трансгенные организмы). По аналогии с CCRF, CBD признает необходимость использования и сохранения биоразнообразия.

Осторожный подход к развитию является неотъемлемым признаком как CBD, так и CCRF. Помимо согласия проводить профилактические меры и использовать всю доступную информацию, существует множество мнений о том, что этот подход означает на практике; это и лежит в основе Главы 11.

Конвенция о международной торговле видами дикой флоры и фауны, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС) является еще одним важным инструментом, влияющим на управление FiGR. СИТЕС ограничивает международную торговлю видами, находящимися на грани вымирания в дикой природе, и степень угрозы исчезновения показывает,

¹ www.biodiv.org

² <http://www.cbd.int/biosafety/default.shtml>. Начиная с августа 2008 года, не производится никаких водных ГМО для потребления человеком.

насколько лимитированной должна быть торговля. Некоторые водные виды, находящиеся на грани вымирания в дикой природе, также разводятся в рыбных хозяйствах, например, осетры (*Acipenseriformes*) и аравана или пегас (*Scleropages formosus*). Международная торговля этими видами должна гарантировать, что продаваемые или покупаемые виды поступают из лицензированных хозяйств, а не из дикой природы, и что торговля разводимыми видами не создает рынок для видов, находящихся на грани исчезновения в дикой природе. Для того чтобы разграничить дикие виды и популяции и разводимые виды, использовались генетические маркеры и идентификация генетических ресурсов.

По Рамсарской конвенции о заболоченных территориях (*the Ramsar Convention on Wetlands*) странам поручено определить и охранять заболоченные территории, включая прибрежные и межприливные зоны, имеющие важное национальное значение. Первичным критерием по определению значимости была роль, которую заболоченные территории играют в сохранении биоразнообразия дикой природы, в частности, водоплавающих птиц. Но Конвенция в Рамсаре расширила число критериев, и теперь в них включено историческое использование заболоченных территорий как ресурса рыболовства³ также разрешено разведение местных видов как приемлемой деятельности в районах Рамсара. Однако разведение местных видов может в конечном итоге привести к их одомашниванию и генетическому изменению путем естественного отбора в соответствии с условиями окружающей среды хозяйств и программ улучшения пород.

ФАО и другими организациями были разработаны более детальные рекомендации, косвенно применяемые к управлению FiGR. Для общих вопросов, связанных с FiGR⁴, были разработаны Технические рекомендации по аквакультуре. ФАО, Всемирный центр рыбных ресурсов (*WorldFish Centre (WFC)*) и другие партнеры подписали Найробийскую декларацию (Приложение 1) по рекомендациям о ввозе генетически улучшенной тилапии в Африку. Эти не имеющие обязательной силы решения создают структуру, уточнение которой дается в настоящих рекомендациях в отношении ответственного использования генетически улучшенной рыбы в аквакультуре.

³ www.ramsar.org/res/key_res_vi.2.htm

⁴ ФАО. 1997. Aquaculture development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Рим, ФАО.

Вопросы состояния здоровья рыбы играют важную роль в торговле и перемещении водных видов. Распространение генетически улучшенных видов (Глава 5) требует согласования со Всемирной организацией здравоохранения животных (OIE – *the World Organization for Animal Health*) в отношении трансграничных патогенных организмов. Были разработаны технические рекомендации⁵ согласующиеся с требованиями OIE и Всемирной торговой организации (ВТО).

За последнее время ФАО достигла значительных успехов в отношении водных генетических ресурсов. Отсутствие должного согласованного управления рыбными генетическими ресурсами и политики фактически превращается в проблему, встающую на пути быстрого расширения аквакультуры. Участники ФАО и международное сообщество требуют перехода к более ответственной, устойчивой и производительной форме аквакультуры. Ее успех будет во многом зависеть от эффективного управления рыбными генетическими ресурсами.

Межправительственная комиссия ФАО по генетическим ресурсам продовольствия и сельского хозяйства на своей Одиннадцатой сессии признала важность и уязвимость водных генетических ресурсов, их роль в экосистемном подходе к продовольствию и сельскому хозяйству, а также их вклад в решение проблем, возникающих в результате климатических изменений. Было согласовано, что в десятилетнюю Многогодичную программу по работе Комиссии ФАО будет включено предоставление информации по водным генетическим ресурсам для развития устойчивого и ответственного рыболовства и аквакультуры в сотрудничестве с другими форумами и организациями, такими как COFI или UNCLOS⁶.

⁵ FAO. 2007. Aquaculture development. 2. Health management for responsible movement of live aquatic animals. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Suppl. 2. Рим, ФАО. [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf)

⁶ FAO/CGRFA. 2007. Report of the Eleventh Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. CGRFA-11/07/REPORT. [ftp://ftp.fao.org/ag/cgrfa/cgrfa11/r11repe.pdf](http://ftp.fao.org/ag/cgrfa/cgrfa11/r11repe.pdf)

Рамка 1. Терминология

Терминология, используемая для описания организмов, генетически отличающихся от диких представителей, является чрезвычайно важной, поскольку она связана с правом и политикой и повлияет на тот факт, насколько хорошо широкая общественность принимает продукт или процесс. Следовательно, искусственно выращенная рыба, которая была каким-либо образом генетически изменена людьми, должна быть четко и точно охарактеризована. К сожалению, для описания генетически измененной рыбы использовались многие термины. Использование не стандартизовано и может привести к замешательству среди потребителей и нормативным трудностям, например, как при обращении за лицензиями на выращивание или разрешениями на торговлю. Активные участники процесса разведения видов в аквакультуре и инспекторы регулятивных органов должны знать об этих трудностях.

Рыба, произведенная в аквакультуре, в потенциале может генетически отличаться от своих диких предков в следствие отбора, связанного с условиями окружающей среды в рыбопитомниках и на хозяйствах (Главы 3 и 9), и/или целенаправленных программ генетического улучшения (Глава 4). В аквакультуре владельцы хозяйств стремятся разводить самую лучшую и рентабельную рыбу и показать потребителю, что их продукт натуральный и здоровый; потребители же, в свою очередь, преследуют именно эти качества в продуктах питания. Обычно этого можно добиться посредством маркирования и маркетинга. Настоящие Рекомендации затрагивают вопросы маркировки для потребителей лишь в общих чертах (Глава 12). Но для правительственного контроля разводимой рыбы и ее продажи необходимо понимать используемые генетические технологии и изменения, происходящие в разводимых организмах в результате использования этих технологий.

Общим термином для всех вызванных человеком изменений в каком-либо организме является генетически *измененный*. Этот термин должен использоваться в качестве нейтрального утверждения факта без выражения суждения, является ли это изменение хорошим или плохим, является ли оно результатом развития современной биотехнологии или произведено традиционными методами, является ли изменение намеренным или случайным. Этот термин подразумевается как очень общий, отражающий возможность того, что в отношении генетически измененного организма могут существовать экологические или совокупные риски вне зависимости от того, каким образом он был изменен (Глава 7).

Очень важным представляется правильное использование следующих терминов, поскольку они связаны с потребительским восприятием и правительственным контролем. Дополнительные термины можно найти в глоссариях ФАО¹.

Генетически модифицированный организм (ГМО): Какой-либо организм, в котором генетический материал был изменен людьми посредством генетических или клеточных технологий. Генетически модифицированной рыбой обычно является трансгенная рыба (то есть рыба с генами, внесенными из другого организма таким образом, который невозможен в результате естественных процессов). В настоящее время потребителю не поставляется никакой генетически модифицированной рыбы. Сейчас действует несколько ограничений на международное перемещение ГМО. Этот класс организмов регулируется Картахенским протоколом CBD². (*the Cartagena Protocol of the CBD*). Кроме того, многие группы потребителей в настоящее время выступают против использования ГМО, включая генетически модифицированную рыбу. Таким образом, владелец рыбоводческого хозяйства, который хочет импортировать рыбу, генетически улучшенную посредством селекционного разведения, не должен использовать термин *генетически модифицированная*, а использовать термин *генетически улучшенная посредством селекционного разведения (или путем традиционного разведения)*.

Гибрид: Потомство от скрещивания родителей, принадлежащих к различным видам или разновидностям. Потомство от скрещивания родителей того же вида – это **внутривидовые гибриды**, в то время как потомство от скрещивания родителей из различных видов – это **межвидовые гибриды**. Это различие очень важно, поскольку в некоторых регионах действуют законы, запрещающие скрещивание различных видов или ввоз межвидовых гибридов, тогда как скрещивание или ввоз тех же видов может не регулироваться.

Живой модифицированный организм (ЖМО): «Живой организм, обладающий нестандартной комбинацией генетического материала, полученной благодаря использованию современных биотехнологий». Синоним ГМО, использующийся, в основном, в Конвенции по биологическому разнообразию (*the Convention on Biological Diversity*).

¹ www.fao.org/fi/glossary/default.asp и www.fao.org/biotech/index_glossary.asp

² www.cbd.int/biosafety/default.shtml

Полиплоиды: Растения или животные, имеющие более 2 наборов хромосом (которые называются диплоидами и обозначаются $2N$). Организмы с 3 наборами называются триплоиды ($3N$), с четырьмя – тетраплоиды ($4N$). Это разграничение важно, потому что диплоиды и тетраплоиды обычно способны к размножению, а триплоиды обычно стерильны. При скрещивании тетраплоидов с диплоидами возможно получение триплоидов.

Традиционное разведение: относится к программам селекционного разведения, в которых не используются современные технологии манипуляции генами (Глава 4). Традиционное разведение на протяжении тысячелетий применялось и совершенствовалось при выращивании сельскохозяйственных животных и растений.

Международная группа экспертов заявила, что гораздо важнее понять, какие фактические изменения принесло генетическое изменение разводимой рыбы, чем те методики, благодаря которым эти изменения стали возможными³. То есть, рассмотрение вопросов, таких как, например: потребляет ли рыба больше корма или имеет более высокий показатель конверсии, обладает ли она более высокой устойчивостью к воздействию окружающей среды, является ли плодовитой, более питательной, может ли стать инвазивным видом или вырабатывает какие-либо новые вещества, которые неизменная рыба не вырабатывает, - является более важным в оценке риска (Глава 7), чем то, какая технология использовалась для выращивания организма. Действующая политика, хозяйственная практика и общественное восприятие не всегда признают этот факт; рекомендовано использование более информативных описаний для характеристики фактических изменений в организме в результате применения генных технологий.

³ Стр. 253, в книге Pullin, R.S.V., Bartley, D.M., Kooiman, J. (ред). 1999. О политике сохранения и устойчивого использования водных генетических ресурсов. Протоколы конференции Международного центра управления живыми водными ресурсами (ICLARM) No. 59. Манила, Филиппины. «... *при формулировке политики биологической безопасности и регулирования живых модифицированных организмов, характеристики организмов и потенциально доступных сред являются намного более важными вопросами, чем процессы производства этих организмов*».

3 УПРАВЛЕНИЕ МАТОЧНЫМ СТАДОМ: ИНБРИДИНГ, ДРЕЙФ ГЕНОВ И ОДОМАШНИВАНИЕ⁷

3.1 Введение

Аквакультура является не только важным сектором продовольственного производства, но и необходимым составляющим элементом рекреационного и коммерческого рыболовства и обязательным инструментом управления программами сохранения. Как и в отношении всех типов животноводства, в аквакультуре людям нужно вмешиваться и управлять жизненными циклами видов. Как только это происходит, мы производим необратимые изменения в генофонде популяции. Эти изменения могут быть желательными, в случае когда проводятся программы селекционного разведения для улучшения роста (Глава 4) или когда в результате одомашнивания появляется рыба, лучше адаптирующаяся к среде питомника. К несчастью, мы также производим нежелательные, вредные изменения в геноме путем инбридинга и дрейфа генов (раздел 3.3), которые снижают жизнестойкость и рост и увеличивают нестабильность развития. Несмотря на то, что одомашнивание выгодно для разведения рыбы в качестве продукта питания, оно опасно для рыбы, живущей в дикой природе, потому что рыба, хорошо адаптированная к среде питомника, может быть плохо адаптирована к жизни в дикой среде (Глава 8). В данной главе говорится об управлении маточным стадом, которое включает в себя контроль инбридинга и дрейфа генов, а также процесс одомашнивания.

3.2 Инбридинг

Инбридинг – это скрещивание родственных особей. Инбридинг является одной из трех программ традиционного разведения. Он использовался для выведения новых пород, а также может использоваться совместно с гибридизацией (кроссбридингом) для получения одинаковых выделяющихся особей (Глава 4). Несмотря на то, что запланированный и направленный инбридинг может быть выгодным, случайный и незапланированный инбридинг приведет к проблемам.

⁷ Автор – Douglas Tave.

На генетическом уровне, инбридинг повышает гомозиготность потомства (то есть генетическое сходство), но в то же время это означает, что в результате снижается гетерозиготность (то есть генетическое разнообразие). Гомозиготность появляется также в том случае, когда происходит скрещивание неродственных особей, и на генетическом уровне две формы гомозиготности идентичны. Даже несмотря на идентичность двух форм гомозиготности, различие проводится в том, каким образом эта гомозиготность получается и какие у нее последствия.

Родственные особи более схожи генетически, чем неродственные особи. Следовательно, при скрещивании родственных особей получается потомство, которое является более гомозиготным, чем потомство, получаемое в результате скрещивания неродственных особей; чем ближе самец с самкой друг к другу на родственных ступенях, тем более гомозиготным является потомство.

Этот вопрос вызывает беспокойство, потому что все животные имеют небольшое число вредных или разрушительных рецессивных аллелей⁸. В большинстве случаев на отдельную особь не оказывается никакого воздействия, и она выживает, потому что у нее есть только один вариант опасного аллеля, унаследованный от одного из родителей (особь гетерозиготна); для получения опасного эффекта или летального исхода необходимо два варианта аллеля (от обоих родителей) (особь гомозиготна). Поскольку родственные особи более схожи, нежели неродственные, у них зачастую бывает один и тот же вредный рецессивный аллель. Две неродственные особи могут иметь только один или два в совокупности, в то время как родственные особи обычно имеют большее количество в совокупности; чем ближе родство, тем больше общих аллелей у них может быть. При скрещивании родственных особей, конъюгация и последующее выражение этих опасных рецессивных аллелей в потомстве приводит к инбредной депрессии – снижению темпов роста, жизнестойкости, плодовитости и росту числа аномалий. Изучения рыбы показали, что у

⁸ Аллель – это альтернативная форма гена.

инбредной рыбы есть эти классические клинические признаки инбредной депрессии⁹ а также снижена доля отдачи при выпуске в дикую среду¹⁰.

Негативные последствия инбридинга обычно не проявляются незамедлительно. Инбредная депрессия зачастую замедленная (то есть может проявиться лишь через несколько поколений после начала инбридинга). То, как быстро происходит инбредная депрессия, зависит от количества инбридинга и его особенностей.

Представленные выше факты могут дать владельцам хозяйств ошибочное представление о том, что инбридинг является главной причиной, которая кроется за большинством их проблем с производительностью, и поэтому они могут прийти к неверному заключению, что после инбридинга их особи уже не очень хорошего качества, когда замечают деформированную особь или наблюдают снижение продуктивности. Дефекты и снижение продуктивности зачастую возникают по причине негенетических факторов, таких как ошибки развития, токсины, недостаток питательных веществ или погода, и могут вовсе не являться последствиями инбридинга.

Поскольку инбридинг – это скрещивание родственных особей, то если особям прикреплять индивидуальные метки, то будет легко предотвратить инбридинг или свести к минимуму скрещивание родителей-детей, братьев-сестер и полусибсов. Если позволять скрещивание особей, находящихся – самое близкое – в отношениях троюродных сибсов, то инбридинг никогда не станет проблемой.

При проведении программ селекционного разведения инбридинг неизбежен, поскольку когда воспроизводиться позволяют только лучшим особям, то зачастую скрещиваются родственные особи. В программе селекционного разведения очень важна минимизация инбридинга, потому что не хочется использовать генетическую выгоду, полученную в результате селекции, просто для компенсации инбредной депрессии.

⁹ Например, H.L. Kincaid, 1976. Effects of inbreeding on rainbow trout populations. Деятельность Американского рыболовного общества, 105:273-280; H.L. Kincaid. 1976. Inbreeding in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Журнал Рыболовного исследовательского совета Канады, 33:2420-2426; G.-S. Su; L.-E. Liljedahl, G.A.E. Gall, 1996. Effects of inbreeding on growth and reproduction traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 142:139-148.

¹⁰ Ryman, N. 1970. A genetic analysis of recapture frequencies of released young salmon (*Salmo salar*) L. *Hereditas*, 5:159-160.

С этой целью было разработано несколько программ для минимизации инбридинга при проведении программы селекционного разведения¹¹. Несмотря на важность предотвращения систематического скрещивания близких родственных особей в программах селективного разведения, случайное (произвольное) скрещивание близких родственных особей (например, скрещивание братьев-сестер) в крупномасштабных программах скрещивания не является такой серьезной проблемой, как в небольших популяциях, потому что возможно, что потомство, произведенное в результате этого скрещивания, будет в следующем поколении скрещиваться с неродственными особями, в результате чего получится рыба без инбридинга¹².

Тогда как в животноводстве просто присвоить индивидуальный ярлычок каждому животному и таким образом предотвратить скрещивание родственных особей, в случае с рыбой это сделать намного сложнее. Поэтому специалистам, занимающимся рыбоводством, нужно управлять популяцией как одним целым, чтобы минимизировать накопление инбридинга. Для этого им нужно следить за эффективным числом размножения (N_e).¹³

Одним способом определения N_e является соотношение числа мужских особей и числа женских особей, участвующих в процессе воспроизводства и оставляющих жизнеспособное потомство:

$$N_e = \frac{4(\text{число женских особей}) (\text{число мужских особей})}{(\text{число женских особей}) + (\text{число мужских особей})}$$

¹¹ Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M.; Haffray, P. и Chevassus, B. 2006. Effect of different mating designs on inbreeding, genetic variance and response to selection when applying individual selection in fish breeding programs. *Aquaculture*, 252:161-170; Gallardo, J.A.; Lhorente, J.P.; Garcia, X. и Neira, R. 2004. Effects of nonrandom mating schemes to delay the inbreeding accumulation in cultured populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61:547-553; Gjerde, B., Gjoen, H.M. и Villanueva, B. 1996. Optimum designs for fish breeding programmes with constrained inbreeding. Mass selection for a normally distributed trait. *Livestock Production Science*, 47:59-72; Tave, D. 1999. Inbreeding and brood stock management. *Fisheries Technical Paper*. No. 392. Рим, ФАО. 122с.

¹² Dupont-Nivet, M.; Vandeputte, M. 2005. Does avoiding full sibs matings preserves genetic variability in a selection scheme? Case of single pair matings. *Aquaculture*, 247:12.

¹³ Hallerman, E. 2003a. Inbreeding. Страницы 215-237 в Е.М. Hallerman (ред.) *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; Tave, D. 1993. *Genetics for Fish Hatchery Managers*, 2-е изд. Нью-Йорк, Van Nostrand Reinhold; см. примечание 14.

Таким образом, N_e определяется числом мужских особей, которые оставляют жизнеспособное потомство, числом женских особей, оставляющих жизнеспособное потомство, и половым соотношением разводимой рыбы. Это означает, что N_e максимизируется увеличением как числа мужских, так и числа женских рождающихся особей, а также приведением полового соотношения как можно ближе к 1:1. Асимметричные половые соотношения, зачастую используемые в аквакультуре, значительно снижают N_e по сравнению с количеством отнерестившихся производителей. Наибольшее влияние на N_e оказывает та половая группа, которая представлена наименьшим числом (например, когда используется несколько мужских особей, N_e приблизительно равно числу мужских особей, а не общему числу).

Причина, по которой биологам, работающим в области аквакультуры и рыболовства, необходимо управлять N_e , заключается в том, что оно обратно пропорционально связано с инбридингом:

$$F = 1/2N_e$$

где F – это объем полученного инбридинга (0-100%) в одном поколении; F – это процентный рост гомозиготности. Данная формула показывает, что по мере снижения N_e увеличивается F (Рисунок 3.1); $N_e < 50$ дает большой объем инбридинга на поколение.

В закрытой популяции, когда происходит инбридинг, он снижает N_e следующего поколения:

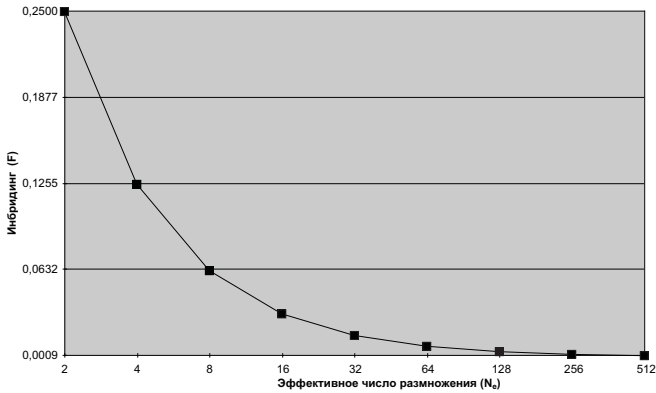
$$N_{ef} = N_e / 1 + F$$

где N_{ef} – это эффективное число разведения в закрытой популяции с $F > 0\%$. На практике, общее число F , получаемое на протяжении нескольких поколений, можно подсчитать, суммировав F каждого поколения, не учитывая предыдущий инбридинг.

Насколько большим должно быть N_e для минимизации инбридинга? К сожалению, не существует универсального показателя F , которого биологи, работающие в области аквакультуры и рыболовства, хотели бы избежать,

Рисунок 3.1

Соотношение между N_e и F . F – это инбридинг (процентное увеличение гомозиготности), полученный в одном поколении в популяции без предварительного инбридинга.



то есть не существует универсального показателя N_e . Рекомендуется показатель N_e от 30 до 500, 50 является самым распространенным¹⁴. Чтобы подсчитать желаемое N_e , нужно определить, какой уровень генетического риска является приемлемым; в этом случае, оно является максимальным показателем инбридинга, который желателен после определенного количества поколений¹⁵. Кроме этого, вопросы относительно инбридинга: нужно ли управлять N_e и насколько большим должен быть показатель N_e , зависят от целей/задач питомника или рыбоводного хозяйства, если рыба нерестится, и от того, каким образом ведется управление маточным стадом.

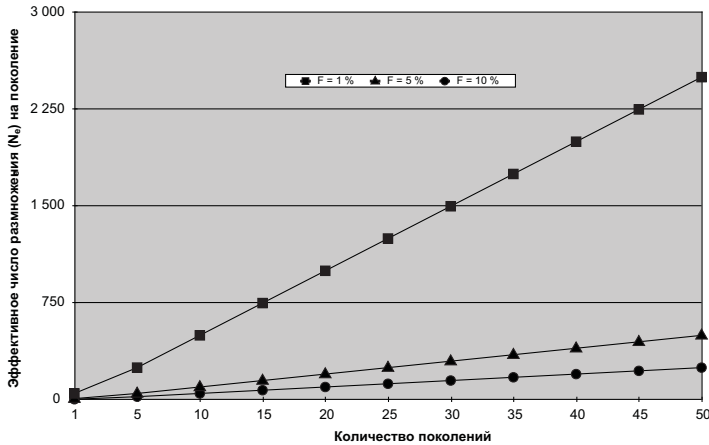
На рисунке 3.2 показаны постоянные числа N_e , необходимые для получения F в размере 1%, 5%, и 10% на 1-50 поколений. Общая рекомендация в отношении $N_e = 50$ эффективна при минимизации инбридинга для одного поколения ($F = 1\%$), но становится незначительным после 10 поколений ($F = 10\%$).

¹⁴ См. сноски 11 и 13.

¹⁵ См. сноски 11 и 13.

Рисунок 3.2

N_e , необходимое на поколение, для получения F в размере 1%, 5%, и 10% на 1-50 поколений.



Владельцам рыбоводных хозяйств, которые приобретают рыб-производителей из племенных центров по разведению (Глава 5), скрещивают их и получают икру один раз и затем приобретают новых особей-производителей; либо владельцам хозяйств, которые приобретают генетически улучшенную молодь из питомников-«множителей» для подращивания на каждый сезон выращивания (Глава 6), не нужно беспокоиться об инбридинге или управлении N_e . Племенные центры и питомники по размножению должны управлять своими запасами для минимизации инбридинга, но владельцам указанных хозяйств не нужно беспокоиться об инбридинге.

Для владельцев самостоятельных и малых хозяйств, которые содержат и проводят нерест своих собственных маточных стад, может оказаться сложным управлять инбридингом, но им нужно оказывать поддержку в попытках осуществить такое управление, потому что улучшение навыков животноводства приведет к повышению продуктивности. Если им удастся сохранить постоянным показатель $N_e = 50$ на протяжении 5 поколений, то тогда $F \leq 5\%$. Благодаря этой рекомендации, возможно добиться хорошего

краткосрочного (5 поколений) управления, кроме того, это требование не чрезмерно, и многие владельцы малых хозяйств могут включить его в годовые рабочие планы.

Крупные коммерческие хозяйства и те, которые специализируются на подросшей молоди или проводят программы селекционного разведения, должны следить, чтобы $F = 5-10\%$ и $F = 5\%$ являлись желаемой целью для 10-20 поколений, для того чтобы селекция и одомашнивание не применялись только для компенсации инбредной депрессии. Хозяйства, занимающиеся разведением рыбы для целей рыболовства или программ сохранения, должны следить, чтобы $F = 1-5\%$ и $F = 1\%$ являлись желаемой целью для 20 поколений, как минимум, поскольку основное усилие в управлении в этих хозяйствах направлено на предотвращение изменений в генофонде в течение длительного периода времени.

Главным принципом на Рис. 3.2 является то, что N_e – это постоянные N_e . N_e может быть больше желаемого числа, но если оно ниже только в одном поколении, цель инбридинга достигнута не будет, потому что среднее число N_e на протяжении ряда поколений t – это не среднее арифметическое, а среднее гармоническое:

$$N_{e \text{ среднее}} = 1/t(1/N_{e1} + 1/N_{e2} + \dots 1/N_{et})$$

Эта формула показывает, что поколение с минимальным N_e оказывает непропорциональное воздействие на среднее число N_e .

Существуют определенные управленческие методики, которые могут использоваться для повышения N_e . Самым очевидным способом увеличения N_e является увеличение количества рыбы, нерестящейся и производящей жизнестойкое потомство, и нерест происходит с половым показателем 1:1. Одним из способов увеличения численности рыб-производителей, которые идут на нерест для выполнения производственных норм, является содержание только небольшой части каждой семьи. Эти простые принципы не соответствуют стандартному управлению культивированием рыб; специалисты в области аквакультуры стараются подвергать нересту, по возможности, меньшее количество рыб, что обусловлено плодовитостью рыб, и зачастую используют крайне

асимметричный половой показатель, потому что благодаря этому они могут содержать очень небольшое количество рыб-производителей.

Вторая методика заключается в переходе от случайного спаривания (обычная практика в большинстве питомников) к племенному спариванию¹⁶. При племенном спаривании, каждая женская особь оставляет одну дочь, и каждая мужская особь оставляет одного сына в качестве производителей для следующего поколения (может быть больше одной особи, если все дают одинаковое число потомков). Племенное спаривание резко увеличивает N_e , и когда половой коэффициент равен 1:1, N_e в два раза превышает число нерестящихся особей. Но для этого необходимо, чтобы каждая семья выращивалась отдельно до тех пор, когда можно будет пометить рыбу, чтобы удостовериться, что каждый родитель оставит потомство нужного пола.

Третья методика заключается в уравнивании количества потомства от каждого спаривания, потому что неравные репродуктивные достижения снижают N_e ¹⁷. Но для этого каждую семью нужно выращивать отдельно до тех пор, пока не станет возможным уравнивание численности семей.

Четвертой методикой является изменение методов выдавливания икры¹⁸. Если осуществляется выдавливание икры из рыбы, то икра не должна объединяться или складываться последовательно. Такой метод приводит к гаметической конкуренции, и одна мужская особь может оплодотворить большую часть икринок, что в итоге даст N_e намного меньше ожидаемого.

Пятой методикой является растягивание поколений. На Рисунке 3.2 желаемое N_e дано в отношении поколений, но не лет. Поколение – это период времени для замены родителей их потомством. Если целью является удержание инбридинга ниже определенного уровня на

¹⁶ Tave, D. 1984. Effective breeding efficiency: An index to quantify the effects that different breeding programs and sex ratios have on inbreeding and genetic drift. *Progressive Fish-Culturist*, 46:262-268.

¹⁷ Fiumera, A.C.; Porter, B.A.; Looney, G.; Asmussen, M.A. и Avise, J.C. 2004. Maximizing offspring production while maintaining genetic diversity in supplemental breeding programs of highly fecund managed species. *Conservation Biology*, 18:94-101.

¹⁸ Withler, R.E. 1988. Genetic consequences of fertilizing Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) eggs with pooled milt. *Aquaculture*, 68:15-25; Withler, R.E. 1990. Genetic consequences of salmonid egg fertilization techniques. *Aquaculture*, 85:326.

протяжении 20 лет и если обычно используется интервал поколений, равный 2 годам, то в течение 20-летнего плана пройдет 10 поколений. Но если интервал поколений растягивается на 3 года, то в течение 20 лет пройдет только 7 поколений, в результате чего подразумевается, что для достижения желаемой цели может использоваться меньшее N_e .

Шестым способом является изменение популяции с закрытой на открытую популяцию. Рассуждения, приведенные выше, основывались на допущении, что популяция закрыта. Если 10-25 процент новых рыб-производителей вводятся заново в каждом поколении, то объем получаемого инбридинга может быть значительным образом снижен¹⁹. В менеджменте рыболовства и сохранения один подход заключается в том, чтобы ловить диких рыб-производителей и забирать у них икру или собирать икру диких особей, отнерестившихся в естественных условиях, и выращивать из нее рыбу. Но нужна особая внимательность, если рыб-производителей изымают из дикой среды, чтобы избежать выработки маточного стада (то есть опасного сокращения числа рыбы, которая будет нереститься естественным путем в условиях дикой природы).

При седьмом методе владелец рыбного хозяйства может содержать две несвязанные популяции и получать гибридов. Инбридинг гибридов равен нулю; гибридизация часто используется в программах по разведению растений и животных для устранения или компенсации инбридинга. Если сохранять множественные несвязанные (неродственные) линии, то для предотвращения инбридинга на протяжении нескольких поколений может использоваться программа чередующегося скрещивания²⁰.

Также для увеличения N_e , что снизит инбридинг, может использоваться система факториального (генного) скрещивания²¹.

¹⁹ Bartley, D.M.; Kent, D.B. и Drawbridge, M.A. 1995. Conservation of genetic diversity in a white seabass hatchery enhancement program in southern California. American Fisheries Society Symposium, 15:249-258.

²⁰ Kincaid, H.L. 1977. Rotational line crossing: An approach to the reduction of inbreeding accumulation in trout brood stocks. *Progressive Fish-Culturist*, 39:179-181. См. приложение 11.

²¹ Busack, C. и Knudsen, C.M. 2007. Using factorial mating designs to increase the effective number of breeders in fish hatcheries. *Aquaculture*, 273:24-32.

3.3 Дрейф генов

Дрейф генов – это случайные изменения в повторяемости генов, то есть те изменения, которые не происходят благодаря селекции, миграции или мутации. Причины таких случайных изменений могут быть естественными, например, оползень, разделяющий популяцию, или буря, уничтожающая большую часть популяции или разрушающая часть среды обитания, либо антропогенными, когда специалисты по аквакультуре приобретают или спаривают свою рыбу.

При обычных условиях, количество рыбы, которая размножается и оставляет жизнеспособное потомство, намного меньше числа взрослых особей; этот факт во многом присущ аквакультуре. Когда эта подвыборка спаривается, есть шанс того, что частотность одного или более генов будет отличаться у потомства по сравнению с поколением родителей, и чем меньше особей спаривается, тем вероятнее изменения. Конечное последствие дрейфа генов заключается в утрате аллелей, и чем ниже частотность гена, тем больше вероятность, что аллель будет утрачен в ходе дрейфа генов. Работа специалистов по аквакультуре также приводит к дрейфу генов, когда они выбирают, какую рыбу приобрести для основной популяции. Приобретение рыбы очень важно, и небольшая выборка часто дает то, что называется эффектом основателя – состоянием, при котором дрейф генов создает популяцию, в которой частотность генов заметно отличается от частотности таковых в популяции, в которой они родились. Племя основателей определяет максимальную генетическую изменчивость, которая будет существовать в закрытой популяции.

Утрата генетической изменчивости делает дикую популяцию более восприимчивой и близкой к вымиранию, потому что она утратила генетическую изменчивость, которая могла бы позволить ей адаптироваться к изменениям в среде. Была проведена оценка стад

нескольких питомников, и выяснилось, что несмотря на многократные усилия, приложенные для того, чтобы не допустить дрейфа генов, он все-таки имел место и снизил генетическую изменчивость²². В результате утраты генетической изменчивости посредством дрейфа генов стало невозможным проведение селекции для повышения показателей роста²³, а также увеличилось число рыбы с пороками развития²⁴.

Соотношение между N_e и дрейфом генов представлено следующим образом:

$$\sigma_{\Delta q}^2 = pq/2N_e$$

где $\sigma_{\Delta q}^2$ — это колебание изменения в частотности генов (так измеряется дрейф генов), p и q — частотность аллелей p и q для определенного гена.

Как и в случае с инбридингом, дрейф генов обратно пропорционально связан с N_e ; чем меньше N_e , тем вероятнее, что дрейф генов изменит частотность генов. Воздействие снижения N_e на генную концентрацию посредством дрейфа генов проявляется незамедлительно.

Поскольку в управляемых популяциях сложно предотвратить дрейф генов, в целях управления дрейф генов должен быть разделен на приемлемые и неприемлемые изменения. Изменение в частотности аллеля, скажем, с 0.4 до 0.38 может не являться критическим и поэтому может классифицироваться как приемлемое, но изменение в частотности аллеля до 0.0 является критическим, и его нужно предотвращать, то есть

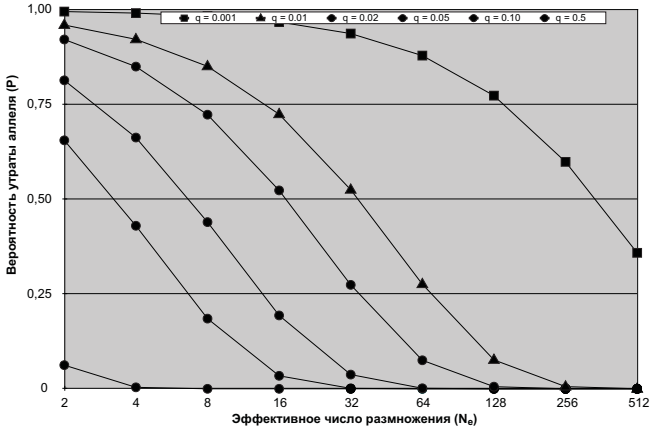
²² Allendorf, F.W. и Phelps. S.R. 1980. Loss of genetic variation in a hatchery stock of cutthroat trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109:537-543; Hallerman, E.M.; Dunham, R.A. и Smitherman, R.O. 1986. Selection or drift—isozyme allele frequency changes among channel catfish selected for rapid growth. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115:60-68; Vuorinen, J. 1984. Reduction of genetic variability in a hatchery stock of brown trout, *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology*, 24:339-348.

²³ Tave, D. и Smitherman, R.O. 1980. Predicted response to selection for early growth in *Tilapia nilotica*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109-439-445; Teichert-Coddington, D.R. и Smitherman, R.O. 1988. Lack of response by *Tilapia nilotica* to mass selection for rapid early growth. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117:297-300.

²⁴ Leary, R.F.; Allendorf, F.W. и Knudsen; K.L. 1985. Developmental instability as an indicator of reduced genetic variation in hatchery trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 114:230-235.

Рисунок 3.3

Вероятности утраты аллеля ($f = 0,001-0,5$) для различных N_e . Эти вероятности определены для одного события (нерестовый период или приобретение маточного стада)



оно классифицируется как неприемлемое. Следовательно, необходим контроль N_e для минимизации утраты аллелей; поскольку редкие аллели утрачиваются скорее, чем обычные, целью управления должно являться предотвращение утраты редких аллелей в результате дрейфа генов.

Вероятность утраты аллеля с частотностью q через дрейф генов в одном поколении высчитывается следующим образом:

$$P = (1 - q)^2 N_e$$

Вероятности утраты аллеля ($f = 0,001-0,5$) в одном поколении показаны на Рисунке 3.3. На нем показано, что для предотвращения утраты обычных аллелей ($f > 0,2$) необходимо малое N_e , в то время как для редких аллелей ($f < 0,01$) необходимо большое N_e .

При управлении N_e популяции, чтобы минимизировать дрейф генов, нужно определить приемлемый генетический риск; в этом случае, он является гарантией сохранения аллеля $(1,0 - P)$ определенной частотности

после определенного числа поколений²⁵. Генетики и биологи популяций считают, что аллель, чей $f = 0,01$, способствует полиморфизму, поэтому целью управления хозяйствами и программ сохранения должно являться сохранение аллелей, чей $f = 0,01$ (если это происходит, то большая часть обычных аллелей также будет сохранена). Сохранение редких аллелей не столь важно для разведения рыбы как продукта питания. Если редкие аллели повышают жизнестойкость, рост и другие черты культивируемого объекта, то одомашнивание увеличит их частотность. По этой причине генетический риск для владельцев хозяйств по разведению рыб как продукта питания может заключаться в сохранении аллелей, чей $f = 0,05$.

Для 95% гарантии сохранения аллелей необходимы постоянные числа N_e ($f = 0,005-0,1$) на протяжении 1-50 поколений, как показано на Рисунке 3.4. Метод, использованный для подсчета этих чисел, описан в книге ФАО по контролю инбридинга и дрейфа генов в популяциях питомников²⁶. Легко предотвратить утрату аллеля, f которого больше или равен 0,05, но может быть сложнее, если $f < 0,005$.

Также как и в случае с контролем инбридинга, владельцам хозяйств, которые не спаривают рыбу для получения икры или проводят нерест всего один раз и затем приобретают новых рыб-производителей, нет необходимости управлять своими популяциями для минимизации дрейфа генов. Хотя большинство натуральных и малых хозяйств не смогут понять дрейф генов или его последствия, многие могут с легкостью включить в свою политику тот тип управления, который поможет сократить его воздействия. Если им удастся удержать N_e на постоянном уровне $N_e = 45$ на протяжении 5 поколений, то они смогут получить 95% гарантию сохранения аллеля, чей $f = 0,05$. Это требование не чрезмерно, и благодаря ему возможно добиться хорошего краткосрочного (5 поколений) генетического управления.

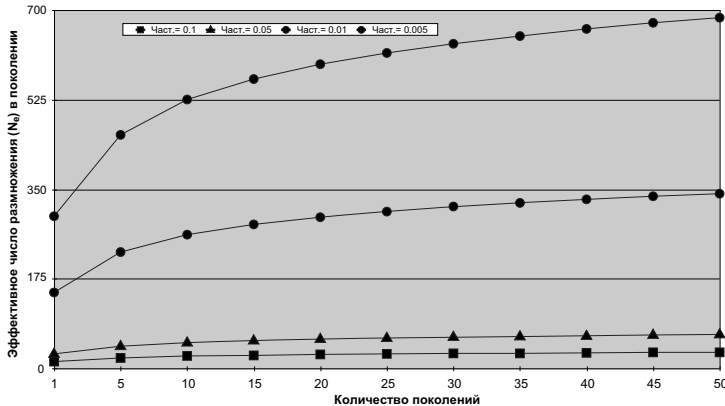
Крупные коммерческие хозяйства и хозяйства, занимающиеся разведением молоди или проводящие программы селективного разведения, с легкостью могут добиться сохранения аллелей, чей $f = 0,05$; при $N_e = 59$ появляется 95% гарантия на 20 поколений. Цель сохранения аллелей с $f = 0,01$ должна быть достижима для рыболовных хозяйств/программ сохранения; при $N_e = 97$ появляется 95% гарантия на 20 поколений. Показатели на Рисунке

²⁵ См. сноску 11.

²⁶ См. сноску 11.

Рисунок 3.4

N_e , необходимое в каждом поколении для 1-50 поколений для получения 95% гарантии сохранения аллелей, чей $f = 0,1-0,005$.



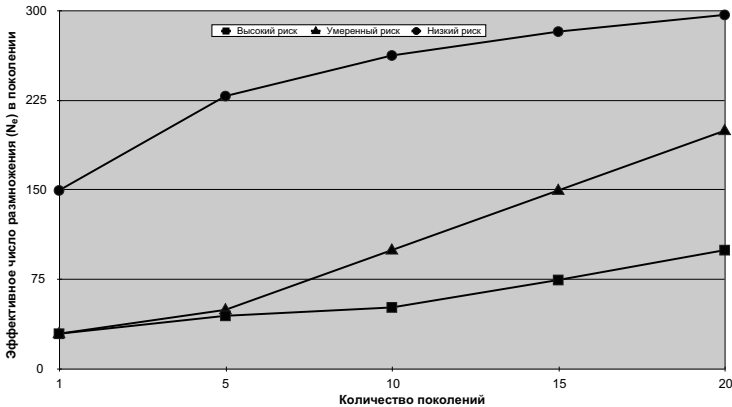
3.4 приведены для одного аллеля. Если имеется 100 таких аллелей, то 95% гарантия означает, что 95 будут сохранены, а 5 – утрачены. Методики управления, описанные в разделе, посвященном инбридингу, могут также использоваться для увеличения N_e с целью сокращения дрейфа генов.

Рекомендованный показатель N_e для сокращения дрейфа генов варьируется от 500 до 5 000, где 500 – самый распространенный показатель²⁷. Рекомендованный показатель N_e для сокращения дрейфа генов варьируется от 500 до 5 000, где 500 – самый распространенный показатель. На Рисунке 3.4 показано, что общий рекомендованный показатель $N_e = 500$ может способствовать снижению дрейфа генов; в результате появляется 95% гарантия сохранения аллеля, чей $f = 0,01$ на протяжении более чем 50 поколений. Но в зависимости от генетической

²⁷ Lande, R. 1995. Mutation and conservation. *Conservation Biology* 9:782-791; Hallerman, E. 2003b. Random genetic drift. Страницы 197-214 в Е.М. Hallerman (ред) *Population genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. Bethesda, MD, American Fisheries Society; National Research Council. 2002. *Science and the Endangered Species Act*. Washington, DC. National Academy Press; См. сноски 11 и 13.

Рисунок 3.5

N_e , необходимое в поколении для сокращения инбридинга и дрейфа генов в популяциях питомников в товарных рыбоводных хозяйствах. Числа N_e представлены по трем вариантам (уровень генетического риска): высокий риск – $F < 10\%$ и 95% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,05$; умеренный (приемлемый) риск – $F < 5\%$ и 95% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,05$; низкий риск – $F < 5\%$ и 95% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,05$



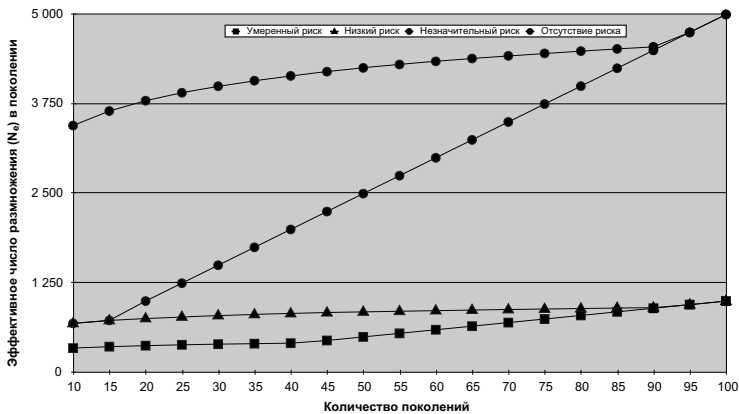
цели (риска), желаемое число N_e может быть меньше 500, что зачастую является характеристикой товарного рыбоводства.

Поскольку инбридинг и дрейф генов обратно пропорционально связаны с N_e , необходимо управлять этим числом, чтобы снизить и тот, и другой показатель. Данные на Рисунках 3.2 и 3.4 можно объединить для получения постоянного числа N_e и достижения обеих целей, для чего должно использоваться большее число N_e . На Рисунках 3.5 и 3.6 показаны постоянные числа N_e , необходимые для промысловой рыбы и аквакультуры, выращивающей гидробионты для рыболовства и программ сохранения, основанные на различных уровнях генетического риска.

На Рисунке 3.5 показано, что N_e , необходимое для сокращения негативного воздействия инбридинга и дрейфа генов, не чрезмерно и может быть включено в большинство видов деятельности по разведению

Рисунок 3.6

N_e , необходимое на поколение для сокращения инбридинга и дрейфа генов в популяциях питомника, которые используются для воспроизводства или проектов управления сохранением. Числа N_e представлены по четырем категориям (уровень генетического риска) – умеренный риск – $F < 5\%$ и 99% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,01$; низкий риск – $F < 5\%$ и 99% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,005$; незначительный риск – $F < 1\%$ и 99% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,005$; отсутствие риска – $F < 1\%$ и 99% гарантии сохранения аллеля, чей $f = 0,001$



пищевой рыбы. Несмотря на то, что управление генами зачастую либо недооценивается, либо считается неподходящей технологией для натуральных или малых хозяйств, те хозяйства, которые содержат и занимаются нерестом собственных рыб-производителей, могут без особых усилий включить краткосрочное управление (5 поколений) «умеренными рисками» (Рисунок 3.5) в рамках привычных рабочих планов. При $N_e = 50$, F сохранится на уровне $< 5\%$ и появится 95% гарантия сохранения аллеля, чей $f = 0,05$, на протяжении 5 поколений. В этом случае N_e , необходимое для контроля инбридинга, больше N_e , необходимого для контроля дрейфа генов, поэтому используется N_e инбридинга. По этой причине, консультанты по вопросам сельского хозяйства и аквакультуры должны объяснить управление генами только в отношении сокращения инбридинга, и этот принцип понятен, поскольку во многих обществах существует табу относительно кровосмесительных браков.

Если крупные коммерческие хозяйства, которые занимаются выращиванием молоди или которые проводят программы селективного разведения, сохраняют N_e постоянным на уровне $N_e = 100$ (сюда включена популяция-основатель), то они могут уменьшить генетические проблемы на 10 поколений ($F < 5\%$ и 95% гарантия сохранения аллеля, чей $f = 0,05$) («умеренный риск» на Рисунке 3.5). Но если они приобретают стадо из хозяйства, где N_e было меньше 100, они импортируют рыбу, которая могла уже накопить высокий уровень инбридинга или претерпела снижение генетической изменчивости и имеет низкие производственные характеристики ввиду дрейфа генов.

Значения N_e на Рисунке 3.6 значительно выше, поскольку управление генотипом популяции на протяжении длительного периода времени (>10 поколений, причем желаемым минимумом является цифра в 20 поколений) должно являться главной задачей аквакультурных программ по разведению и сохранению, и приемлемым должен являться малый генетический риск. Постоянные числа N_e , необходимые для 20 поколений, варьируются от 378 до 1 000, в зависимости от генетического риска. Несмотря на то, что вариант «отсутствие риска» на рисунке 3.6 является самым желаемым, с чисто генетической точки зрения, маловероятно, что его можно учитывать, с точки зрения управления. Следовательно, варианты «низкий риск» или «незначительный риск» на Рисунке 3.6 являются именно теми вариантами, которые нужно учитывать в такого рода работе. Вариант «незначительный риск» на Рисунке 3.6 сочетает $F < 1\%$ с 99% гарантией сохранения аллеля, чей $f = 0,005$, а не $f = 0,01$, потому что к двадцатому поколению числа N_e становятся идентичными. Если желательна комбинация $F < 1\%$ и $f = 0,01$ на протяжении менее чем 20 поколений, то числа N_e в Рисунках 3.2 и 3.4 могут быть использованы для получения желаемого числа N_e .

Было высказано предположение, что $N_e > 1\,000$ сделает популяцию «генетически защищенной»²⁸. Получение $N_e = 1\,000$ обеспечит цели «умеренного» и «низкого риска» для 100 поколений и цель «незначительного риска» для 20 поколений (Рисунок 3.6).

Обсуждение вычисления N_e предполагает, что популяция является относительно стабильной, как в случае с питомником. В таком случае N_e для инбридинга и дрейфа генов высчитывается, как описано ранее. Но

²⁸ Национальный исследовательский Совет (National Research Council). 2002.

когда популяция небольшая, резко изменяется от поколения к поколению или сокращается, числа N_e для инбридинга и дрейфа генов отличаются, потому что воздействие N_e на популяцию может быть незамедлительным (дрейф генов) или отсроченным (инбридинг). В этом случае N_e для дрейфа генов называется эффективным число изменчивости (N_{ev})²⁹ и равняется:

$$N_{ev} = \frac{4N - 2}{V_k + 2}$$

где N – это количество рыбы в родительском поколении, а V_k – это изменчивость производительности потомства.

Число N_{ev} является намного более важным для менеджмента рыболовства и управления сохранением, чем для разведения рыбы как продукта питания, потому что дрейф генов может оказать разрушающее действие на способность видов к выживанию в условиях дикой природы. Если единственной генетической задачей программ рыболовству/сохранению является сокращение дрейфа генов, то необходимо контролировать N_{ev} ; N_{ev} оценивается для каждого поколения, независимо от N_e предыдущих поколений. В этом случае рекомендуемое число N_e (N_{ev}) = 500 сможет сократить дрейф генов от родителей потомству на >50 поколений (Рисунок 3.4). Но если N_{ev} популяции в предыдущем поколении было низким, то N_{ev} = 500 предотвратит ухудшение положения, складывающегося при дрейфе генов; оно не отменит генетический ущерб, который был уже нанесен.

Одна из причин, по которой нужно знать N_{ev} рыбы, выращенной в питомнике и предназначенной для целей рыболовства или проектов по восполнению рыбных запасов, и N_{ev} дикой популяции, в которую она выпускается, заключается в том, что программа зарыбления может фактически снижать общее число N_{ev} ³⁰. Например, если N_{ev} выпущенной рыбы небольшое, но если она дает непропорциональное количество потомства следующему поколению, N_{ev} дикой популяции может снизиться. N_{ev} также может снизиться, если рыба из питомников дает в

²⁹ Waples, R.S. 2002. Definition and estimation of effective population size in the conservation of endangered species. Страницы 147-168 в S.R. Beissinger и D.R. McCullough (ред). *Population Viability Analysis*. Chicago. The University of Chicago Press.

³⁰ Ryman, N и Laikre, L. 1991. Effects of supportive breeding on the genetically effective population size. *Conservation Biology*, 5:325-329; Waples, R.S. и Do, C. 1994. Genetic risk associated with supplementation of Pacific salmonids: captive broodstock programs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51 (Supplement 1):310-329.

потомстве большие семьи, а дикие родители дают в потомстве небольшие семьи; таким образом, повышается изменчивость производительности потомства, в результате чего всеобщее число N_{cv} может быть фактически меньше объединенных чисел N_{cv} .

3.4 Одомашнивание

Одомашнивание – это форма селекции, благодаря которой организм становится более адаптированным к среде выращивания и ко всем аспектам управления, используемого для его выведения (то есть оно изменяет генотип популяции путем выбора аллелей, которые могут использовать условия культивирования, и путем исключения аллелей, которые менее всего подходят для питомника). Одомашнивание – это сочетание направленной и ненаправленной селекции. Одомашнивание изменяет генотип, и эти изменения передаются последующим поколениям, и со временем популяция заметно отличается от исходной. В сельском хозяйстве все основные растения и животные, выращиваемые в качестве продовольствия, были одомашнены; специалисты по аквакультуре, с другой стороны, выращивают животных и растения, которые не одомашнены. Одомашнивание – это термин, который сложно определить количественно, потому что нет абсолютной грани, которая отделяет диких особей от одомашненных; это продолжающийся процесс (Одомашнивание было определено как продолжающееся контролируемое размножение на протяжении более чем 3 поколений)³¹. Мы можем видеть конечный продукт (одомашненный) и начальный (дикий), но каждый организм, разводимый в водной среде, находится на какой-либо стадии между этими двумя точками; большинство находится ближе к началу, чем к концу. Одомашнивание начинается, когда рыбоводы берут в свои руки контроль над жизненным циклом рыб и определяют условия, при которых рыба будет выращиваться (тип используемого корма, плотность посадки, управление качеством воды и т.д.) и, чаще всего, какую рыбу нужно спаривать для получения икры.

Одомашнивание может едва заметно изменить популяцию по причине ненаправленной селекции, поскольку рыба адаптируется к тому, каким образом управляются хозяйства или питомники. Например, тот способ,

³¹ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Part II. *Aquaculture Europe*, 32 (3): 5-23.

которым владелец хозяйства спаривает свою рыбу, может дать стадо, которое быстрее реагирует на инъекции гормонов, или нерестовый период может сдвинуться, если владелец рыбопитомника спаривает рыбу только в начале нерестового периода. Выбор рыб-производителей из первого заброса невода может пасть на рыбу, которую легко выловить, в то время как выбор рыбы, остающейся в пруду после нескольких забросов невода, может пасть на рыбу, которая постоянно сбегает из невода. Выращивание рыбы при интенсивных условиях культивирования делает ставку на рыбу, которая выдерживает ухудшенные, тяжелые жизненные условия. Отбраковка мечущихся рыб-производителей, которых трудно приручить, может дать более послушную рыбу.

Простая коррекция поведения может являться или не являться составляющим элементом одомашнивания. Например, рыба запоминает, когда ее кормят, и реагирует на звук автомобиля, развозящего корм, или шум кормораздатчика. Такое поведение желательно, так как гарантирует, что корм будет быстро съеден и меньше корма будет потеряно. Если такое поведение имеет генетическую основу, то оно является частью одомашнивания, но если такой навык не имеет генетической основы, то он не будет передан следующему поколению и не является одомашниванием.

Одомашнивание выгодно для товарного рыбоводства, потому что дает более послушную рыбу, которая размножается на искусственном корме, повышающем коэффициент роста, и выдерживает большую плотность посадки, обработку и плохое качество воды, что может повысить уровень стресса и привести к заболеваниям. Было показано, что одомашнивание увеличивает коэффициент роста разводимой рыбы на 2-6 процент в одном поколении³².

Но аквакультура также занимается культивированием рыбы, которая будет выпускаться в условия дикой природы для поддержания рыболовства, базирующегося на ресурсах из аквакультуры (Глава 8), и нужна для программ восстановления исчезающих видов (Глава 9), и для такого типа управления одомашнивание неблагоприятно, потому что может привести

³² Dunham, R.A. и Smitherman, R.O. 1983. Response to selection and realized heritability for body weight in three strains of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, grown in earthen ponds. *Aquaculture*, 33:89-96.

к нежелательным изменениям в геноме³³. К сожалению, простой процесс спаривания рыб, тип спаривания и нереста или их выведения является селекцией одомашнивания, в результате чего может появиться рыба, менее подходящая к условиям дикой природы. Например, выживаемость в условиях дикой природы слабая, и большая часть рыбы погибает на стадии мальков. Рыбоводы создают среду, которая максимально повышает выживаемость, поэтому генотипы, которые плохо адаптировались бы в условиях дикой природы, в питомнике не летальны. Повышение выживаемости в питомнике на ранних стадиях (регулярная практика в аквакультуре) является формой селекции одомашнивания, которая оказывает косвенное воздействие на выбор икры меньшего размера, что, в свою очередь, снижает жизнеспособность в условиях дикой природы. Даже если единственной формой рыбоводства является сбор дикой икры, выращивание мальков/молоди в течение короткого периода времени и затем их вселение в естественные условия, селекция одомашнивания имеет место в том случае, если выживаемость и репродуктивная способность вселённой рыбы в условиях дикой природы отличается от тех же качеств их диких сверстников.

Практика управления, снижающая степень одомашнивания рыбы, которая будет вселяться в условия дикой природы, описана в Главе 8.

3.5 Сложности и возможности

Главной сложностью при улучшении управления в этой области является простой факт, что большинство рыбоводов плохо обучены генетике и считают, что такой тип управления не является необходимым – зачастую по той причине, что они его не понимают. Вторая сложность заключается в том, что многие рыбоводы не знакомы с долгосрочными выгодами, получаемыми благодаря учету программ генетического управления (Главы 4 и 6), и регулярно выращивают рыбу, которая инбредна или отличается сниженным генетическим разнообразием, имеет плохие производственные показатели по сравнению с генетически неповрежденной рыбой. Они также не осознают, что улучшения

³³ Araki, H.; Cooper, B. и Blouin, M.S. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318:100-103; Heath, D.D.; Heath, J.W.; Bryden, C.A.; Johnson, R.M. и Fox, C.W. 2003. Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science*, 299:1738-1740.

в других аспектах рыбоводства (например, улучшенные корма) могут лишь компенсировать снижение генетического потенциала. С минимизацией инбридинга и дрейфа генов связан рост затрат, но они компенсируются повышением производительности (Глава 6). Вторая сложность возникает, когда владельцы питомников и управляющие ресурсами получают ошибочные поощрения за производство большого количества рыбы, но рыбы, которая необязательно имеет высокие производственные характеристики по той причине, что не осуществляется надлежащее генетическое управление и оценка. Рыбоводы и управляющие ресурсами должны понимать, что получение меньшего числа рыбы с хорошими производственными показателями фактически улучшает производительность и управление ресурсами. Третьей сложностью является финансовая ограниченность, и во многих питомниках невозможно расширение, реконструкция и использование дополнительной рабочей силы, поэтому невозможно спаривание необходимого числа рыбы или минимизация одомашнивания для рыболовства или программ сохранения. И наконец, включение генетического управления в процесс выращивания рыбы должно идти рука об руку с рациональным использованием аквакультурных ресурсов и развитием в питании или здоровье рыб.

К счастью, многие руководители и лица, формирующие политику, начинают понимать, что управление генетическими ресурсами является не абстрактным понятием, а что оно может повысить безопасность продуктов питания и экологическую стабильность.

4 МЕТОДОЛОГИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ В АКВАКУЛЬТУРЕ³⁴

4.1 Введение

В Кодексе поведения ФАО для ответственного рыболовства содержится несколько статей, рассматривающих вопросы, характерные для применения методологий генетического улучшения в аквакультуре (Статьи 9.1.2, 9.1.3, 9.3.1 и 9.3.3). В этих статьях говорится о рисках, связанных с развитием аквакультуры и, в частности, с развитием и распространением генетически измененных стад, а также с генетической и экологической целостностью природных экосистем. В этой главе дается обзор методологий, используемых при генетическом улучшении аквакультурных видов, и рассматривается степень их существующего и возможного будущего применения в аквакультуре. Данные методологии рассматриваются в отношении их краткосрочных или долгосрочных выгод для развития аквакультуры, но с учетом рисков, возникающих в результате их принятия и применения. Эти риски более подробно описаны в Главах 7 и 9. Настоящее Руководство предложено для рассмотрения в отношении применения различных технологий генетического улучшения в аквакультуре.

Как было отмечено в других главах, большинство форм антропогенного вмешательства в более чем одно поколение жизненного цикла разводимых видов приведет к генетическому изменению стада через изменение в частотности генов. В Главе 3 были описаны процессы, при которых может происходить такое генетическое изменение, а именно через инбридинг, дрейф генов и изменения в частотности генов и аллелей (и связанные фенотипические черты) путем бессознательной селекции. Такие генетические изменения в общем счете являются результатом незнания генетических последствий управления стадами при искусственных условиях выращивания на протяжении последовательных поколений. В этой главе в основном говорится о дополнительных последствиях, связанных с преднамеренным генетическим изменением разводимых особей через применение ряда технологий генетического улучшения.

³⁴ Автор – Graham C. Mair.

4.2 Генетическое улучшение в аквакультуре

В середине 1970 годов эпоха генетических изменений в аквакультуре началась с программ селективного выращивания норвежского лосося. Только два десятилетия назад было признано в широком масштабе, что генетическое улучшение играет важную роль в развитии аквакультуры и что значительных генетических успехов можно достичь путем соответствующего применения хорошо спланированных программ генетического разведения водных видов. В результате, в настоящее время множество таких программ разведения осуществляется по всему миру.

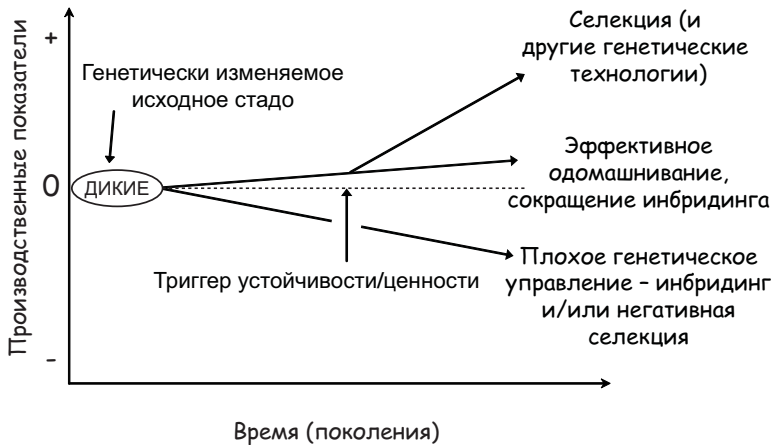
Восприятие роли генетики в аквакультуре и соответствующих сроков генетического вмешательства также меняется. Сейчас более широкий круг людей понимает, как важно контролировать генетическую изменчивость с момента начального одомашнивания (или вселения) рыбы с целью избежать ухудшения запасов из-за инбридинга, дрейфа генов и бессознательного отбора (см. Главу 3), воспользоваться селекцией одомашнивания и максимально увеличить потенциал последующего генетического улучшения (Рисунок 4.1).

В отношении многих водных организмов, используемых в аквакультуре, фактически существует больше вариантов генетического улучшения, чем может быть применимо в отношении высших организмов в результате их специфических биологических черт и свойств. Таким образом, могут применяться такие методики, как манипуляция хромосомными наборами, регулирование пола и трансгеноз, позволяя исследовать многие интересные варианты улучшений.

Несмотря на то, что достигнут значительный прогресс и генетически улучшенные запасы в аквакультуре становятся все более доступными, большая часть разводимой рыбы все еще очень похожа на дикие генотипы. Нужно еще многое осуществить, чтобы аквакультура заняла такое же положение, как и современное животноводство или выращивание сельскохозяйственных культур, где производство почти исключительно основано на генетически улучшенных разновидностях, и разведение диких фенотипов не практикуется.

Рисунок 4.1

Гипотетическая иллюстрация различных сценариев, которые могут развиваться при плохом/хорошем генетическом управлении. Незнание вопросов генетического управления во многих случаях привело к ухудшению производительности разводимых стад. Целью развития аквакультурного сектора должно быть эффективное управление генетическим разнообразием в одомашненных стадах, делая возможными получение выгод от селекции одомашнивания. Управление и сохранение генетического разнообразия предоставляет сырье для успешного селекционного разведения в такое время, когда предприятие или производственный сектор достигают уровня зрелости, значимости и/или экономической устойчивости и приводят к инвестициям в запланированное генетическое улучшение



4.3 Подходы к генетическому улучшению

В данном разделе кратко описываются различные технологии генетического улучшения, применимые к разводимым водным видам, дается характеристика прогресса в современной аквакультуре, и определяются ключевые вопросы оптимизации выгод для аквакультуры и минимизации рисков для генетической и экологической целостности диких стад.

4.3.1 Селекционное разведение

Основой селекционного разведения является отбор особей, обладающих высокой аддитивной генетической ценностью желаемого фенотипа (признака), в качестве родителей, чтобы они могли передать свои более совершенные гены потомству в последующих поколениях. Таким образом, должно быть возможным смещение среднего показателя целевого признака для культивируемой популяции в желаемом направлении в каждом последующем поколении. В программах селекционного разведения необходимо сократить утрату генетической изменчивости (например, она может иметь место по причине инбридинга) в ходе этого процесса для обеспечения того, что генетический эффект достигается и сохраняется на протяжении многих поколений.

При условии долгосрочных обязательств, подразумеваемых при начале селекционного разведения, крайне необходимо, чтобы стадо, которое является предметом улучшения, являлось частью коммерчески значимого и устойчивого аквакультурного сектора. Поэтому важно оценить развитие и будущий потенциал рассматриваемого сектора до начала инвестирования в какую-либо долгосрочную стратегию генетического улучшения.

Также необходимо выполнить некоторые другие условия до начала проведения программы разведения. Во-первых, жизненный цикл видов в неволе должен быть закрытым. С помощью процесса оценки экономического веса признаков необходимо определить хозяйственно-ценные признаки, которые могут быть реалистично изменены посредством генетического улучшения. Эти признаки должны быть изменяемыми в рамках популяции и предпочтительно определяемыми количественно в способных к репродукции животных (такие признаки, как выход мяса, лучше всего измеряются в умерщвленных животных и представляют сложность при включении в программы селекционного разведения). В идеале, признаки для отбора должны иметь средний/высокий уровень наследуемости и, следовательно, с готовностью реагировать даже на базовое селекционное разведение. Наследуемость – показатель того, какая часть изменчивости определенного признака определяется генетикой, и варьируется от 0 (отсутствие генетического воздействия) до 1 (если генетика полностью контролирует признак). Формально, наследуемость – это соотношение фенотипической изменчивости признака, обеспеченной аддитивной генетической изменчивостью, и отражает потенциал ответной реакции на отбор по этому признаку. Наследуемость на уровне 0,15-0,5

показывает, что признак будет положительно реагировать на селекцию, хотя существуют процедуры и статистические анализы, с помощью которых можно эффективно проводить отбор по признакам низкой наследуемости³⁵. Также важно определить фенотипические и генетические корреляции между признаками, в частности, при разработке показателей отбора, когда два или более признаков могут быть объединены в единый показатель.

Важным шагом в развитии программы селекционного разведения является определение или развитие соответствующего исходного стада. Для максимального увеличения потенциального долгосрочного генетического успеха и оптимизации производственных показателей выращивания это исходное стадо должно быть высоко изменяемым генетически и первоначально основано на самых лучших особях, с самыми высокими производственными показателями (в случае если данные по производительности известны или могут быть получены). В действительности, вероятно, будет создано комбинированное исходное стадо с использованием зародышевой плазмы источников различного происхождения, зачастую получаемой из различных генетически дискретных популяций (одомашненных и/или диких), как было сделано при инициации программы генетического улучшения культивируемой тилапии, известной как GIFT³⁶.

Таким образом, важно понимать, что правильно составленные исходные стада для программ селекционного разведения будут генетически отличаться от любой отдельной дикой популяции и, следовательно, представлять собой потенциальную угрозу генетической целостности этих популяций, поскольку со временем частотность генов в дикой природе может измениться по причине значительной интрогрессии диких стад генетически измененными культивируемыми стадами. По мере развития селекционного разведения, генетическая идентичность отобранных особей может все больше отличаться от любой дикой популяции (См. Главы 3, 4, 8 и 9). Одним из средств контроля этого риска

³⁵ Gjedrem, T. 2005. *Selection and Breeding Programmes in Aquaculture*. Springer, Netherlands. Van Vleck, L.D. (1993) *Selection Index and Introduction to Mixed Model Methods*, CRC Press Inc., Флорида, США.

³⁶ Eknath, A.E., Bentsen, H.B., Ponzone, R.W., Rye, M., Nguyen, N.H., Thodesen, J. и Gjerde, B. 2007. Genetic improvement of farmed tilapias: Composition and genetic parameters of a synthetic base population of *Oreochromis niloticus* for selective breeding. *Aquaculture* 273: 1-14.

является разработка отселекционированных линий только из местных стад (то есть исходные рыбы берутся из дискретных местных популяций) и последующее ограничение культивируемых видов пределами естественного распространения этой популяции. Однако такой вариант может стать чрезмерно дорогим. Селекционное разведение направлено на улучшение количественных признаков (то есть тех фенотипов, которые являются количественными по своему характеру и непрерывными по распределению), и коэффициент роста обычно является первым признаком, на который направлено улучшение. Качественные признаки (такие как окраска, форма тела или плавников или пол) контролируются одним или двумя генными локусами, и на них можно воздействовать, если понять, каким образом они наследуются. Эти признаки важны в декоративной аквакультуре, но мало значимы в аквакультуре, производящей пищевую продукцию.

Коэффициент роста часто является ключевым признаком высокой экономической ценности в большинстве секторов аквакультуры, в частности, в экстенсивных и полуинтенсивных системах, в которых рыба продается целиком или подвергается потрошению и охлаждению, но не переработке. Успешный отбор по росту может способствовать вылову более крупной и ценной рыбы, сократить период культивирования или содержать животных при большей плотности посадки, в то же время сохраняя размеры вылова. В более интенсивных производственных системах большое значение придается таким признакам, как преобразование корма и выход мяса, благодаря их большой экономической значимости, несмотря на то, что осуществлять отбор по этим признакам гораздо сложнее.

Подробный обзор различных методов селекции и планов программ разведения выходит за рамки настоящей главы³⁷. Решение в отношении используемого метода селекции зависит от ряда факторов, включая наследуемость целевого признака (если известен), тип признака, простоту его измерения в способных к репродукции организмах, а также биологические характеристики и воспроизведение видов (включая плодовитость). В Таблице 4.1 представлены ключевые черты различных подходов к селекционному разведению. Цель любой программы

³⁷ В качестве примера подробное руководство: Tave, D. 1995. Selective breeding programmes for medium-sized fish farms. *FAO Fisheries Technical Paper* 352. ФАО, Рим.

разведения заключается в отборе лучших особей для создания следующего поколения без утраты генетической изменчивости. План программы по разведению неизменно включает определенные согласованные решения в отношении того, по каким признакам или комбинации признаков идет отбор. В идеале план должен включать наличие полностью племенного спаривания, но оно редко осуществимо и ограничено физическими и людскими ресурсами, количеством животных, системами маркировки/мечения (или возможностью физического разделения семей или особей) и свойствами видов (такими как плодовитость, время жизни поколения и простота контролируемого разведения).

Ввиду недавнего начала осуществления многочисленных программ селекционного разведения, появляются впечатляющие результаты, касающиеся реакции на отбор с усилением ключевых признаков с 13 до 15% за одно поколение в должным образом управляемых программах разведения с наличием хороших ресурсов. Такое усиление превышает успех, которого обычно добиваются в животноводческих программах, и может объясняться более высоким уровнем генетической изменчивости культивируемых водных видов, а также высокой плодовитостью многих видов, поэтому возможна более высокая селекционная интенсивность, чем у менее плодовитого крупного рогатого скота. Очевидно, что экономическая ценность такого усиления на протяжении нескольких поколений является значительной, и оценка окупаемости вложений в размере 15:1 в программе по разведению норвежского лосося, сделанная Gjødrem³⁸ не является нереалистичной (см. также Главу 6).

С учетом относительной новизны селекционного разведения в аквакультуре, развиваемые селекционные стада еще во многих случаях не сильно фенотипически отличаются от диких видов и все еще могут выживать в условиях дикой природы и скрещиваться с дикими родственниками, в случае если они сбегают или намеренно вводятся в среду, из которой они были взяты. Со временем, при продолжении отбора по хозяйственно-ценным признакам, эта степень фенотипического отличия будет возрастать до такого уровня, когда отселекционированные линии станут настолько специфически адаптированными, что они станут зависимыми от среды выращивания и неспособными жить или

³⁸ Gjødrem, T. 2000. Genetic improvement of cold-water fish species. *Aquaculture Research* 31:25-33.

Таблица 4.1 Обзор основных свойств различных вариантов планов селекционного разведения^a

Тип селекции	Описание	Преимущества	Недостатки
Индивидуальная или массовая селекция	Всех особей объединяют и измеряют. Отбор тех, которые будут использоваться как будущее маточное стадо, основан только на фенотипической ценности целевого признака особи.	Простая и требует незначительного учета. Индивидуальная идентификация и племенной учет не требуются. Относительно низкие затраты. Может развивать признаки с высокой наследственностью.	Ограничивается признаками с высокой наследуемостью. Применима только к признакам, измеряемым в кандидатах для разведения. Сложно контролировать инбридинг. Важно контролировать ключевые экологические воздействия, такие как возраст, размер при зарыблении, качество воды, кормление и т.д. Потенциально высокая изменчивая численность потомства, что способствует дрейфу генов.
Селекция внутри группы	Маточное стадо произвольно подразделяется на группы, внутри которых проводится индивидуальная селекция. Предупреждение инбридинга осуществляется путем ротационного спаривания отобранных особей с особями из других групп.	Контролирует инбридинг. Не требуется парное спаривание. Индивидуальная идентификация и племенной учет не требуются. Устраняет экологическое воздействие на производственные показатели особи в группе. Требуется ограниченных технических знаний и опыта.	Лучше всего подходит для работы с признаками с высокой наследуемостью. Может применяться только к признакам, измеряемым у кандидата для разведения. Требуется возрастного контроля в пределах группы.
Селекция внутри семьи	Содержатся многочисленные семьи, в которых производятся индивидуальный отбор особей на основании отклонения их признаковой ценности от средней ценности семьи.	Может контролировать инбридинг путем ротационного спаривания между семьями. Относительно простое управление. Удобна, если экологическая вариация является общей для всех членов семьи. Просто контролировать экологическую вариацию каждой семьи. Возможна высокая интенсивность отбора.	Не полностью использует наследуемость, и поэтому реакция на отбор снижена. Не учитывает изменчивость производительности между семьями. Применима только к признакам, измеряемым у кандидата для разведения. Семьи должны содержаться отдельно или все особи должны быть маркированы по семьям.

^a Краткое изложение ключевых характеристик этих подходов к селекционному разведению представлены в книге Ponzoni, R. W., Nguyen, N.H. и Khaw, H.L., 2006. Importance and implementation of simple and advanced selective breeding programs for aquaculture species in developing countries. Протоколы 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 13-18 августа 2006 г., Belo Horizonte, MG, Бразилия. (Ссылка в Интернете: http://www.wcgalp8.org.br/wcgalp8/articles/paper/9_683-1814.pdf)

Таблица 4.1 (продолжение) Обзор основных свойств различных вариантов планов селекционного разведения

Тип селекции	Описание	Преимущества	Недостатки
Комбинированная селекция	Селекция особей основана на индивидуальной информации и информации от родственников. Определяются средние значения для каждой семьи, и вся семья отбирается или выбраковывается в зависимости от этих средних значений.	Полностью использует аддитивную генетическую изменчивость. Возможен контроль инбридинга. Подходит для признаков с низкой наследуемостью. Подходит для признаков, которые не могут быть измерены при разведении особей (например, выход мяса) или приводит к риску, например, провокационные тесты на заболевания, поскольку возможен выбор сибсов. Разработаны модели для учета всех систематических воздействий на целевой признак.	Требует парного спаривания и семейной идентификации. Зачастую дорога, поскольку требует большой материальной базы, и трудоемкая. Затраты сокращаются, если семьи маркируются и содержатся в общей среде. Требует высокой компетентности в генетике. Необходимо снижение общих влияний среды и сохранение размеров семьи. Требует подробного учета, включая генеалогические схемы. Необходимость выращивания индивидуальных семей для маркировки, что ведет к аквариумному эффекту при раздельном выращивании.
Дополнения к селекции	Описание	Преимущества	Недостатки
Объединенные семьи и отбор по генотипам	Если существуют генетические маркеры, позволяющие приписать особь к определенному роду, то отбираемые особи объединяются на очень ранней стадии, и их семейство определяется при вылове.	Позволяет выращивать семейства в общей среде в ходе производственного цикла. Отсрочивает некоторые затраты до вылова, снижая риск. Требуется меньше ресурсов.	Дифференциальное выживание в объединенных группах, в частности, в раннем возрасте, может привести к неравномерным семействам. Получение данных о семействе возможно только при вылове. Необходимость идентификации отобранной рыбы при проведении анализа генетических маркеров.
Селекционные индексы	Селекционный индекс может быть введен на основании нескольких хозяйственно-ценных признаков, оцененных по их относительной важности. Используется в качестве стандарта при комбинированной селекции.	Оптимизирует успех при селекции по множественным признакам.	Требует определения экономической ценности для признаков при разведении.

размножаться вне этой среды, как многие современные виды крупного рогатого скота и сельскохозяйственных культур. Сложно оценить, как долго будет продолжаться этот переходный период, но вероятно, что потребуются несколько десятилетий, прежде чем большая часть аквакультурных стад станет настолько отличаться от диких видов. На протяжении же этой переходной фазы селекционно выращенные стада представляют риск для генетической целостности диких популяций, и необходимо предпринять шаги для оценки, управления и минимизации этого риска (Главы 7 и 9)

4.3.2 Гибридизация и кроссбридинг

Гибридизация – это скрещивание особей двух различных видов, а кроссбридинг – это спаривание двух различных рас/линий в рамках одного вида. И то, и другое скрещивание обычно производится с целью развития неаддитивной генетической изменчивости посредством идентификации значительного позитивного гетерозиса, который также называется «гибридной силой», в отношении хозяйственно-ценных признаков. Позитивная гибридная сила возникает, когда гибрид или кроссбред проявляют качества, лучше средних двух родительских видов или линий. Практически, гетерозис становится действительно значимым, когда гибрид или кроссбред проявляет лучшие качества, чем любой из родительских видов или линий. При оценке гибридной силы важно оценить взаимное скрещивание, поскольку гетерозис может варьироваться в зависимости от материнского или отцовского родительского вида/линии.

Овладение техниками кроссбридинга и гибридизации является относительно простым и может оказать незамедлительный эффект на производственные характеристики в рамках одного поколения. Но это преимущество предельно, и его оптимизация возможна в специальном целевом скрещивании гибридов между изначальными родительскими линиями, если только родительские линии не отбираются в течение многих поколений по их общим или особым комбинационным способностям, в результате чего программы разведения становятся сложными и относительно медленными. Некоторая часть гетерозиса может сохраняться в последующих поколениях, если число скрещенных популяций высоко. Поэтому кроссбридинг обычно рассматривается как потенциальное дополнение к программе в качестве аддитивного генетического улучшения, как упоминалось выше. Например, возможно нейтрализовать эффект инбридинга, появившийся в индивидуальных

линиях массовой селекции при создании промышленных стад, путем скрещивания двух таких линий. Данные о большой гибридной силе хозяйственно-ценных признаков являются очень редкими, но множество данных о гетерозисе роста говорит о том, что он играет определенную роль в кроссбридинге в коммерческом улучшении устриц³⁹.

Благодаря их относительной простоте, был проведен большой объем исследований для оценки гибридных скрещиваний между многочисленными видами, и за последние тридцать лет были осуществлены сотни гибридных скрещиваний. Учитывая масштаб этих исследований, в частности, в отношении карповых в аквакультуре Азии, в промышленном производстве гибридов относительно мало. Несмотря на то, что информации об использовании гибридов в аквакультуре может быть очень мало, этот факт может свидетельствовать о том, что коммерческая выгода от большинства гибридов ограничена или вообще отсутствует. Существует несколько примеров коммерческого использования гибридов, таких как гибрид тилапии (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) в Китае и Израиле, гибрид сома (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) в Таиланде и Юго-Восточной Азии и гибрид полосатого окуня (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). Успех этих гибридов объясняется «комплементарным эффектом» (то есть особыми рыночными качествами сочетания родительских видов, такими как высокий процент мужских особей в гибриде тилапии и хорошее качество продукта в гибриде сома), а не позитивным гетерозисом количественных признаков.

Если производство гибридов стало промышленным, то основной трудностью является риск интрогрессии чистых видов родительских линий гибридами (то есть обратное скрещивание гибридов с родителями). Этого следует избегать, потому что как только происходит интрогрессия, система выходит из строя, и производственные показатели предполагаемых гибридов F_1 (которые могут фактически являться смешением гибридов F_2 и бэккроссов) станут нестабильными и непредсказуемыми.

Принимая во внимание относительную простоту гибридизации между близкородственными видами рыб, гибридизация может быть случайной, как происходило, например, при производстве большинства карпов в некоторых странах. Гибриды F_1 могут использоваться либо случайно,

³⁹ Hedgecock, D., McGoldrick, D.J. и Bayne, B.L. 1995. Hybrid vigor in Pacific oysters: An experimental approach using crosses among inbred lines. *Aquaculture* 137:285-298.

либо намеренно в качестве рыб-производителей при возвратном скрещивании или в производстве гибридов F_2 . С течением поколений это приведет к общему смешиванию и разъединению генов от исходных родительских видов, что известно как интрогрессия. Имея такое независимое разъединение генов, получаемые фенотипы являются высоко изменчивыми, и некоторую рыбу, имеющую интрогрессированные гены, нелегко отличить от начального чистого вида. Интрогрессия в настоящее время распространена у тилапии и в других группах скрещиваемых видов, где получение гибридов осуществляется искусственно или естественно. Подобное происходит у большинства китайских и индийских карпов (например, в Бангладеш⁴⁰ где изначально гибриды производились либо из научного интереса, либо по причинам недостаточности рыб-производителей какого-либо вида), где интрогрессия гибридов может иметь негативные последствия для широко распространенных карповых поликультурных систем в результате утраты четких стратегий питания у чистых видов, что приводит к снижению эффективности использования кормов и производства. Если незапланированная гибридизация неизбежна, то долгосрочные последствия такой ситуативной гибридизации могут быть минимизированы, если действует система, исключая гибридов из использования в качестве будущих рыб-производителей.

Для аквакультуры рекомендуется не допускать гибридизации, если только она не является частью систематической стратегии для развития гетерозиса или комплементарных эффектов в отношении хозяйственно-ценных признаков. Основной трудностью при запланированных кроссбридинге и гибридизации является обеспечение их надлежащего использования, получение реальной экономической выгоды от программы гибридизации и управление ими таким образом, чтобы в питомниках или диких стадах не происходила нежелательная или неконтролируемая интрогрессия.

⁴⁰ Mia, M.Y., Taggart, J.B., Gilmour, A.E., Gheyas, A.A., Das, T.K., Kohinoor, A.H.M., Rahman, M.A., Sattar, M.A., Hussain, M.G., Mazid, M.A., Penman, D.J. и McAndrew, B.J. 2005. Detection of hybridization between Chinese carp species (*Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*) in hatchery broodstock in Bangladesh, using DNA microsatellite loci. *Aquaculture* 247:267-273.
Simonsen, V., Hansen, M.M., Mensberg, K-L.D., Sarder, R.I. и Alam, S. 2005. Widespread hybridization among species of Indian major carps in hatcheries, but not in the wild. *J. Fish Biol.* 67:794-808.

4.3.3 Манипуляция хромосомными наборами

В случае с рыбой и моллюсками возможна манипуляция целыми наборами хромосом путем нарушения процесса деления клеток в оплодотворенных икринках. В отношении высших организмов такая методика обычно невозможна. Существует четыре основных типа манипуляции: гиногенез, андрогенез, триплоидия и тетраплоидия.

Андрогенез и гиногенез являются формами индуцированного наследования от одного родителя или партеногенеза, в котором соответственно мужской или женский генетический вклад деактивируется какой-либо формой облучения гамет, и хромосомный набор от мужской или женской особи удваивается. Удвоение гаплоидного набора получается путем применения физического (у рыб) или иногда химического (в основном, у моллюсков) шока для восстановления диплоидии. Получаемое гиногенетическое или андрогенетическое диплоидное потомство является высоко или полностью инбредным в зависимости от того, каким образом диплоидность восстанавливается. Гомозиготные (то есть 100 процент инбредные) особи могут использоваться в качестве основы для производства изогенных клональных линий, в которых вся рыба генетически одинакова. Гиногенез и в меньшей степени андрогенез могут применяться в отношении широкого ряда видов рыб и моллюсков и имеют определенное число исследовательских и практических применений, таких как выяснение генетической основы определения пола, быстрая индукция инбридинга, генетическое картирование и анализ QTL (quantitative trait loci - локусы количественных признаков). Андрогенез также может быть в принципе использован для получения генотипов из замороженной спермы, если икринки того же вида недоступны. Однако, случаев коммерческого применения этих технологий очень мало.

Получение полиплоидов осуществляется схожим образом с применением физического или химического шока к нормальным оплодотворенным икринкам, путем нарушения второго мейоза, в результате чего получают триплоиды с двумя материнскими и одним отцовским наборами хромосом. Нарушение митоза дает тетраплоиды с удвоенным хромосомным набором. Триплоиды выводятся у различных видов рыб и моллюсков, и для некоторых видов могут быть получены в промышленном масштабе, при условии, что возможно крупномасштабное искусственное оплодотворение икринок. Выведение жизнеспособных тетраплоидов

осуществляется только в нескольких хозяйственно-ценных видах, преимущественно у лососевых и устриц.

Основное применение манипуляции хромосомными наборами в аквакультуре было связано со стерильностью индуцированных триплоидов, которые появлялись во многих видах рыб и у некоторых двустворчатых моллюсков. Стерильная рыба более привлекательна для аквакультуры. Во-первых, она больше сил отдает на соматический рост, и, во-вторых, она обеспечивает потенциальное биологическое «ограничение», которое способствует культивированию экзотических генотипов и, возможно, культивированию быстрорастущей трансгенной рыбы в будущем. Но триплоидная рыба не растет быстрее своих диплоидных собратьев⁴¹ хотя рост может начаться после созревания, когда у триплоидов наблюдается увеличение пропорций. Все индуцированные триплоидные женские особи рыб, получаемые в настоящее время, были полностью стерильны; у триплоидных мужских особей больше наблюдается развитие гонад, чем у женских особей, они в основном стерильны, но не следует сбрасывать со счетов редкие случаи плодовитости мужских особей рыб. Напротив, многие исследования показали, что у триплоидных двустворчатых (хотя у некоторых видов и не полностью стерильные) показатели производительности выше, чем у контролируемых диплоидов.

Самое большое коммерческое применение манипуляций хромосомными наборами наблюдается при разведении двустворчатых моллюсков, где триплоиды широко культивируются; например, приблизительно 50% устриц, культивируемых в США и Франции, триплоиды. В отношении ракообразных оказалось сложным проводить исследования хромосомной манипуляции по причине трудности в получении овулированных яйцеклеток для искусственного оплодотворения. Но в некоторых видах манипуляции были возможны, включая данные о том, что триплоидия была успешно индуцирована в креветках. Триплоиды также могут получаться в результате скрещивания диплоида и тетраплоида в некоторых видах, в которых были получены тетраплоиды и они оказались жизнеспособными, в частности, у устриц⁴² и такой способ может стать самым рентабельным и надежным способом массового производства триплоидов.

⁴¹ Tiwary, B.K., Kirubakaran, R. и Ray, A.K. 2004. The biology of triploid fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14:391-402.

⁴² Guo, X. и Allen, S.K. 1994. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body 1 in eggs from triploids. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3:42-50.

Значимость стерильных триплоидов для аквакультуры, в частности, для защиты прав селекционеров и биологического «ограничения», возрастет. В отношении последнего применения необходимо быстро и экономично проверять показатели триплоидного индуцирования и оценить потенциал плодовитости триплоидной рыбы. Эти факторы очень важны при определении риска того, что побег рыбы или выпуск из среды выращивания будет репродуктивно целесообразным. Основной сложностью этих технологий является надежное и контролируемое производство стопроцентно стерильной рыбы в рамках хозяйственно-ценных видов, в частности, тех, где итоговые варианты биологического «ограничения» и/или защиты интеллектуальной собственности имеют большую ценность.

4.3.4 Регулирование пола

В настоящее время промышленность, по большей части, направлена на культивирование однополых популяций в видах, в которых присутствует значительный половой диморфизм по хозяйственно-ценным признакам, и где виды становятся половозрелыми в среде выращивания до достижения соответствующего размера для вылова. Однополые стада также могут применяться для биологического ограничения, что менее эффективно по сравнению с использованием стерильных стад. Комбинирование этих факторов может во многом воздействовать на рентабельность выращивания у некоторых видов, в частности, у тилапии.

Создание однополых или почти однополых популяций возможно благодаря определению пола вручную, гибридизации, селекции и прямому и косвенному использованию гормонального переопределения пола. Определение пола вручную трудоемко и неэффективно, и скрещивание гибридов применимо только к особым комбинациям видов, в частности, опять же, у тилапии. Недавно также было показано, что у тилапии существует генетическое основание дифференциации пола в зависимости от температуры, то есть что процентное соотношение мужских особей благодаря выращиванию мальков при высокой температуре может быть увеличено путем селекционного разведения⁴³. Самыми применимыми методами получения однополых стад являются прямое переопределение пола с использованием гормонов или косвенное

⁴³ Wessels, S. и G. Hirstgen-Schwark. 2007. Selection experiments to increase the proportion of males in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by means of temperature treatment *Aquaculture* 272, Supplement 1:80-87.

переопределение посредством генетических программ разведения. Прямое переопределение пола может, в общем, применяться вне зависимости от системы определения пола и успешно осуществлялось у ряда видов путем погружения икринок и мальков в гормональные растворы или с использованием питания, основанного на гормональных кормах⁴⁴. Косвенный подход посредством применения программ разведения требует понимания генетических механизмов определения пола у видов, и основным фактором успешности является то, что это моногенная система, такая как в мужской гетерогаметности (XX женская; XY мужская) у лососевых и некоторых видов тилапии и женской гетерогаметности (WZ женская; ZZ мужская) у некоторых видов тилапии и ракообразных. На Рисунке 4.2 изображены альтернативные программы разведения для получения всего мужского потомства у видов с женской гетерогаметностью и всего женского потомства у видов с мужской гетерогаметностью.

Потенциальная выгода от однополых женских стад в лососевой аквакультуре была определена уже давно и связана с большей доступностью женских рыб-производителей и предотвращением преждевременного созревания мужских особей, что приводит к снижению роста, выживаемости и утрате качества мяса после созревания. Использование всего полученного женского потомства с применением переопределенного (неомужского) маточного стада не является универсальным, но в некоторых странах есть сектора, в которых большая часть производства основана на однополом выращивании.

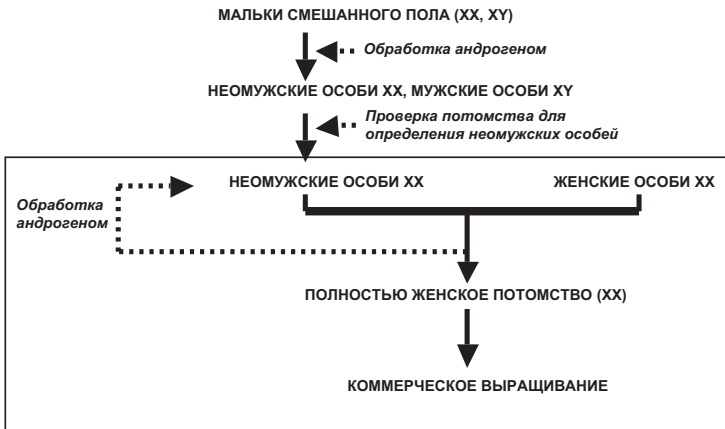
Однополые мужские стада имеют большую хозяйственную ценность в некоторых видах, в частности, у тилапии, потому что в этом виде представлены проблемы в производственной системе как с преждевременным созреванием, так и с нежелательной репродукцией. Такие стада могут выводиться также и путем прямой или косвенной маскулинизации. Добиться переопределения пола на мужской удалось в ряде видов рыб посредством применения экзогенных андрогенов, а именно путем назначения питания, обработанного метилтестостероном, в ранние периоды жизни животных, и широко применяется в питомниках тилапии по всему миру. Программы разведения для получения полностью

⁴⁴ Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture* 197:229-281.

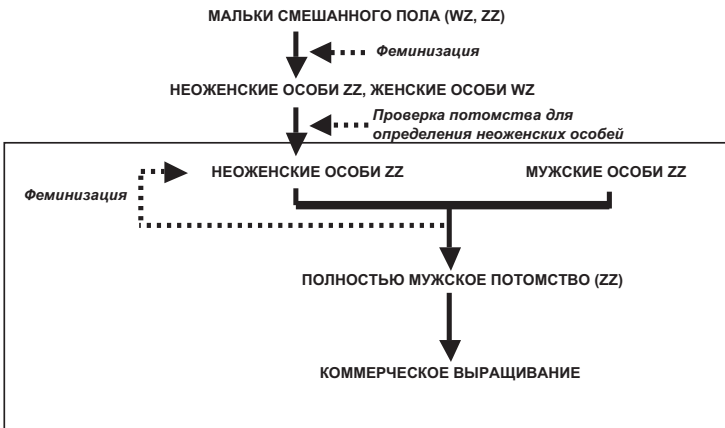
Рисунок 4.2

Иллюстрации программ разведения для получения однополых женских особей (А) для видов с мужской гетерогаметностью и однополых мужских особей (В) для видов с женской гетерогаметностью. Возможно циклическое повторение шагов (в рамках) как часть промышленного производства для обеспечения поставки рыб-производителей с регулируемым полом

А. ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ ЖЕНСКИХ ОСОБЕЙ



В. ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ МУЖСКИХ ОСОБЕЙ



мужского потомства относительно легко и успешно осуществляются у видов с женской гетерогаметностью, таких как голубая тилапия (*Oreochromis aureus*) и гигантская пресноводная креветка (*Macrobrachium rosenbergii*). У видов с мужской гетерогаметностью также возможно получение генетически полностью мужского потомства через поколение новых «супермужских особей» YY, и такая программа разведения действует на промышленном уровне в отношении нильской тилапии *O. niloticus*⁴⁵

Программы регулирования пола значимы только для некоторых видов, в отношении которых значительная экономическая выгода появится только при культивировании однополых стад. Прямое индуцирование изменения пола при помощи гормонов может столкнуться с сопротивлением со стороны общественности – потенциальных потребителей обработанной рыбы, несмотря на то, что исследования показали, что чрезмерное количество экзогенного гормона исчезает из тканей рыбы вскоре после прекращения обработки. Более приемлемым будет использование экологически чистых и этически целесообразных подходов (таких как манипуляция экологическим определением пола, а не обработка гормонами). Косвенные подходы, такие как программы разведения для однополого производства будут более широко приняты обществом, но столкнутся с более серьезной трудностью, ибо они должны основываться на глубоком понимании генетических механизмов определения пола, что потребует больших усилий в исследовательской области.

Регулирование пола может использоваться как форма биологического ограничения на том основании, что любые сбежавшие особи не смогут скрещиваться друг с другом и, следовательно, не смогут формировать устойчивые одичавшие популяции. Чтобы эта технология являлась эффективной формой ограничения, культивируемые стада должны гарантированно на 100 процент являться однополыми, и она может применяться только в том случае, если в принимающей среде обитания нет репродуктивно совместимых видов.

⁴⁵ Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, D.O.F., Abella, T.A. и Beardmore, J.A. 1997. Genetic manipulation of sex ratio for the large scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54:396-404.

4.3.5 Трансгенез

Трансгенез — это технология генной инженерии, при которой изолированная последовательность генов одного организма помещается в другой организм для передачи нового или модифицированного признака. Такая изолированная последовательность генов называется структурой и состоит из функционального гена и гена-промотора, который действует как переключатель для активации функционального гена. Организмы, полученные в результате успешного трансгенеза, классифицируются как генномодифицированные организмы (ГМО) и поэтому вызывают вопросы со стороны общества и контролирующих органов. В ранних исследованиях использовались чуждые генные структуры других видов, включая наземные виды. При планировании трансгенных исследований важно иметь полные знания о рисках и проблемах в отношении этики, здоровья людей и экологического воздействия трансгенной рыбы, а также понимать политический климат, в котором будет проводиться исследование и который будет регламентировать любые результаты исследования. В ответ на риски и опасения в отношении трансгенной рыбы рекомендовано направлять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, если возможно, на автотрансгенетическое производство, где вводимая последовательность генов берется из того же вида.

Трансгенез являлся основной темой исследования в генетике рыб с начала 1990-х годов. Исследования в этой области развиты больше, чем в других видах животноводства по причине относительной простоты манипуляций в репродуктивной биологии водных видов. Индукция трансгенеза должна включать ряд шагов: идентификация подходящего целевого гена и разработка структуры; введение гена в оплодотворенные яйцеклетки, обычно с использованием микроинъекций или путем применения электропорации; определение инкорпорации трансгена в геном хозяина; определение экспрессии трансгена; определение наследуемости трансгена и квантификация эффекта трансгена на целевые и нецелевые признаки. Последний шаг из упомянутых здесь крайне важен, поскольку он потребуется для полной характеристики свойств трансгенной рыбы, чтобы оценить потенциальные риски, связанные с ее разведением. Основной целью трансгенных исследований в отношении рыб в последнее время стало повышение коэффициента роста в аквакультуре посредством введения генетических структур гормона роста. Исследование также было направлено на другие признаки, такие как контроль заболеваний и репродукции, и трансгенные исследования должны сосредоточиться на таких признаках, которые трудно улучшить, применяя количественны

подходы. Трансгенная рыба также может рассматриваться как эффективная модель для изучения регуляции генов и экспрессии генов и может в потенциале стать биокOMBINATом по производству ценных лекарственных препаратов.

Упомянутые выше фазы развития были успешно применены к нескольким видам рыб, и были получены трансгенные линии с удивительно высокими показателями роста⁴⁶. Очевидно, что трансгеноз потенциально может приводить к быстрым изменениям в хозяйственно-ценных признаках, но для планирования и проведения такого исследования важно знать о возможных рисках (см. Главу 7).

Хотя улучшение производительности в культивируемых условиях было четко показано в отношении нескольких видов, в настоящее время промышленное производство трансгенной пищевой рыбы не действует. Единственным примером на современном рынке является GloFish®, флюоресцентная трансгенная зебра-рыба, одобренный для продажи, и эта рыба продается только в Соединенных Штатах Америки. Во время написания этой статьи Управление по контролю качества продовольствия и медикаментов США (FDA) проводило важный тест и рассматривало заявление на выдачу лицензии на коммерческое производство трансгенных видов лосося для использования в аквакультуре. Несмотря на то, что это длительный процесс, любое условное одобрение со стороны FDA (вероятно, оно будет ограничено закрытыми, наземными производственными системами) станет моделью для одобрения промышленного внедрения в других странах других линий трансгенной рыбы.

В основе ограниченного коммерческого применения трансгенной рыбы лежат определенные технические причины, но главной причиной является вопрос этического риска, охраны животных, продовольственной безопасности для человека и экологического риска, связанных с разведением трансгенной рыбы. Лица, ответственные за разработку политики, управляющие ресурсами и те, кто задумывается об использовании ГМО, должны лучше ознакомиться с оценкой и управлением экологическими

⁴⁶ FAO. 2000. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Рим, ФАО. 142с.

рисками в отношении трансгенной рыбы, как при исследованиях, так и при потенциальном коммерческом производстве⁴⁷.

В настоящее время разрабатываются решения многих технических сложностей, препятствующих успешному применению трансгеноза у рыб, и основные трудности заключаются в экологических, этических рисках и риске для здоровья потребителя, которые сейчас ограничивают промышленное внедрение этой технологии.

4.3.6 Генетические маркеры и маркерная селекция

Генетический маркер – это изменчивость в гене или последовательность ДНК, которая может быть определена молекулярными методами и использована для идентификации генотипов и, следовательно, для идентификации представляющих интерес особей или групп. До появления достижений молекулярной генетики, основными маркерами являлись изоферменты и другие белки. На сегодняшний день существует множество маркеров ДНК, такие как полиморфизмы митохондриальной ДНК (mtDNA), полиморфизм длины рестрикционных фрагментов (RFLP); случайная амплификация полиморфной ДНК (RAPD), повтор последовательных маркеров (в основном, микросателлитов), полиморфизмы длины амплифицированных фрагментов (AFLPs) и однонуклеотидные полиморфизмы (SNPs). Наиболее используемыми в аквакультурной генетике маркерами являются микросателлиты, хотя AFLPs и SNPs применяются все чаще. В Таблице 4.2 представлено потенциальное применение генетических маркеров в аквакультуре и связанных с ней сферах, а также перечислены предпочитаемые маркеры для различных целей.

В настоящее время из банков ДНК для ценных видов аквакультуры, включая карпа, тилапию, креветок, лососевых и сома, разрабатываются полиморфные маркеры ДНК. У этих маркеров есть несколько важных способов применения, которые все больше используются в аквакультуре (в основном, в исследованиях, но также возрастает и коммерческое применение), по мере того как все больше предприятий осуществляют

⁴⁷ Kapuscinski, A.R., Hayes, K.R., Li, S. и Dana, G. (ред). (E.M. Hallerman и P.J. Schei, series editors). 2007. *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms, Vol 3: Methodologies for Transgenic Fish*. CABI Publishers. 310c.

инвестиции в генетические программы и стоимость анализа генетических маркеров снижается.

В настоящее время самым распространенным применением маркеров в генетических программах является применение при присвоении родства, когда эффективность программ селекционного разведения может быть повышена благодаря использованию генетических маркеров для идентификации отобранной рыбы по семьям и, соответственно, по родителям. Отказ от необходимости содержать семьи отдельно (либо во время оценки производительности, либо, по меньшей мере, до тех пор, пока не станет возможной физическая маркировка) должен смягчить проблему экологического воздействия на показатели производительности семьи и обеспечить возможность оценки большего числа семей, что повысит интенсивность селекции и реакцию на отбор.

В идеальной программе разведения генетические маркеры могут использоваться для: 1) характеристики потенциальных исходных популяций для формирования генетически изменяемой базовой популяции; 2) понимания структуры естественной популяции для объяснения формирования исходных популяций и оценки рисков, создаваемых разведением генетически измененных запасов; 3) увеличения эффективности селекционного отбора посредством присвоения родства и 4) характеристики более долгосрочного воздействия одомашнивания и генетического управления (или плохого управления) популяций в неволе (например, для определения утраты генетической изменчивости, если эффективный размер популяции является недостаточным).

Генетические маркеры также могут использоваться для составления генетических карт, в которых связанные маркеры приписываются к группам сцепления и, в конечном итоге, к отдельным хромосомам. Генетические маркеры, тесно связанные с генами, которые дополняют количественные признаки, известны как локусы количественных признаков (QTLs). В настоящее время программы генетического картирования действуют в отношении нескольких ценных аквакультурных видов, включая тихоокеанских устриц, лососевых, канального сома, нильскую тилапию

Таблица 4.2 Описание практического применения технологий генетических маркеров в аквакультуре^a

Метод	Описание	Применение	Замечания
Идентификация линии/популяции	Для идентификации маркеров, отличительных для видов или популяций, может использоваться ряд генетических маркеров. Предпочтительные маркеры: микросателлиты, SNPs, AFLP, изоферменты и RAPD.	Выделение различных разводимых популяций, включая защиту прав селекционеров в отношении улучшенных популяций Идентификация намеренной или случайной интрогрессии гибридов Идентификация или подтверждение побегов из среды разведения Идентификация показателей повторного вылова в улучшенных рибохозяйствах	Для многих хозяйственно-ценных видов были разработаны маркеры (различных типов), характерные для видов, и они вполне доступны. В целом необходима разработка маркеров различных линий или популяций. Значимость таких маркеров для прослеживаемости аквакультурных популяций может повыситься.
Квантификация или характеристика генетической изменчивости	Для квантификации и характеристики уровней генетической изменчивости могут использоваться такие генетические маркеры, как количество аллелей на локус, соотношение полиморфных аллелей и средней гетерозиготности. Предпочтительные маркеры: AFLP и микросателлиты.	Определение вероятности и коэффициента инбридинга Оценка текущих и исторических эффективных размеров популяции (N_e) Сравнение качеств возможных исходных популяций для базовых популяций в селекционном разведении Подтверждение гомозиготности в двойных гаплоидах	В генетических программах целесообразно иметь стандартный набор генетических маркеров для определения базового уровня изменчивости (помимо других типов применения) у исходных популяций, что позволяет квантифицировать более долгосрочное воздействие одомашнивания и генетического управления.
Определение генетических отношений между популяциями	Маркеры могут использоваться для построения генетических отношений между многочисленными популяциями, например, филогенетической схемы. Предпочтительные маркеры: mtDNA, микросателлиты, AFLPs.	Определение происхождения (то есть источника популяции) разводимых рыб Определение генетической структуры диких популяций.	Для оценки рисков генетического заражения со стороны аквакультурных или генетически измененных популяций и для помощи в разработке политики по транслокации небезопасно понимать генетическую структуру диких рыб. Эта информация также полезна при формировании генетически изменяемых исходных популяций.

^a Адаптировано из Liu, Z.J. и Cordes, J.F. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238: 1-37.

Таблица 4.2 (продолжение) Описание практического применения технологий генетических маркеров в аквакультуре

Метод	Описание	Применение	Замечания
Присвоение родства (определение происхождения)	Для определения вероятности того, что отдельное потомство произошло от скрещивания особей двух родителей, возможно использование ряда генетических маркеров. Предпочтительные маркеры: микросателлиты и SNPs.	Определение числа представителей маточного стада, дающего потомство в объединенном спаривании, и оценка N_e . Идентификация семьи происхождения при отборе будущего маточного стада для минимизации инбридинга.	Затраты на применение маркерных систем для присвоения родства сокращаются (в частности, в отношении SNPs), и они все больше используются для идентификации семей в программах разведения. Проблемы могут возникнуть в том, каким образом идентифицировать рыбу, пока по генотипу ее определили для присвоения.
Маркерная селекция	Селекция по особому маркеру, который, как известно, связан с хозяйственно-ценным признаком (известному как локусы количественных признаков - QTL), а не по самому признаку. Требуется генетического картирования. Предпочтительные маркеры: SNPs, микросателлиты и другие.	В настоящее время коммерческое применение в аквакультуре отсутствует. Имеется мало случаев удачного картирования видов. Потенциальная разработка для признаков, которые сложно улучшить, используя традиционные подходы.	Маркерная селекция используется для генетического улучшения небольшого числа признаков в животноводстве, но еще недостаточно развития или апробирована в аквакультуре.

и европейского морского окуня⁴⁸. Разработанную карту сцепления можно использовать для определения представляющих интерес QTLs.

Эффект QTL может быть квантифицирован путем сопоставления наследуемости маркерных аллелей с индивидуальными показателями производительности в отношении целевого признака. Для рыбы были определены некоторые QTL по ценным признакам, таким как допустимая температура, рост и устойчивость к заболеваниям (например, холодоустойчивость у тилапии⁴⁹).

Маркерная селекция (MAS) является объединением генетических маркеров, связанных с QTLs, в программах генетического улучшения и потенциально может улучшить селекцию, в частности, в отношении признаков, которые могут иметь низкую наследуемость или которые не могут быть непосредственно измерены в разводимых особях. Несмотря на то, что проводятся исследования по разработке и оценке QTL, в отношении промышленных стад MAS не применяется.

Потенциальные преимущества генетических маркеров в большинстве применений не обсуждаются, но реальный потенциал включения маркерной селекции в программы разведения и получение в результате производственных и экономических выгод еще необходимо проверить, поэтому требуется проведение исследований на эту тему.

4.4 Текущее состояние генетического улучшения и будущие сценарии

Процент мирового аквакультурного производства, которое в настоящее время основывается на одомашненных популяциях, оценить сложно, но по самым точным оценкам, 35 процент аквакультурного производства основано на неодомашненных, по большей части диких популяциях, которые не адаптированы к выращиванию в неволе. Эти цифры сравнимы с

⁴⁸ Garber, A.F. и Sullivan, C.V. 2006. Selective breeding for the hybrid striped bass (*Morone chrysops*, Rafinesque x *M. saxatilis*, Walbaum) industry: status and perspectives. *Aquaculture Research* 37:319-338.

⁴⁹ Cnaani, A., Hallerman, E.M., Ron, M., Weller, J.I., Indelman, M., Kashi, Y., Gall, G.A. и Hulata, G., 2003. Detection of a chromosomal region with two quantitative trait loci, affecting cold tolerance and fish size, in an F₂ tilapia hybrid. *Aquaculture*, 223(1-4):117-128.

другими формами сельскохозяйственного производства, которое основано почти исключительно на одомашненной и генетически улучшенной зародышевой плазме. Польза от одомашнивания в отношении адаптации к замкнутой среде определяется рекомендацией, что любая большая и потенциально устойчивая в долгосрочном плане аквакультурная промышленность должна разрабатывать программы одомашнивания, в которых осуществляется эффективное управление генетическим разнообразием популяций.

Доля мирового аквакультурного производства, основанного на генетически улучшенных популяциях (по большей части выведенных селекционно, но также включающих однополые и триплоидные популяции), оценивается от 10 до 20 процент, поэтому очевидно, что производство и производственная эффективность еще могут значительно возрасти благодаря широкому применению эффективных программ генетического улучшения с акцентом на селекционном разведении.

Развитие генетики в будущем может столкнуться с такими сложностями, как относительная недостаточность ресурсов для поддержания разработки программ разведения. К дефицитным ресурсам относятся физические, экономические и трудовые ресурсы. Хорошо организованные программы разведения, приносящие стабильную генетическую выгоду, используют производственные мощности для выведения большого числа семейств рыб. При условии их долгосрочного характера, они нуждаются в устойчивом финансировании, потому что зачастую может пройти много лет, прежде чем в генетических программах будет полностью реализована доходность инвестиций благодаря увеличению прибыли от производства посадочного материала или благодаря повышению производственной эффективности (Глава 6). Дальнейшее ограничение обусловлено трудовыми ресурсами, в частности, в области количественной генетики, в которой обычно необходима специализированная профессиональная подготовка относительно высокого уровня.

Практически нет сомнений в том, что систематически растущий спрос на продукцию аквакультуры будет выступать в качестве двигателя исследований по повышению производственной эффективности, и генетическое улучшение становится основной темой таких исследований. Программы генетического улучшения направлены на преобразование аквакультурных стад в течение последующих десятилетий через

использование селекционного разведения, которое лежит в основе этих программ, но также возможно использование других дополнительных технологий, если выгода от их применения очевидна. Если страны-участницы поощряют и/или инвестируют средства в расширение аквакультуры, то важно знать о базовых принципах генетического управления, самых экономичных подходах к генетическому улучшению и об экологических рисках, связанных с широко распространенным использованием улучшенных стад производителями. Помимо таких технологических факторов, важным также является предоставление соответствующих ресурсов для поддержания осуществления долгосрочных стратегий генетического улучшения.

5 РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ УЛУЧШЕННЫХ ВИДОВ И СОГЛАШЕНИЯ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ МАТЕРИАЛА⁵⁰

5.1 Введение

Этот раздел посвящен (i) перемещению генетически улучшенных видов из одной страны в другую и (ii) размножению и распространению зародышевой плазмы в пределах страны. Хотя эти две темы и связаны между собой, каждая из них имеет свои характерные особенности и, следовательно, рассматривается отдельно.

Статья 9.1.2 Кодекса поведения для ответственного рыболовства требует следующего: *«Страны-участницы должны содействовать ответственному развитию и управлению аквакультурой, включая предварительную оценку воздействия развития аквакультуры на генетическое разнообразие и целостность экосистем, на основании имеющихся научных данных»*. В Статье 9.3 следует продолжение: *«Страны-участницы должны охранять генетическое разнообразие и заботиться о целостности водных сообществ ... должны сотрудничать в отношении разработки, принятия и выполнения международных кодексов практики и процессуальных кодексов по интродукции и передаче ...»* и *«снижать риски передачи заболеваний и других негативных воздействий на дикие и разводимые популяции ...»*. В 1997 году⁵¹ были разработаны технические рекомендации для реализации Статьи 9 (Развитие аквакультуры) Кодекса, и был выработан широкий ряд инструментов и средств для обеспечения ответственного и устойчивого развития аквакультуры. Эти рекомендации также согласуются с Конвенцией по биологическому разнообразию⁵² (см. также Главу 2) и другими политическими консультативными органами,

⁵⁰ Авторы – R.E. Brummett, M.C.M. Beveridge, R.W. Ponzoni, R.J. Lawton и D.M. Bartley.

⁵¹ FAO (1997). Aquaculture Development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. Рим, ФАО. 55с. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/W4493f/W4493f00.pdf>

⁵² www.cbd.int/default.shtml

созданными для обеспечения мудрого использования диких и улучшенных генетических ресурсов⁵³.

Представленные ниже подразделы дают общие направления в отношении распространения генетически улучшенных видов между странами и в еделах одной страны, в частности, в отношении линий рыбы, улучшенной путем традиционного селекционного разведения, в отличие от живых модифицированных организмов (ЖМО)⁵⁴ или трансгенных гибридов, что может считаться введением чуждых видов. Настоящие рекомендации должны послужить отправной точкой для разработки рекомендаций, подходящих для конкретных ситуаций. Предоставленная информация носит технический характер, на что и направлены настоящие рекомендации. Они не охватывают некоторые политические и законодательные аспекты, такие как доступ к рыбным генетическим ресурсам и условия их использования.

Как упоминалось ранее, в данной главе не рассматривается обмен дикими генетическими ресурсами, предоставляемыми другим странам в научных целях, для разведения и приручения в аквакультуре. Механизмы обмена генетическими ресурсами в отношении продовольствия и сельского хозяйства в других секторах, таких как зерновые, привлекли гораздо больше внимания международной общественности, чем рыбные генетические ресурсы для аквакультуры. Эти механизмы обычно подробно описывают права и обязанности поставщика и получателя в отношении передаваемых материалов. Можно ожидать возникновения подобных тенденций и в аквакультуре, поскольку в последующие годы, с учетом развития программ разведения по всему миру, возрастет процент обмена рыбными генетическими ресурсами.

⁵³ ICES (2004) Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf; Hewitt, C.L., Campbell, M.L. и Gollasch, S. (2006). Alien Species in Aquaculture. Considerations for Responsible Use. www.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2006-036.pdf. IUCN, Гланд, Швейцария; WorldFish Center (2002) Nairobi Declaration on Aquatic Biodiversity and Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture in Africa. www.worldfishcenter.org/cms/list_article.aspx?catID=39&ddlID=109. WorldFish Center (2003) Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved Fish, www.worldfishcenter.org/Pubs/Dhaka%20booklet/Dhaka_booklet.pdf

⁵⁴ Картахенский Протокол по биобезопасности определяет ЖМО как организм, полученный в результате прямых манипуляций с ДНК или посредством слияния клеток, принадлежащих представителям различных таксономических групп.

5.2 Перемещение улучшенного вида в другую страну

5.2.1 Введение

Кодекс содействует применению Кодекса практики по интродукции и передаче морских организмов 2004 (*Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms*), разработанного Международным советом по исследованию морей (ICES), и внедрению Технических рекомендаций по ответственному использованию и контролю чужеродных видов (*Technical Guidelines on the Responsible Use and Control of Alien Species*) по намеренному перемещению рыбы из одной страны в другую и поддерживает страны в осуществлении таких передач таким образом, что снижаются риски для местного биологического и генетического разнообразия. Существует множество документально подтвержденных случаев конкуренции, хищничества, передачи болезней и разрушения сред обитания в результате введения чуждых видов, и в отношении этих вопросов нужно проявлять осторожность⁵⁵. В отношении отселекционированных линий, в случае с лососевыми существуют доказательства, что модифицированные генные концентрации в рыбах, выделенных для улучшения стад или использования в аквакультуре, при выпуске в условия дикой природы и скрещивании с диким геномом, могут снизить общую жизненную приспособленность местных популяций того же или близкородственного вида посредством генетической интрогрессии (то есть введением в дикую популяцию аллелей улучшенного вида)⁵⁶.

⁵⁵ Sindermann, C.J. 1993. Disease risks associated with importation of non-indigenous marine animals. *Marine Fisheries Review*, 54:1-10; McVicar, A.H. (1997) Disease and parasite implications of the coexistence of wild and cultured salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 54:998-1008.

⁵⁶ McGinnity *et al.* 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farmed salmon. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270:2443-2450; Jonsson, B. и Jonsson, B. (2006) Cultured salmon in nature: a review of their ecology and interactions with wild fish. *ICES Journal of Marine Science* 63:1162-1181; Verspoor, E., Stradmeyer, L., Neilsen и J.L. (ред.). 2007. *The Atlantic Salmon. Genetics, Conservation and Management*. Blackwells, Oxford.

5.2.2 *Руководство по перемещению*

При перемещении улучшенной водной зародышевой плазмы гораздо более важной, с биологической точки зрения, географической единицей, по сравнению с местными, региональными или международными политическими границами, является водораздел (бассейн реки)⁵⁷. Несмотря на то, что правительственные организации должны учитывать перемещения как в страну, так и из ее пределов, предложенное перемещение рыбы в пределах водораздела через политические границы может рассматриваться менее критически, чем перемещение из одного водораздела в другой в пределах той же самой политической юрисдикции или страны.

В отсутствие специального государственного органа по перемещению зародышевой плазмы, запросы на интродукцию улучшенных линий должны направляться в высший ответственный орган по рыболовству страны-импортера (например, управляющий по рыболовству, окружающей среде или сельскому хозяйству) на основании тщательной оценки экологического воздействия (ОЭВ) и анализа выгод и затрат.

Рекомендации по ОЭВ и анализ возможных негативных затрат, связанных с каким бы то ни было импортом, должны учитывать следующее:

- Наличие потенциально ценного конспецифичного генетического разнообразия в отдельном водоразделе, в который импортируется новый материал.
- Наличие другого дикого или исчезающего водного биоразнообразия, на который интродукция окажет негативное воздействие.
- Наличие подходящих местных видов или стратегий генетического улучшения существующей разводимой рыбы для использования в качестве альтернативной интродукции.

Кодекс ICES рекомендует структуру для интродукции водных организмов, которая охватывает как чужеродные виды, так и улучшенные линии. Концептуально Кодекс прост и содержит требования, которым

⁵⁷ Термин «водораздел» используется здесь в отношении взаимосвязанных водоемов, которые могут быть определены на уровне бассейна реки или ему подобном.

должны следовать любые лица, агентства или компании, планирующие использовать неместную зародышевую плазму. Вначале требуется подготовка предложения, подаваемого на рассмотрение в независимый орган. Результаты рассмотрения будут направляются обратно лицам, вносящим это предложение, для одобрения, пересмотра или отклонения. Если предложение на интродукцию новых видов одобрено, то, в соответствии с Кодексом, требуется управление, контроль и отчетность по здоровью рыб.

5.2.3 Соглашения по перемещению материала (Material Transfer Agreements - MTAs)

Если запрос на интродукцию одобрен, то перемещение должно согласовываться с соответствующими международными и национальными законами, которые связаны с доступом и совместным использованием выгод, имущественными правами или биологической безопасностью. Условия доступа и использования такого генетического материала обычно устанавливаются соглашением по перемещению материала. МТА должно быть заверено государственным уполномоченным органом страны-импортера и передано в базу данных ФАО об интродукции водных видов (DIAS)⁵⁸.

Соглашения по перемещению материала могут быть юридически обязательными соглашениями, которые обычно составляются для фиксирования в документальной форме и описания условий для перемещения движимых биологических материалов, включая материал, используемый в исследовательских целях, и генетически улучшенную рыбу, из одной структуры в другую. Пример МТА представлен в Приложении 5.1.

5.2.4 Протоколы перемещения

Следующие протоколы основаны на международных кодексах практики, которые могут включать один или более существующих протоколов различных стран, и они служат в качестве общих рекомендаций. Они могут рассматриваться как дополнение к индивидуальным национальным

⁵⁸ FAO Database on Introductions of Aquatic Species (DIAS) [http://www.fao.org/f/website/FISearch.do? dom=introsp](http://www.fao.org/f/website/FISearch.do?dom=introsp); FishBase: <http://www.fishbase.org>

требованиям или могут являться основой элементов национальных нормативных требований.

5.2.4.1 Экспортирующая (передающая) страна или организация

К соглашению по перемещению материала должна быть приобщена особая техническая информация, касающаяся запрещенной зародышевой плазмы, в частности:

- научные и местные названия перемещаемых видов;
- отличительные признаки перемещаемых видов, благодаря которым они становятся желаемым предметом импорта;
- предполагаемое использование перемещаемых видов и точное месторасположение для их использования;
- количество перемещаемых особей;
- количество и тип (например, полные сибсы, полусибсы) семей, представленных в перемещении;
- возраст или онтологическое состояние (например, икринка, личинка, послеличиночная стадия, мальки, молодь) перемещаемых особей;
- история заболеваний и/или подверженности патогенам перемещаемых видов;
- генотипический и фенотипический пол перемещаемых видов (например, обычные женские особи, обычные мужские особи, обычный смешанный пол, генетически смешанный пол, но фенотипически все особи мужского пола – обработанные гормонами).

Материал для перемещения должен сопровождаться ветеринарным свидетельством о свободе от предписанных паразитов, патогенов и любой другой биоты, выданным компетентным органом. Вода для перевозки должна быть чистой и свободной от взвешенных твердых частиц. По возможности, перемещаемые особи должны пройти дезинфекцию до перевозки.

Большая часть этой информации должна быть предоставлена в изначальном предложении с запросом на импорт видов в страну. Она может дублироваться МТА для обеспечения соответствия условиям соглашения.

5.2.4.2 *Импортирующая (принимающая) страна или организация*

Основную обеспокоенность стран-импортеров вызывает здоровье рыбы и предотвращение трансграничных патогенов. Соответствующие разделы Технического руководства⁵⁹ по этой теме требуют наличия национальной стратегии в отношении здоровья водных животных и кратко представлены ниже. Формальная национальная стратегия в отношении здоровья водных животных дает странам «план действий», основанный на национальных потребностях и приоритетах, для достижения желаемого статуса здоровья водных животных. К компонентам национальной стратегии относятся: рассматриваемые патогены, диагноз заболеваний, санитарная сертификация и карантинные меры, зонирование заболеваний, наблюдение и отчеты по болезням, планирование вероятностей, анализ риска импорта, политические основы и региональное создание потенциала.

По согласованию со Всемирной торговой организацией (ВТО) и в соответствии с Соглашением по применению санитарных и фитосанитарных мер (SPS Agreement), все страны сохраняют за собой право применять санитарные и фитосанитарные меры, необходимые для защиты жизни человека, животного или растения. При определении соответствующего уровня защиты (ALOP) необходимо принимать во внимание актуальные экономические, социальные экологические факторы.

Если возможно, посадочный материал лучше ввозить икринками или на других ранних стадиях развития, а не взрослыми рыбами-производителями. Чем дольше живет рыба, тем выше вероятность того, что она войдет в контакт с патогеном. Рыбы на ранних стадиях развития несут в себе меньше скрытых инфекций, чем взрослые особи, их легче содержать в карантине, и икринки не могут передавать определенные патогены, например, жаберных паразитов.

Еще до импортирования квалифицированный персонал страны-импортера должен проконсультироваться со Всемирной организацией здравоохранения животных (OIE – World Organization for Animal Health),

⁵⁹ ФАО. 2007. Развитие аквакультуры. 2. Менеджмент здоровья для ответственного перемещения живых водных организмов. Техническое руководство ФАО по ответственному рыбному хозяйству. No. 5. Приложение. 2. Рим, ФАО. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1108e/a1108e00.pdf>

которая является нормотворческим органом Всемирной торговой организации по патогенам рыб, с существующей литературой и сетевыми сервисами по заболеваниям⁶⁰ для идентификации возможных проблем в отношении здоровья рыб. Должны предприниматься все попытки для получения рыбы из аккредитованных питомников, показывающих должное управление здоровьем рыб, и для обеспечения качества ветеринарных свидетельств страны-экспортера. По прибытии, партии должны проверяться на предмет отсутствия предписанных патогенов, например, официально перечисленных ОИЕ паразитов и другого неодобренного биологического материала, такого как случайные виды, импорт которых не запрашивался. Если обнаружено заболевание, то все привезенные особи должны быть уничтожены и утилизированы соответствующим образом, в случае если не будет гарантировано эффективное лечение.

При карантине группа водных животных должна содержаться в изоляции без прямого и косвенного контакта с другими водными животными, с целью проведения наблюдений в течение определенного периода времени, и, если возможно, проб и лечения, включая должную очистку сточных вод⁶¹. Уровень карантина должен зависеть от риска распространения заболевания. Импорт чужеродных видов, осуществляющийся впервые, или видов, взятых из дикой природы или источников с неизвестным состоянием здоровья, может потребовать более жестких условий карантина.

Следует понимать, что эффективность физической проверки и карантина может ограниченным образом препятствовать передаче патогенов. Любые бактерии или вирусы, к которым ввозимые особи уже имеют иммунитет или проявляют субклинические симптомы, то есть создают видимость здоровья, могут быть выявлены посредством проведения опыта или иммунопробы, но не будут устранены содержанием в изоляции. Тестирование и наблюдение в условиях карантина может включать опыты на совместное обитание с местными видами или на увеличение стресса на карантинных животных для выяснения, проявится ли заболевание.

⁶⁰ www.oie.int/fr/fr_index.htm; Permanent Advisory Network for Diseases in Aquaculture (PANDA; www.europanda.net/); Aquatic Animal Pathogen and Quarantine Information System (AAPQUIS, www.aapqis.org/v2/Default.aspx).

⁶¹ OIE. 2005. *Aquatic animal health code*. 8th Edn. Paris.
www.oie.int/fr/normes/fcode/f_summry.htm

Тем не менее, карантин дает властям возможность наблюдать привезенную группу на протяжении определенного периода времени, в течение которого могут проявиться симптомы заболевания. Карантин в соответствующем помещении должен длиться в течение минимум 28 дней, но должен определяться тем, какие патогены рассматриваются. При помещении в карантин, вселяемые особи должны быть дезинфицированы в профилактической ванне и, если возможно, подвергаться пероральному курсу антибиотиков широкого спектра. Вся вода, упаковочные материалы, контейнеры и другие материалы перевозки должны пройти стерилизацию или быть уничтожены.

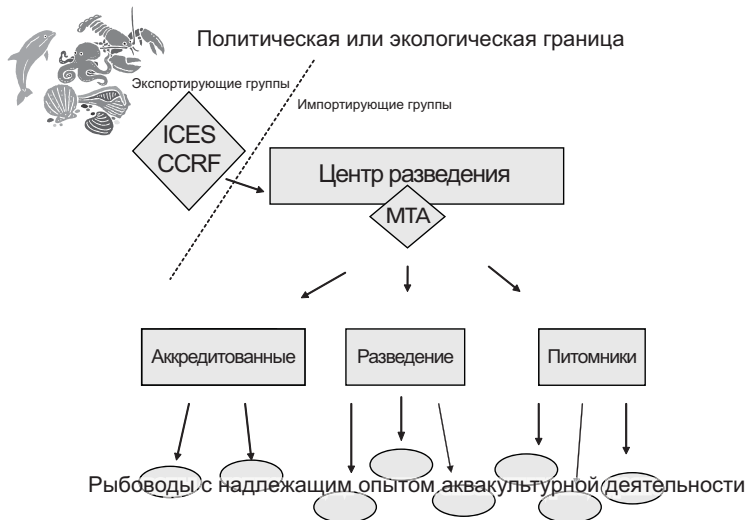
Карантинные площадки должны быть укреплены, чтобы гарантировать невозможность побега и сброс воды. Утилизация воды должна проводиться безопасным образом. Если в карантинном участке случается вспышка заболевания, то иногда возможно лечение. Но химическая терапия может привести к другим проблемам, таким как устойчивость к антибиотикам, и должна применяться только после экспертного заключения. Если вспышки заболевания контролировать невозможно, то зараженных особей необходимо уничтожить и утилизировать после соответствующей стерилизации. Контроль качества воды в карантинном участке должен осуществляться регулярно, и периодически должны проводиться проверки на предмет появляющихся паразитов и заболеваний. Должен вестись список известных паразитов, заболеваний и патогенов, и экспортер должен быть осведомлен о возможных действиях при неожиданном появлении паразитов или патогенов.

Первичные импортируемые особи не должны перемещаться в естественную среду. Кодекс ICES рекомендует распределение только поколения F_1 импортируемых видов после карантина первичных родителей.

Зонирование районов аквакультурного использования и сохранения (Глава 9) также применимо к управлению здоровьем рыбы. Страны могут устанавливать зоны, где известно о существовании определенных патогенов, и зоны, свободные от заболеваний; зоны должны основываться на экологических критериях, а не на политических границах. Перемещение животных между зонами, где существуют те же патогены, или из зоны, свободной от заболеваний, не приводит к проблемам. Животные не должны перемещаться из зоны с патогенами, отсутствующими в принимающей зоне.

Рисунок 5.1

Система распространения для вселения и использования генетически улучшенных видов в аквакультуре. Ромбы представляют собой рекомендации и кодексы практики, соблюдать которые нужно до распространения. Не должно быть никакого перемещения зародышевой плазмы, кроме как показано стрелками. МТА = Соглашение по переносу материалов; ICES и CCRF относятся к рекомендациям кодекса практики по интродукциям Международного совета по исследованию морей и Кодекса поведения для ответственного рыболовства ФАО, соответственно.



5.3 Распространение улучшенного вида в пределах страны как часть рациональной стратегии развития аквакультуры

При условии, что первично импортируемые особи не должны перемещаться в естественные среды, процесс размножения должен осуществляться до распространения икры генетически улучшенных видов⁶². Распространение улучшенных видов должно осуществляться через систему аккредитованных питомников и центров разведения (Рисунок 5.1).

⁶² Pioneering Fish Genetic Resource Management and Seed Dissemination Programmes for Africa: adapting principles of selective breeding to the improvement of aquaculture in the Volta Basin. Workshop Proceedings, 27-30 March 2007. Рим, ФАО.

Аккредитация питомников, функционирующих в качестве хозяйства-репродуктора улучшенных видов из центров разведения, должна осуществляться оценочной группой из регионального центра разведения. Аккредитованные питомники должны соответствовать техническим требованиям, установленным оценочной группой, и иметь соглашение с центром разведения в отношении стандартного оперативного управления и процедур распределения.

Основной целью развития системы аккредитации питомников является обеспечение выполнения рекомендаций по сохранению генетического качества молоди, поставляемой питомниками в хозяйства, и защите местных генетических ресурсов. Рекомендуется следующее:

- Для получения генетически улучшенного посадочного материала владельцы питомников должны обращаться в центр разведения за аккредитацией; заявка рассматривается на основании группы критериев, включающих перечисленные здесь элементы и другую соответствующую информацию (например, сооружения и оборудование, опыт, местоположение, предыдущая деятельность).
- Маточное стадо поставляется аккредитованным питомникам центрами разведения, и его замена осуществляется по четко определенному протоколу и при необходимости.
- Питомники, подавшие заявку на аккредитацию, должны быть надлежащим образом управляемы и следовать лучшим примерам аквакультурной деятельности в соответствии с решениями квалифицированного технического персонала.
- Должна реализовываться система правильного учета поставляемого в питомник маточного стада или молоди.
- Для контроля географического распределения генетически улучшенных стад необходима реализация системы мониторинга распределения молоди из аккредитованных питомников производителям. Она позволит проводить оценки потенциальных экономических и экологических воздействий распространения улучшенных видов.
- Питомники должны осуществлять меры по контролю качества, и статус их аккредитации должен пересматриваться на постоянной основе.

5.4 Обсуждение

Перемещение чужеродных видов и штаммов для аквакультурных целей было значительным⁶³, но проводилось лишь небольшое количество оценок их воздействия, положительного или отрицательного⁶⁴. Правительства требуют хранения учетных записей по вселению и последующему распространению чужеродных видов и генетически улучшенных стад в их странах и направлять информацию в ФАО. ФАО ведет базу данных об интродукции водных видов (DIAS), в которой также содержится информация по воздействиям. Объем данных по чужеродным видам растет и позволяет принимать лучшие решения по вселению чужеродных видов; сопоставимого источника информации по воздействиям генетически улучшенных видов не существует.

Многие случаи перемещения улучшенных стад и чужеродных видов плохо контролируются, несмотря на всеобщее согласие с тем фактом, что ввиду имеющихся рисков контроль необходим. Акваариумная промышленность и специалисты по рыбам и дикой природе популяризируют систему анализа рисков и критических контрольных точек (НАССР – *Hazard Analysis and Critical Control Point Approach*)⁶⁵ в некоторых сферах, в частности, для снижения рисков для стран-импортеров по внесению побочных видов и патогенов и для повышения осведомленности общественности. НАССР также поддерживается производителями лосося с целью снижения возможности побегов. МТАs являются способом укрепления контроля, но и на сегодняшний день его мало используют в аквакультуре и при перемещении рыб.

⁶³ FAO Database on Introductions of Aquatic Species (DIAS): <http://www.fao.org/f/website/FISearch.do?dom=introsp>; FishBase: <http://www.fishbase.org>

⁶⁴ Важным исключением является, An Impact Evaluation of the Development of Genetically Improved Farmed Tilapia and Their Dissemination in Selected Countries by Asian Development Bank. АДБ 2005; Доступен на www.adb.org/publications

⁶⁵ См. http://seagrant.umn.edu/downloads/ais-haccp_manual.pdf для руководства по использованию принципов НАССР для водных инвазивных видов.

Приложение 5.1

Соглашение по перемещению материала^a

Следующий пример Соглашения по перемещению материала основан на аналогичном, который используется в настоящее время центром WorldFish.

Кому: Запрос на улучшенную зародышевую плазму должен направляться в компетентный орган, имеющий юридические и политические полномочия на распространение материала.

Я/мы заказываем следующий материал:

Здесь должен прилагаться список запрашиваемых материалов, включая подробное описание материала, его предполагаемое использование и местоположение, где он будет использоваться, как представлено в тексте.

Я/мы соглашаемся:

- следовать условиям Конвенции по биологическому разнообразию;
- препятствовать дальнейшему распространению зародышевой плазмы на территориях, на которых она может оказать неблагоприятное экологическое воздействие;
- не заявлять о праве собственности на полученный материал, не стремиться получить права на интеллектуальную собственность в отношении этой зародышевой плазмы или связанной с ней информации;
- гарантировать, что для любого последующего лица или учреждения, для которого я/мы будем предоставлять образцы зародышевой плазмы, то же условие будет обязательным;
- с тем, что ответственность за соблюдение нормативных требований страны по биологической безопасности и импорту и любых правил принимающей страны в отношении выдачи генетического материала полностью лежит на мне/нас;
- следовать карантинным протоколам, предложенным Техническими рекомендациями ФАО по менеджменту здоровья для ответственного перемещения живых водных организмов и Центром WorldFish;
- с тем, что в случае если передача зародышевой плазмы осуществляется за пределы границ нашей страны, мы обязуемся придерживаться соответствующих международных кодексов и рекомендаций, таких как CCRF, ICES и OIE.

Дата:

Имя лица или название учреждения, запрашивающего зародышевую плазму:

Адрес:

Адрес доставки (если отличается от вышеуказанного):.....

Подпись полномочного представителя:.....

^a Из Международной системы по генетике в аквакультуре (INGA) www.worldfishcenter.org

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОГРАММ ГЕНЕТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ⁶⁶

6.1 Данные о генетическом улучшении

Программы генетического улучшения видов наземных животных и растений осуществили значительный вклад в рост продуктивности и укрепление жизнеспособности промышленности. Большая же часть аквакультурных стад, использующихся в настоящее время в развивающихся странах, являются генетически сходными или низшего качества по сравнению с дикими, неодомашенными аналогичными видами^{67,68}. Существуют данные, что программы генетического улучшения, осуществляемые с видами водных животных, могут оказывать такое же положительное воздействие, как и в случае животноводства и зерновых культур. Генетически улучшенная культивируемая тилапия (GIFT)⁶⁹ (*Oreochromis niloticus*) и Jayanti rohu⁷⁰ (*Labeo rohita*) являются двумя примерами подобных программ в развивающихся странах. Программы генетического улучшения этих видов составлялись по модели успешного проекта по атлантическому лососю (*Salmo salar*), начатому в Норвегии в 1970-х годах. Эти улучшенные виды являются очень привлекательными и ценными для рыбоводов благодаря своим более высоким показателям роста и выживаемости.

6.2 Факторы, ограничивающие широкое распространение и внедрение технологии

Доказательства генетического улучшения могут быть получены в условиях контролируемых экспериментов, в которых систематически ведется необходимый учет. Но «видимость» генетических успехов у

⁶⁶ Автор – Raul W. Ponzoni.

⁶⁷ Eknath, A.E. 1991. Simple broodstock management to control indirect selection and inbreeding: Indian carp example. *NAGA, The ICLARM Quarterly* 738:13-14.

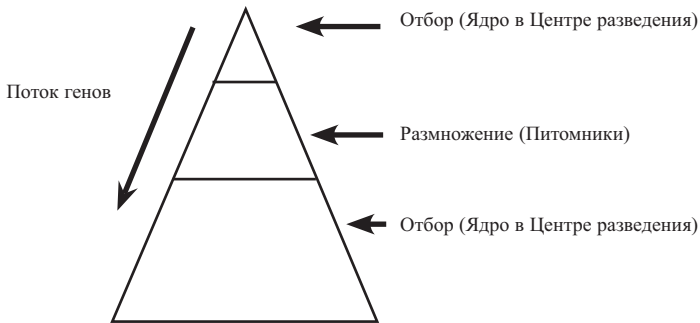
⁶⁸ Brummett, R.E., Angoni, D.E. и Pouomogne, V. 2004. On-farm and on-station comparison of wild and domesticated Cameroonian populations of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 242:157-164.

⁶⁹ Gupta, M. и Acosta, B. 2004. From drawing board to dining table: The success story of the GIFT project. *NAGA, WorldFish Center Quarterly* 27 (3&4):4-14.

⁷⁰ Mahapatra, K., Jana, R.K., Saha, J.N., Gjerde, B. и Sarangi, N. 2006. Lessons from the breeding program of Rohu. в: Ponzoni, R.W., Acosta, B., Ponniah, A.G. (ред), Development of aquatic animal genetic improvement and dissemination programs: Current status and action plans, WorldFish Center Conference Proceedings 73, Penang, Malaysia, cc. 34-40.

Рисунок 6.1

Поток генов из ядра в центре разведения в производственную систему.



водных животных в условиях разведения крайне мала. С точки зрения производства, на ценные признаки, такие как коэффициент роста, выживаемость и отсутствие заболеваний, оказывает влияние не только генетика, но также и окружающая среда, причем в больших масштабах. Поэтому становится сложным, даже почти невозможным, точно выявить причину наблюдаемых изменений в системе производства. Более того, программы генетического улучшения требуют начальных инвестиций, а также постоянных ежегодных затрат на их осуществление. Ввиду этих затрат, у правительственных учреждений могут остаться сомнения в целесообразности инвестирования в такие программы, за исключением случаев, когда существует абсолютная уверенность в определенных выгодах для страны. Для составления блоков информации, которая может помочь в принятии разумных решений в отношении генетического улучшения; необходимо критическое рассмотрение двух экономических уровней, а именно: при определении программных целей разведения и при оценке выгод и затрат при осуществлении программы в разумный период времени. Эти два уровня, несомненно, связаны, но рассмотрение их лучше проводить отдельно.

Таблица 6.1 Биологические признаки, включаемые в цель разведения

Воздействие на прибыль	Признак	Причина включения
Доходы	Вес при вылове (W)	Рыба продается по весу, чем тяжелее рыба, тем выше ее цена. Быстрорастущая рыба быстрее достигнет определенного веса, чем медленно растущая рыба.
	Процент выживаемости (S)	Большой процент выживаемости большего числа рыбы для потребления или для продажи.
Расходы	Потребленный корм (FI)	Корм – главные производственные затраты. Большой коэффициент роста может привести к большому потреблению корма.

6.3 Цели разведения

В животноводстве генетическое улучшение обычно происходит в отношении лишь небольшой части популяции. Генетическое улучшение, полученное в этой «элитной группе» или «ядре» высших животных, умножается и распространяется в производственных системах (Глава 5). Поток генов графически изображен на Рисунке 6.1. Осуществления программы генетического улучшения по отношению к относительно небольшому числу животных может быть достаточно для обслуживания очень большой популяции, участвующей в производстве. Ядро поставляет маточное стадо в питомники (множители генетически улучшенных запасов). Молодь, полученная в питомниках, в свою очередь, выращивается в производственном секторе.

При такой структуре промышленности (Рисунок 6.1; см. также Главу 5) рыбоводы производят фактически всю рыбу для потребления. Поэтому цели разведения должны формулироваться в соответствии с интересами рыбоводов, учитывая ядро и зависимые питомники как сектора, обслуживающие рыбоводов. Биологические признаки, включаемые в цель разведения, должны влиять на прибыль, то есть доходы, расходы или и то, и другое, на уровне хозяйства. В Таблице 6.1. приведен простой пример.

Уравнение прибыли выглядит следующим образом:

$$\text{Прибыль (P)} = \text{Доход} - \text{Расход}$$

Данное уравнение может быть выражено как функция биологических признаков в Таблице 1. Если взять в качестве примера производственную единицу на 1 000 рыб, то можно записать:

$$P = 1\,000 [(W) (S/100) (\text{цена на единицу веса рыбы}) - FI (\text{цена на единицу веса корма})] - K$$

где: W – это вес при вылове, S – это процент выживаемости к моменту вылова, FI – это общее количество корма, потребленного рыбой к моменту вылова, а K – это фиксированные издержки. Фиксированные издержки – это издержки, которые рыбовод несет в любой фазе производства и которые могут не приниматься во внимание при выведении экономической ценности каждого признака. Такое уравнение позволяет определить экономическую ценность каждого признака в целях разведения. Экономические ценности между признаками обычно отличаются по причине использования различных единиц измерения, их выражения в производственной системе и их относительной экономической ценности. Например, показатель выживаемости выражен в отношении всей имеющейся рыбы, в то время как рыночный вес – только в той, которая доживает до попадания на рынок. Также если цена на корм низкая (высокая) относительно цены на рыбу, то потребление корма будет иметь более низкую (высокую) экономическую ценность в сравнении с весом при вылове.

Присвоение экономических ценностей признакам в целях разведения позволяет осуществлять подсчет генетической выгоды в экономических показателях. Также очень важно включение признаков, связанных как с расходами, так и с доходами, потому что если включать только признаки, приносящие доход, экономическая ценность генетической выгоды может быть переоценена. Экономическая ценность каждого признака может быть определена в числовом выражении путем вычисления разницы: $P^* - P$, где P — это прибыль при средней ценности всех признаков, а P^* — это соответствующая ценность после увеличения признака на одну единицу, при том что остальные признаки остались со средней ценностью. Используя для P уравнение, приведенное выше, мы находим, что экономическая ценность W, S и FI составляет 0,85 долларов США, 3,00 доллара США и – 0,56 долларов США соответственно.

Таблица 6.2 Численные параметры экономической оценки программы селекционного разведения

Параметр	Значение (я) ^a
<i>Экономические параметры</i>	
Первоначальные инвестиции в программу	50 000, 75 000 , 100 000 долл. США
Уровень скидки	0,05 , 0,10, 0,15 d (доля)
Коэффициент дисконтирования	Высчитано из значений $d r = 1/(1+d)$
Ежегодные (периодические) затраты	30 000, 60 000 , 90 000 долл. США
Цена на рыбу (цена от производителя)	0,001 , 0,0015, 0,002 долл. США/г
Стоимость корма	0,00056 долл. США/г
Через какой период времени осуществляется оценка схемы	10 года
<i>Биологические параметры</i>	
Интервал поколений у женских особей	1.0 год
Интервал поколений у мужских особей	1.0 год
Оценка наследуемости	Значения P = 0,2, 0,3 , 0,4; Значения S = 0,05, 0,08 , 0,12; Значения IA = 0,16, 0,25 , 0,3
Суммарное потребление корма	400 г
<i>Операционные параметры</i>	
Через сколько лет получен первый доход	2 , 3, 4 года
Количество рыбы на убой/год ^b	(1) 2,205; (2) 6,6248 ; (3) 47,32; (4) 338,0 в миллионах
Вес при вылове	300 г
Коэффициент выживаемости	85%

^a Если представлено несколько значений, то значение, выделенное жирным шрифтом, использовалось в качестве исходного для определения «базовых результатов», а другие значения использовались в анализе чувствительности.

^b Данные относятся к различным репродуктивным технологическим уровням, с самого низшего до высокого. Уровень 1 соответствует плохому управлению и естественному икретанию в прудах; Уровень 2 как и Уровень 1, но с хорошим управлением; Уровень 3 использует репродукцию в комбинации – сбор икринок из ртов женских особей и искусственная инкубация группы-ядра, естественное икретание с хорошим управлением в питомниках; Уровень 4 предполагает, что репродукция в комбинации (как описано для Уровня 3) используется как в отношении группы-ядра, так и в питомниках.

6.4 Затраты и выгоды программы генетического улучшения

В то время как существует несколько способов манипулирования генетикой водных животных (например, полиплоидия, кроссбридинг), селекционное разведение является единственным подходом, при котором полученные выгоды могут быть умножены, переданы другим животным и передаваться от поколения к поколению. Данная работа посвящена исключительно селекционному разведению. Ежегодная реакция на селекцию зачастую выглядит ничтожной при сравнении с выгодой,

Таблица 6.3 Дисконтированный поток средств ($d = 5\%$), экономическая выгода и соотношение выгод/затрат в базовой ситуации

Год	Фактор дисконтирования	Дисконтированные доходы	Дисконтированные затраты (000 долл. США)	Экономическая выгода (000 долл. США)	Соотношение выгод/затрат
0	1,0	0	0	-75	-
1	0,952	0	57,14	-132,14	0
2	0,907	130,56	111,56	-56,01	0,7
3	0,864	379,23	163,39	140,84	1,6
4	0,823	734,48	212,76	446,73	2,6
5	0,784	1 185,60	259,77	850,83	3,5
6	0,746	1 722,64	304,54	1 343,10	4,5
7	0,711	2 336,40	347,18	1 914,21	5,5
8	0,677	3 018,35	387,80	2 555,56	6,5
9	0,645	3 760,62	426,47	3 259,15	7,5
10	0,614	4 555,90	463,30	4 017,60	8,5

которая может быть получена в результате расширения, улучшенного питания и интенсификации производственной системы. Но реакция на отбор, определенная в одной популяции, не является хорошей оценкой потенциального воздействия генетической выгоды. При надлежащей промышленной структуре небольшая, но суммарная селекционная реакция ядра при генетическом улучшении может быть передана в питомники и умножиться, а далее – рыбоводам (Рисунок 6.1; Рисунок 5.1 Глава 5). Именно благодаря такому потенциалу выражения небольших суммарных изменений в тысячах или миллионах животных программы генетического улучшения становятся одним из самых сильных и дешевых средств увеличения эффективности аквакультуры.

6.5 Факторы, влияющие на экономические выгоды и соотношение выгод/затрат программ генетического улучшения

Существует разработанная методология, которая обычно используется в исследованиях экономических последствий внедрения программы генетического улучшения⁷¹. Результаты таких исследований зависят от предположений, сделанных в отношении многочисленных факторов, которые могут повлиять на результат. В Таблице 6.2 перечислены такие

⁷¹ Ponzoni R.W., Nguyen, H.N. и Hooi Ling Khaw. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 269:187-199.

факторы и даны численные значения, охватывающие ряд возможных сценариев. На практике, можно проверить корректность сделанных предположений путем проверки чувствительности результатов к реальным отклонениям от таких предположений. Значения, показанные в Таблице 6.2, использовались при подсчете экономической выгоды (ЕВ) и соотношения выгод/затрат (BCR) в результате программы генетического улучшения. Если в отношении определенного параметра дано несколько значений, то выделенное жирным шрифтом использовалось в качестве исходного для определения «базовых результатов» (Таблица 6.3), а другие значения использовались в анализе чувствительности (см. раздел 6.8).

6.6 Общая применимость результатов

Проведение экономических оценок программ генетического улучшения особенно ценно с точки зрения страны, где лица, ответственные за принятие решений, обратят основное внимание на подсчет того, какую дополнительную выгоду стране может принести осуществление такой программы. Результаты также применимы к вертикально интегрированному хозяйству, контролирующему центр по разведению групп-ядер, питомники и производственный сектор (Рисунок 6.1). Результаты убедительно показывают, что от генетического улучшения возможно получение очень положительных доходов от инвестиций (Таблица 6.3). Даже при заниженных значениях, взятых для базового уровня факторов в Таблице 2, экономическая выгода и соотношение выгод/затрат представлялись весьма положительными, на уровне четырех миллионов долларов США и 8,5, соответственно, после 10 лет осуществления программы. Порог безубыточности, то есть момент, когда прибыль из отрицательной становится положительной, достигается на 3 год.

6.7 Постановка показателей базовых параметров в контекст реальной жизни

Здесь были выбраны значения базовых параметров для составления очень консервативного сценария. Например, когда цена на рыбу и репродуктивная эффективность были заданы почти на самом низком уровне ожидаемых значений, экономическая выгода из отрицательной стала положительной к третьему году осуществления программы (Таблица 6.3), а к 10 году соотношение выгод/затрат оставило 8.5. На практике,

цена на рыбу выше, и при использовании очень простой и недорогой технологии, репродуктивная эффективность рыбы может быть выше. Поэтому экономическая выгода и соотношение выгод/затрат, полученные с использованием показателей базовых параметров, должны считаться минимумом, ожидаемым от такой программы генетического улучшения, как рассматриваемая.

6.8 Анализ чувствительности

Факторы, которые могут влиять на экономическую выгоду и соотношение выгод/затрат (Таблица 6.2), могут быть сгруппированы в три категории: (i) биологические (показатель наследуемости, отвечающий за потребление корма), (ii) экономические (первоначальные инвестиции, ежегодные затраты, уровень скидки, цена на рыбу), и (iii) операционные (год получения первого дохода, репродуктивная эффективность).

6.8.1 Биологические параметры

Изучалось воздействие двух биологических факторов, а именно показатели наследуемости признаков в цели разведения и подход в отношении потребления корма. Чем больше коэффициент наследуемости, тем больше генетическая выгода и, соответственно, тем больше экономическая выгода и соотношение выгод/затрат. Отчасти коэффициент наследуемости является характеристикой признака и рассматриваемой популяции, но его можно улучшить, снизив вариацию внешних условий путем надлежащего управления. Хотя экономическая выгода и соотношение выгод/затрат относительно чувствительны к значительным изменениям наследуемости, по возможности, следует внедрять практики управления, которые могут привести к снижению вариации внешних условий. Примером таких практик является получение потомства из синхронизированного нереста и его рост по стандартным и единым условиям.

Что касается потребления корма, то, несмотря на практически полное отсутствие генетических параметров для этого признака у большинства культивируемых видов, его необходимо включить в цель разведения, потому что на корм, в основном, приходится наибольшая доля затрат аквакультурного производства. Значения параметров, использованные для потребления корма, были основаны на ряде предположений, но необходимо обратить внимание, что невключение потребления корма

влечет за собой более радикальные предположения, а именно, что потребность в корме не увеличивается при более высоком коэффициенте роста или что затраты на дополнительные корма равны нулю; последнее предположение, безусловно, неверное. Что же касается первого, то имеются экспериментальные доказательства, показывающие, что в случае с атлантическим лососем существует взаимосвязанная реакция в отношении потребления корма, а также в отношении эффективности использования кормов, на отбор по коэффициенту роста⁷². Также в случае озерной форели (*S. trutta*) существует взаимосвязанная реакция в отношении потребления корма, но изменений в эффективности использования кормов нет⁷³. Эти экспериментальные данные, совместно с важностью в производственной системе затрат на корма, являются более чем достаточным обоснованием включения этого признака в цель разведения. Игнорирование потребления корма и невключение его в цель разведения приведет в итоге к значительной переоценке выгоды программы генетического улучшения, с акцентированием коэффициента роста. Этот результат совпадает с результатами, полученными в отношении видов наземных животных⁷⁴. Маловероятно, что в какой-либо программе разведения в развивающихся странах, будет измеряться потребление корма, но тем не менее весьма желательно проведение оценки фенотипических и генетических параметров этого признака исследовательскими учреждениями, чтобы удостовериться в показателях параметров, используемых для генетической оценки и при прогнозировании реакции на отбор⁷⁵.

6.8.2 Экономические параметры

Экономическая выгода и соотношение выгод/затрат были нечувствительны к размерам первоначальных инвестиций, в то время как ежегодные периодические затраты на программу влияют на соотношение выгод/

⁷² Thodesen, J. 1999. *Selection for improved feed utilization in Atlantic salmon*. Doctor Sci. Тезисы, Сельскохозяйственный университет Норвегии, 108с.

⁷³ Mambrini, M., Labbe, L., Randriamanantsoa, F. и Boujard, T. 2006. Response of growth selected brown trout (*Salmo trutta*) to challenging feeding conditions. *Aquaculture* 252:429-440.

⁷⁴ Ponzoni, R.W. 1992. Genetic improvement of hair sheep. FAO Animal Production and Health Paper No. 101, 168с. (Рим, Италия).

⁷⁵ Doupe, R.G. и Lymbery, A.J. 2003. Toward the genetic improvement of feed conversion efficiency in fish. *J. World Aquacult. Soc.* 34:245-254.

затрат больше, чем на экономическую выгоду. Уровень скидки, напротив, оказывает большее воздействие на экономическую выгоду, чем на соотношение выгод/затрат. Уровень скидки (d , Таблица 6.2) является процентной ставкой, которая используется при подсчете текущей стоимости ожидаемых в будущем выгод и затрат. Фактор дисконтирования ($1/(1+d)^y$, Таблица 6.2) – это фактор, преобразующий ожидаемые выгоды или затраты в любой будущий « y » (год) в текущую стоимость. Обсуждение выбора уровня скидки в подобном нашем исследовании возможно всегда. В контексте настоящего исследования затраты и выгоды оцениваются с точки зрения общества как целого (в отличии от отдельной фирмы или лица), и методика скидок используется для выражения таких выгод и затрат в терминах чистой текущей стоимости. Затем эту чистую текущую стоимость можно сравнить со стоимостью, полученной от альтернативного использования ограниченных ресурсов, которые страна может в настоящее время инвестировать. В нашем случае, несмотря на предположение низкого коэффициента репродуктивности, даже при высокой скидке в размере 15 процент экономическая выгода осталась положительной, а соотношение выгод/затрат составило около 75 процент от базового состояния.

Цена на рыбу оказала большое влияние, как на экономическую выгоду, так и на соотношение выгод/затрат. Несмотря на то, что цены всегда находятся вне контроля рыбоводов и лиц, отвечающих за планирование, рыба большего размера всегда имеет на рынке более высокую цену, поэтому добавленная выгода (а не вычисляемая) селекционной программы может привести к образованию лучших цен в будущем.

6.8.3 *Эффективность использования*

Период времени до получения первого дохода является отражением того, как быстро начинается реализация программы, включая распределение запасов по питомникам. Но распределение по питомникам может быть замедленным, несмотря на постоянное генетическое улучшение группы-ядра. Чем быстрее формируется прибыль, тем лучше, но даже в случае задержки в два года экономическая выгода и соотношение выгод/затрат имеют высокие показатели.

Репродуктивная эффективность базовой ситуации (Таблица 6.2) считается самым низким уровнем, при котором может осуществляться

программа генетического улучшения, и она может быть повышена при наличии доступной технологии. Несмотря на это, через 10 лет экономическая выгода и соотношение выгод/затрат были на уровне 8.5 (Таблица 6.3). Достичь Уровня 3 репродуктивной эффективности можно при помощи простых и недорогих технологий, используя национальную программу генетического улучшения. На Уровне 4 экономическая выгода и соотношение выгод/затрат при повышенной репродуктивной эффективности имели исключительно высокие показатели. В качестве аргумента может быть выдвинут тот факт, что для достижения большой репродуктивной эффективности в питомниках потребуются дополнительные государственные инвестиции. Моделирование показало, что несмотря на значительные дополнительные инвестиции на подготовку сотрудников питомников, экономическая выгода и соотношение выгод/затрат остались на высоком уровне, и программа стоила инвестиционных вложений.

6.8.4 *Итоги анализа чувствительности*

- Управленческие практики в отношении группы-ядра, которые могут снизить вариансу окружающей среды и, следовательно, повысить наследуемость, могут оказать незначительное воздействие на прибыльность.
- Чтобы избежать значительной переоценки экономической выгоды и соотношения выгод/затрат программы, необходимо принимать во внимание затраты на увеличение потребления корма как общую реакцию на отбор по большему коэффициенту роста.
- Первоначальные инвестиции, ежегодные затраты и выбор уровня скидки оказывают на экономическую выгоду и соотношения выгод/затрат относительно небольшое влияние, в то время как воздействие цены на рыбу может быть значительным.
- Чем быстрее формируется первая прибыль, тем больше экономическая выгода и соотношение выгод/затрат. Но больше всего на экономическую выгоду и соотношение выгод/затрат влияет повышение репродуктивной эффективности как на уровне выведения группы-ядра, так и в питомниках. Именно репродуктивная эффективность больше всего воздействует на экономическую выгоду и соотношение выгод/затрат.

Таблица 6.4 Верхние и нижние пределы (95 % вероятности) экономической выгоды (ЕВ) и соотношения выгод/затрат (BCR) различных уровней репродуктивной эффективности

Репродуктивная эффективность ^а	Предел для ЕВ и BCR	ЕВ (миллионы долларов США)	BCR
Уровень 1	Верхний	1,17	3,17
	Нижний	0,79	2,46
Уровень 2	Верхний	4,60	9,53
	Нижний	3,44	7,40
Уровень 3	Верхний	36,11	68,08
	Нижний	27,90	52,82
Уровень 4	Верхний	261,25	486,32
	Нижний	202,56	377,30

^а В отношении Уровней 1-4 см. Таблицу 6.2.

6.9 Шансы на успех

Результаты, представленные в предыдущих разделах, являются детерминированными по своей природе (использование математических уравнений для прогнозирования результатов), неявно предполагают общую достоверность итога. Но генетическое улучшение путем селекции – процесс случайный, включающий отбор образцов генов тогда, когда идет выбор родителей каждого поколения и когда эти родители дают потомство. Способом оценки вероятности успеха программы генетического улучшения является рассмотрение возможной вариативности реакции на селекцию⁷⁶. Коэффициент вариативности, подсчитанный с использованием уравнений, выведенных Nicholas (1989), достаточно низкий и позволяет надеяться на хороший исход программы, и даже если бы в отношении уровня экономической выгоды и соотношения выгод/затрат был бы установлен предел, они снизились в положительных пределах рассматриваемой репродукции (Таблица 6.4). Следовательно, риск неудачи по техническим причинам очень мал. Возможна неудача по причине стихийных бедствий или отсутствия целостности цели, но с такого рода причинами очень сложно работать систематически.

⁷⁶ Nicholas, F.W. 1989. Incorporation of new reproductive technology in genetic improvement programmes. в Hill, W.G. Mackay, T.F.C. (ред), *Evolution and animal breeding*, CAB International, Wallingford, Соединённое Королевство, сс. 203-209.

6.10 Заключительные замечания

Для того чтобы логически ранжировать различные признаки в цели разведения, к программам генетического улучшения необходимо подойти с экономической точки зрения. Такой взгляд помогает оценить экономическое воздействие программы на промышленность в целом. Используемая методология демонстрирует множественность факторов, которые могут повлиять на результативность программы генетического улучшения. Возможно определение и рассмотрение факторов, к которым экономическая выгода и соотношение затрат/выгод наиболее чувствительны. Экономическая выгода и соотношение затрат/выгод были наиболее чувствительны к репродуктивной эффективности при выведении группы-ядра и в питомниках, и этот фактор определяет количество рыбы, в которой проявляется генетическое улучшение. Этот количественный результат соответствует общему восприятию, что размножение и распространение улучшенных штаммов или пород во всестороннем подходе к генетическому улучшению несет в себе огромную важность. Модель (см. сноску 71) может использоваться для рассмотрения других факторов, которые могут оказать воздействие на результат программы генетического улучшения (например, менее частая передача маточного стада в питомники, выражение в группе-ядре небольшой доли реакции на селекцию в производственной среде по причине генотипа при взаимодействии с окружающей средой). Она также может использоваться в обратной ситуации, для рассмотрения целесообразности внедрения программы генетического улучшения для питомника и производственных секторов особых масштабов.

При заниженных показателях репродуктивной эффективности (Уровень 2 в Таблице 6.1), можно получить высокие показатели экономической выгоды и соотношения затрат/выгод в размере более четырех миллионов долларов США и 8,5, соответственно. При внедрении доступных, проверенных и недорогих репродуктивных технологий (Уровень 3 в Таблице 6.1) экономическая выгода и соотношение затрат/выгод выросли до 32 миллионов долларов США и 60, соответственно. Если брать легко культивируемые виды (например, тилапию), то Уровень 3 благодаря своей выполнимости и влиянию репродуктивной эффективности должен стать первоначальной целью национальных программ генетического улучшения с перспективой дальнейшего продвижения на Уровень 4, поскольку опыт питомников растет.

С национальной точки зрения, инвестирование в программы генетического улучшения культивируемых водных животных является мудрым решением. Кроме того, доступность для производителей видов с «высокими показателями» может послужить стимулом к внедрению более целесообразных практик в других областях (управление, питание, здоровье животных, маркетинг).

7 ОЦЕНКА РИСКОВ И МОНИТОРИНГ В ПРОГРАММАХ ПО ГЕНЕТИЧЕСКОМУ УЛУЧШЕНИЮ⁷⁷

7.1 Введение

Программы по генетическому улучшению (Главы 4, 5 и 6) обуславливают необходимость оценки и управления экологическими рисками, связанными с целенаправленной интродукцией и непреднамеренным бегством генетически модифицированных организмов в водные экосистемы. Оценка и контроль экологических рисков представляют собой, преимущественно, социальный процесс, основанный на научном анализе и информации. Определения терминологии из области оценки рисков ясно свидетельствуют о важности общечеловеческих ценностей:

- **Риск** указывает на вероятность нанесения ущерба в результате действия одного и ряда опасных факторов.
- **Ущерб** указывает на нежелательные последствия для человека и важных для него объектов.
- **Опасный фактор** указывает на событие, которое потенциально может привести к причинению ущерба.

Оценка рисков в сфере природных ресурсов, таким образом, зачастую увязывает в единое целое стремления заинтересованных лиц⁷⁸ и научный анализ. Международные экспертные советы при поддержке ФАО определили ряд важных элементов для проведения оценки экологических рисков для генетически улучшенной рыбы⁷⁹ и затем

⁷⁷ Автор – Anne R. Kapuscinski.

⁷⁸ Лицо, заинтересованное в вопросе, или лицо, разделяющее бремя доказывания рисков в результате конкретного решения. Самостоятельное лицо или представитель группы, чьи интересы затрагивают или затронуты обсуждаемым вопросом.

⁷⁹ Gupta, M.V.; Bartley, D.M. и Acosta, B.O. (ред). 2004. Use of genetically improved and alien species for aquaculture and conservation of aquatic biodiversity in Africa. *WorldFish Center Contribution* No. 1707. Penang, Malaysia. 107c. Nairobi Declaration в Gupta *et al.*, 2004.

WorldFish Center. 2003. Dhaka Declaration on Ecological Risk Assessment of Genetically Improved Fish. *WorldFish Center Contribution* No. 1704, Penang, Malaysia.

Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M. и Kooiman, J. (ред). 1999. Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources. *ICLARM Conf. Proc.* 59. 277c..

команда международных специалистов составила первый полный обзор текущих подходов и методик⁸⁰.

Настоящее Руководство имеет дело с прогностической оценкой рисков, которая позволяет установить вероятность и последствия потенциально опасных событий до и во время интродукции генетически улучшенной рыбы. Основная задача – это определение возможного экологического ущерба диким популяциям водных организмов или экосистемам, поддерживающим эти виды; экологический ущерб может вызвать нежелательные изменения на уровне генетического развития, популяции, сообщества или экосистемы. В Руководстве также обсуждается управление рисками, включая мониторинг, в рамках программы по распространению.

7.2 Кодекс поведения

Программы генетического улучшения не должны преуменьшать роль задачи по сохранению генетического разнообразия диких водных видов и защите целостности водных сообществ и экосистем, как зафиксировано в Статьях 6.2, 7.2.2., 9.1.2, 9.3.1 и 9.3.5 Кодекса поведения. Участие в процессе оценки рисков заинтересованных лиц регулируется статьями 6.13 и 6.16. Статья 9.1.2 закладывает основу для интеграции оценки экологических рисков и управления в программы генетического улучшения:

Страны-участницы должны содействовать ответственному развитию и управлению аквакультурой, включая предварительную оценку воздействия развития аквакультуры на генетическое разнообразие и целостность экосистем, на основании имеющихся научных данных.

⁸⁰ Данная глава использует материал исследований, проведенных 44 специалистами-экологами и социологами из 19 стран по инициативе центра WorldFish в 2005 г. и опубликованных в реферируемом издании. Они пришли к выводу, что их обзор методик оценки и управления рисками широко применим к различным типам генетического улучшения в аквакультуре. Kapuscinski, A.R.; Hayes, K.R.; Li, S. и Dana, G. (ред). 2007. *Environmental risk assessment of genetically modified organisms: Volume 3, methodologies for transgenic fish*. CAB International, Wallingford, Соединённое Королевство, 304с.

7.3 Принципы

7.3.1 Способы организации оценки и контроля экологических рисков различны в разных странах, однако эффективная организация предполагает проведение ряда идентичных взаимосвязанных систематических мероприятий⁸¹.

7.3.2 Процесс оценки и контроля экологических рисков должен увязывать в единое целое междисциплинарный научный анализ и требования участников.

Структуры успешной организации оценки и контроля рисков обладают рядом общих черт (Таблица 7.1). Ответственные службы должны определить того, кто будет выполнять различные операции в рамках оценки и контроля рисков, обозначить необходимые для этого области научных знаний, выбрать соответствующих заинтересованных лиц и решить, каким образом вовлечь заинтересованные лица и специалистов в данный процесс⁸². Соединение научного анализа с интересами многочисленных участников проекта требует от каждого политического ведомства определения уровня участия заинтересованных лиц в соответствии с социальной структурой и доступными ресурсами. Прозрачные и честные отношения между заинтересованными лицами способствуют повышению достоверности и доверия общества к выводам и рекомендациям специалистов по оценке рисков и улучшению качества оценки, потому что это:

- позволяет учесть все аспекты;
- систематизирует знания заинтересованных лиц о системе, например, информацию о наличии диких популяций в районе,

⁸¹ Hayes, K.R.; Kapuscinski, A.R.; Dana, G.; Li, S. и Devlin, R.H. 2007. Introduction to environmental risk assessment for transgenic fish. Страницы 1-28 в Kapuscinski *et al.* (ред) (см. сноску 80).

Nelson, K.C.; Basiao, Z.; Cooper, A.M.; Dey, M.; Lorenzo Hernandez, M.; Kunawasen, S.; Li, S.; Fonticiella, D.; Ratner, B.D.; Toledo, M.I. и Leelapatra, W. 2007. Problem formulation and options assessment: science-guided deliberation in risk assessment of transgenic fish. Страницы 29-60 в Kapuscinski *et al.* (ред) (см. сноску 80).

⁸² Подробная информация по интеграции интересов многочисленных заинтересованных лиц: Hayes *et al.* 2007 и Nelson *et al.*, 2007 (см. сноску 81); и Nelson, K.C. и Banker, M.J. 2007. *Problem formulation and options assessment handbook: A guide to the PFOA process and how to integrate it into environmental risk assessment (ERA) of genetically modified organisms (GMOs)*. GMO-ERA Project. Доступно на: www.gmoera.umn.edu.

Таблица 7.1 Общий регламент для всех оценок рисков. Для решения большинства вопросов, в частности, отмеченных курсивом, помимо технического анализа, требуется активное участие заинтересованных сторон^a

Дискуссия заинтересованных лиц, представляющих разные области знаний, вовлеченных в ключевые вопросы по каждой процедуре	Процедура	Ключевые вопросы
	Оценка рисков	
	Определить и классифицировать опасные факторы.	Каковы особенности оцениваемой системы (объем и границы)? Какие могут произойти события, ведущие к опасным последствиям? Каковы приоритетные для данной оценки события и опасные факторы? Каковы допустимые/недопустимые уровни опасности?
	Анализ рисков	
	Оценить воздействие каждого приоритетного опасного фактора и вероятность ущерба в результате этого воздействия.	Каково воздействие опасного фактора и какова его вероятность? Каковы будут последствия действия опасного фактора и насколько серьезными они будут?
	Анализ может быть количественным (по возм.), частично количественным или качественным.	Каковы заключения оценки рисков (матрица прогнозируемой вероятности ущерба по отношению к серьезности ущерба)? Насколько надежны знания, применяемые для установления опасных факторов, прогнозирования вероятности и ущерба? Какие неточности могут быть устранены? Какие «белые пятна» предстоит ликвидировать в процессе оценки?
	Определить и изучить пробелы в знаниях	
	Управление рисками	
	Планирование снижения рисков	Что можно сделать для уменьшения рисков до допустимого уровня путем как снижения вероятности, так и устранения последствий? Являются ли меры по устранению рисков допустимыми?
	Реализация плана	
	Мониторинг	Являются ли процедуры мониторинга допустимыми? Насколько эффективны реализуемые меры по снижению рисков? Они лучше, хуже или соответствуют плану?
	Устранение рисков	Какие исправительные (восстановительные) действия будут предприняты, если результаты оценки неудовлетворительны? Удалось ли благодаря этим действиям решить проблему(-ы)?

^a Hayes *et al.*, 2007 и Nelson *et al.*, 2007 (см. сноски 81); Nelson и Banker, 2007 (см. сноски 82).

что может быть неизвестно техническому специалисту по оценке рисков;

- принимает во внимание точку зрения заинтересованных лиц по поводу ключевых моментов процесса; и
- гарантирует то, что выводы специалистов по оценке рисков и их подходы к решению проблем не будут проигнорированы заинтересованными лицами.

7.3.3 Любая оценка экологических рисков должна выстраиваться вокруг случайной цепочки событий, которая начинается с потенциальной интродукции генетически измененных организмов в экосистему, и должна прогнозировать последующие события, которые могут причинить потенциальный ущерб.

Необходимость оценки генетических и других экологических рисков обусловлена изменениями в генетической модели и свойствах генетически измененного организма. Ряд процедур оценки рисков используют эмпирические данные о подобных изменениях по отношению к популяции(-ям), выращиваемой в данной географической зоне, и к любым диким родственным особям⁸³ в водной экосистеме, а также информацию о том, как эти изменения могут привести или не привести к экологическим нарушениям. На Рисунке 7.1 приведен обобщенный пример цепочки событий, которая могла бы закончиться нанесением экологического вреда.

7.3.4 На ранних этапах процесса по оценке рисков соответствующие специалисты и заинтересованные стороны должны составить описание цепи опасных событий, определить и ранжировать опасные факторы и ущерб по звеньям цепи и выработать единые допустимые уровни опасности.

Результаты обсуждений специалистов и потенциально заинтересованных в данных вопросах лиц создают общественно достоверную и надежную базу, которая позволяет руководству эффективно распределить ограниченные ресурсы по оценке приоритетных опасных факторов и

⁸³ Любые виды в экосистеме, с которыми может скрещиваться генетически измененная рыба, включая те же виды, что и генетически измененная рыба или близкородственные виды.

Рисунок 7.1

Общая цепочка событий, ведущая к экологическим изменениям в результате бегства генетически измененной рыбы. Показаны только те события, которые ведут к причинению ущерба



вреда. Далее процесс оценки и контроля рисков концентрируется на отобранных приоритетных опасных факторах (Таблица 7.1).⁸⁴

7.3.5 Измеряемые пределы для приоритетных опасных факторов в оценке и контроле рисков.

Необходимо тщательно отобрать измеряемые критерии экологических изменений, которые аналитики и заинтересованные лица признали нежелательными⁸⁵. После чего аналитики могут сосредоточиться на определении вероятности и размеров ущерба для каждого критерия

⁸⁴ Дальнейшая информация по приоритезации опасных факторов Hayes *et al.*, 2007 (см. сноску 81).

⁸⁵ Критерии отражают важные элементы экосистемы, которые заинтересованные лица пытаются защитить путем оценки экологических рисков (Hayes *et al.*, 2007, см. сноску 81).

Рисунок 7.2

Схематическое изображение матрицы количественной оценки рисков для прогнозирования вероятности (вертикальная ось) и серьезности (горизонтальная ось) ущерба. Количественные оценки рисков предпочтительнее качественных или частично количественных, но требуют больше данных

Вероятность ущерба	Часто				Максимальный риск
	Почти никогда	Минимальный риск			
		Очень низкий		Очень высокий	
Серьезность ущерба					

(Рисунок 7.2). Критерии оценки рисков (то, что оценка рисков призвана защитить) должны быть установлены для каждой приоритетной опасности в цепочке событий (Рисунок 7.1). Если сложно оценить основной критерий, то аналитикам следует определить измеряемые конечные точки (то, что они фактически могут измерить), которые служат хорошими показателями нанесения (или отсутствия) экологического ущерба. Например, если генетически измененная рыба охотится на диких особей, которых заинтересованные лица соглашаются охранять, поддерживая определенный ограниченный уровень их численности (критерий оценки), возможно, будет легче оценить влияние на выживание диких взрослых особей (измеряемый критерий), чем прогнозировать изменения в показателе общей численности диких особей.

Способность давать точные и достоверные прогнозы рисков уменьшается по мере удлинения цепочки событий в связи с возрастающей сложностью и количеством взаимосвязей между генетически измененными организмами и дикими особями и их средами обитания. Таким образом, целесообразно добиться устойчивого баланса между реальным положением дел,

сложностью и требованиями заинтересованных лиц путем выбора критериев оценки, которые важны для выполнения поставленных задач и рано (а не поздно) реагируют на изменения в цепи событий. Команда междисциплинарных специалистов должна определить эти критерии (предпочтительно, в ходе обсуждения вопроса с многочисленными заинтересованными лицами) и выбрать соответствующие методы с опорой на существующие данные. Процедуры будут варьироваться в зависимости от конкретного проекта и должны в идеале привлекать водных биологов, экологов и квалифицированных специалистов в области оценки рисков.

7.3.6 Индивидуальная оценка и контроль рисков

Любая программа по выращиванию может изменить генетическую модель и свойства выращиваемых организмов (Глава 3 и 4). Ни один метод генетического улучшения не более и не менее экологически вреден, чем любой другой метод. Вместо этого, оценка рисков должна опираться на индивидуальный подход на основе характеристик аквакультурной производственной системы (особенно ее циклов и частотности бегства в дикую природу), генетически измененных организмов и потенциально затронутых экосистем⁸⁶.

7.4 Оценка генетических последствий⁸⁷

Поток генов от генетически измененных особей к диким родственникам – это главный процесс, в ходе которого генетически измененная рыба может повлиять на популяции диких рыб. Основной вопрос заключается в том, приводит ли поток генов к интрогрессии (введению) генов улучшенных организмов в генный код диких особей и связано ли это с нанесением генетического и экологического ущерба (Рисунок 7.1). Специалисты должны провести оценку критериев в цепи событий, ведущих к потенциальной интрогрессии. Они могут сделать это, разбив

⁸⁶ Специалисты согласны с необходимостью индивидуальной оценки рисков; напр., Cartagena Protocol on Biosafety, Статья 15 и Приложение III. См. также Bellagio Statement в Pullin, R.S.V.; Bartley, D.M.; Kooiman, J. (ред). 1999. Towards policies for conservation and sustainable use of aquatic genetic resources. *ICLARM Conf. Proc.* 59. 277с..

⁸⁷ Kapuscinski, A.R.; Hard, J.J.; Paulson, K.; Neira, R.; Ponniah, A.; Kamonrat, W.; Mwanja, W.; Fleming, I.A.; Gallardo, J.; Devlin, R. H. и Trisak, J. 2007. Approaches to assessing gene flow. Страницы 112-150 в Kapuscinski *et al.* (ред) (см. сноску 80).

оценку на два этапа – введение особей и интрогрессию, и разделив эти этапы на события-подкомпоненты, которые легче оценить, чем каждый этап как единое целое⁸⁸.

Прогнозирование вероятности и генетических последствий этих событий требует получения данных о том, как генетические изменения влияют на приспособляемость⁸⁹ выращиваемой рыбы и каким образом эта приспособляемость может измениться, если рыба попадет в окружающую среду и станет скрещиваться с диким родственниками. Также необходима исходная информация по диким родственным особям (например, генетическая структура популяции и пространственное распределение скрещивающихся взрослых особей). Собрать конкретные практические данные для оценки всех подкомпонентов потока генов может быть очень непросто. С целью сокращения информационных потребностей специалисты могут использовать пошаговую стратегию, сделав допущение о том, что конкретное событие, ведущее к введению или интрогрессии, произошло (вместо того, чтобы собирать данные для прогнозирования его вероятности), и затем перейти к оценке следующего события⁹⁰.

Введение измененных генотипов в дикие популяции может привести к сокращению генетических ресурсов (Рисунок 7.1): изменению природных частот аллеломорфов, потере генетического своеобразия или утрате генетической изменчивости в соответствующей дикой популяции. Интрогрессия может привести к аутбредной депрессии за счет разрушения коадаптированных генных комплексов дикой популяции. Подобные генетические изменения способны снизить приспособляемость диких популяций и их способность адаптироваться к изменениям окружающей среды, например, к изменению климата или среды обитания (в результате

⁸⁸ Подробные рекомендации по оценке подкомпонентов: Kapuscinski *et al.*, 2007 (см. сноску 87).

⁸⁹ Способность организма передавать гены по наследству будущим поколениям. Приспособляемость определяется совместным воздействием ключевых факторов на протяжении всего жизненного цикла организма, например, жизнеспособности молодой и взрослой особи, плодовитости, фертильности, успеха спаривания и возраста половозрелости. Muir, W.M. и Howard, R.D. 2001. Fitness components and ecological risk of transgenic release: a model using Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *American Naturalist* 158:1-16.

⁹⁰ Описание стратегии: Kapuscinski *et al.*, 2007 (см. сноску 87).

постройки дамбы или другого сооружения). Эти риски особенно опасны для тех диких популяций, которые уже находятся на стадии сокращения или в центре происхождения видов.

7.5 Оценка экологических последствий⁹¹

Генетически измененные организмы могут оказывать влияние не только на генетические, но и на экологические аспекты (Рисунок 7.1). Экологические последствия даже могут возникнуть в случае отсутствия скрещивания между выращиваемыми и дикими особями. Внедрение нового элемента к экосистеме может послужить толчком к ее переходу в новое состояние. Цель оценки экологических рисков заключается в прогнозировании возможности перехода системы в новое состояние, которое может привести к нежелательным последствиям, например, вымиранию видов, изменению численности популяции или функций экосистемы.

Прогностическая оценка экологических рисков должна включать четыре фазы в четкой последовательности⁹².

- (1) характеристика специфических биотических и абиотических свойств принимающей экосистемы(-м), на которую может повлиять генетически измененная рыба;
- (2) измерение намеренных и случайных изменений свойств генетически измененной рыбы, делая упор на те изменения, которые могут повлиять на их взаимодействие с экосистемой;
- (3) определение предполагаемых взаимосвязей между генетически измененной рыбой и экосистемой, например, соревнование в интерференции с другими видами или питание водной растительностью; и
- (4) оценка масштабов и вероятности экологических последствий в результате каждого подобного взаимодействия генетически измененной рыбы с экосистемой.

⁹¹ Devlin, R.H.; Sundström, L.F.; Johnsson, J.I.; I.A Fleming, I.A.; Hayes, K.R.; Ojwang, W.O.; Bambaradeniya, C. и Zakaraia-Ismail, M. 2007. Assessing ecological effects of transgenic fish prior to entry into nature. Страницы 151-187 в Kapuscinski *et al.*, (ред) (см. сноску 80).

⁹² Подробные рекомендации по проведению каждой фазы в Devlin *et al.*, 2007 (см. сноску 91).

На каждом этапе специалисты должны сводить воедино сведения из различных источников, в том числе от экспертов и участников, начальную информацию о потенциальных принимающих экосистемах (например, в результате полевых исследований) и эмпирические данные тщательно спланированных испытаний, воссоздающих полустественные условия. Они должны определить подходящую локализацию для генетически измененной рыбы в экспериментах в рамках оценки рисков⁹³, принимая во внимание доступные ресурсы и временно неизвестные данные по этим рыбам. Даже с учетом этого систематического четырехфазного подхода, прогностическая оценка экологических рисков является сложным процессом, предполагающим высокую долю неопределенности. По ходу экспериментов генетически измененная рыба может вести себя не так, как в естественных условиях, в частности, в силу генотипического взаимодействия, что уменьшает научную ценность и достоверность эксперимента. Испытания для получения конкретных данных по экологическим последствиям должны симулировать ряд экологических условий, характерных для потенциально затрагиваемой водной экосистемы.

7.6 Анализ неопределенности⁹⁴

Все оценки рисков связаны с неопределенностью. Достоверность оценки экологических рисков зависит от определения и обработки различных источников неопределенности. «Обработка» означает анализ, устранение (разрешение) или учет неопределенности в расчетах и выводах всей процедуры оценки рисков. Систематическое обнаружение и работа с неопределенностью может подсказать подходящий момент для применения профилактического подхода (Глава 11). Различные типы неопределенности вызваны действием различных механизмов. Аналитики разработали соответствующие математические и количественные методы обнаружения, обработки и распространения для каждого типа⁹⁵. Применяя эти методы для оценки рисков в отношении генетически измененной

⁹³ Подробные рекомендации по экспериментам Kapuscinski *et al.*, 2007, главы 5, 6 и 8 (см. сноску 80).

⁹⁴ Hayes, K.R.; Regan, H.M. и Burgman, M.A. 2007. Introduction to the concepts and methods of uncertainty analysis. Страницы 188-208 в Kapuscinski *et al.* (ред) (см. сноску 80).

⁹⁵ Обзор методов по работе с неопределенностью: Hayes *et al.*, 2007 (см. сноску 94).

рыбы, чрезвычайно важно учитывать практический опыт и возможности. Стороны, ответственные за проведение оценки экологических рисков, должны пройти инструктаж по:

- обнаружению неопределенности посредством методов, устраивающих специалистов и участников;
- работе с неопределенностью при помощи соответствующих методов или нанять для этого квалифицированных специалистов;
- оценке результатов работы с каждым пунктом неопределенности; и
- четкому и понятному структурированию и презентации информации о проделанной работе.

7.7 Управление экологическими рисками

Управление экологическими рисками имеет своей целью снижение установленных рисков до допустимого уровня⁹⁶. Оно может включать ограничительные меры и программы по мониторингу. Если в ходе оценки рисков были обнаружены вероятные, но контролируемые риски, необходимо разработать и реализовать план по управлению рисками в качестве неотъемлемой части проекта по распространению генетически улучшенной рыбы. Планы по управлению рисками должны основываться на заключениях оценки рисков, с тем чтобы они могли сосредоточиться на работе с приоритетными рисками при поддержке специалистов, принимавших участие в их оценке.

7.7.1 *Изоляция генетически измененных организмов*⁹⁷

Ни один изоляционный метод не обладает 100%-ой эффективностью, поэтому управляющие рисками должны рассмотреть возможность использования ряда дополняющих друг друга мер и оптимальные

⁹⁶ Учет мнения многочисленных заинтересованных лиц для согласования допустимых уровней риска способствует положительной реакции общества на это решение.

⁹⁷ Mair, G.C.; Nam, Y.K. и Solar, I.I. 2007. Risk management: Reducing risk through confinement of transgenic fish. Страницы 209-238 в Kapuscinski *et al.*, (ред) (см. сноску 80).

системы управления⁹⁸ Для снижения объемов бегства из аквакультурной системы до допустимого уровня могут потребоваться многочисленные методы изоляции. Ограничительные меры могут ориентироваться на предотвращение бегства рыбы или устранение последствий, если бегство произошло. Для борьбы с бегством могут использоваться физические барьеры, например, летальная температура воды или показатель pH; механические барьеры, например, экраны, и географические барьеры, например, выращивание морских видов во внутренней замкнутой водной системе (Глава 9). Биологические барьеры, как, например, вынужденная триплоидия, которая делает взрослые видовые особи ряда рыб функционально стерильными, может использоваться для сокращения потоков генов (сокращая, таким образом, генетические риски) и создания популяции (сокращая, таким образом, экологические риски). Однако стерилизация не устраняет всех экологических рисков. Сбежавшая стерильная рыба все еще может конкурировать с дикими особями за ограниченные ресурсы или принять участие в ухаживании или нересте, нарушая процесс скрещивания в диких популяциях.⁹⁹

7.7.2 Мониторинг генетически измененных организмов на предмет экологического воздействия¹⁰⁰

Наилучший способ обнаружения бегства и ранних признаков нежелательных экологических изменений – это хорошо спланированная программа мониторинга, которая объединяет методы полевых проб типичных рыбоводных хозяйств и статистические технологии и использует генетические маркеры на базе ДНК для определения генетически измененных особей. Мониторинг должен служить выявлению одного или нескольких критериев на различных экологических уровнях:

⁹⁸ Наилучшие методы управления различаются в зависимости от аквакультурной системы и могут вызвать сложности при их внедрении в условиях дефицита ресурсов. Общие рекомендации по наилучшим методам управления: Mair *et al.*, 2007 (см. сноску 97).

⁹⁹ Agricultural Biotechnology Research Advisory Committee (ABRAC). 1995. *Performance Standards for Safely Conducting Research with Genetically Modified Fish and Shellfish*. Части I и II, USDA, Офис сельскохозяйственной биотехнологии, Вашингтон Д.С. Доступен на: www.isb.vt.edu/perfstands/psmain.cfm

¹⁰⁰ Senanan, W.; Hard, J.J.; Alcivar-Warren, A.; Trisak, J.; Zakaria-Ismail, M. и Lorenzo Hernandez, M. 2007. Risk management: post-approval monitoring and remediation. Страницы 239-271 в Kapuscinski, A.R. *et al.* (ред) (см. сноску 80).

1. наличие генетически измененных особей в экосистеме;
2. наличие первого поколения гибридного потомства (в результате успешного скрещивания между сбежавшими особями и их дикими родственниками);
3. наличие гибридного потомства от обратного скрещивания (в результате успешного спаривания гибридов первого поколения и диких родственников);
4. наличие генетически измененных особей на всех жизненных стадиях;
5. изменение численности как генетически измененных так и диких особей; и
6. изменения в количестве местных водных видов и их относительной численности.

Критерии 1-5 относятся к одному или нескольким поколениям рыб, родившихся после введения генетически измененной рыбы в экосистему, и позволяют сравнительно рано обнаружить экологические последствия. Легче и быстрее обнаружить изменения по этим критериям, чем отслеживать изменения на уровне сообщества в составе особей (критерий 6). Этот последний показатель может проявиться только через много поколений, его намного сложнее обнаружить, и он может быть вызван действием других опасных факторов (например, разрушение среды обитания), что не дает возможности с высокой определенностью отнести его на счет влияния генетически измененных организмов. Например, относительно раннее обнаружение генетически измененной рыбы на всех жизненных стадиях на отслеживаемом участке (критерий 4) будет указывать на то, что эти особи достаточно хорошо размножаются для активного взаимодействия с другими особями. Для того чтобы понять, ведет ли это взаимодействие между генетически измененными организмами и другими особями к нежелательным изменениям в составе рыбной популяции (критерий 6), потребуется более длительный и сложный мониторинг.

Ранний мониторинг позволяет предпринять исправительные меры (или составить план на случай непредвиденных обстоятельств, Глава 11) на максимально раннем этапе. Действия по борьбе с рисками могут включать оптимизированные ограничительные меры, перемещение генетически измененной рыбы из естественных условий (едва ли осуществимо и, вероятно, очень дорого) и ограничение дальнейшего использования

генетически измененной рыбы в аквакультуре. Руководители должны осознать, что чрезвычайно сложно и дорого устранять последствия экологического ущерба, если он уже широко распространился. Мониторинг также может подтвердить заключения оценки рисков по экологической безопасности. Программа по мониторингу должна обладать высокой способностью обнаружения изменений при помощи соответствующего отбора проб, научных инструментов и анализа данных¹⁰¹.

7.8 Ограничения и возможности

Оценка экологических рисков и контроль генетически измененной рыбы сложны и требуют значительных ресурсов. Разрабатываемым методологиям, тем не менее, не хватает практического опыта. Нужда в объединении человеческих и институциональных возможностей велика. Основные задачи – это¹⁰²:

- заполнение пробелов в исходных экологических и генетических данных и расширение доступа к существующим базам данных;
- дальнейшая разработка широко применяемых методов оценки экологических рисков и управление генетически измененной рыбой;
- разработка подробных обучающих программ по оценке рисков для лиц, ответственных за проведение процедур оценки рисков (управляющих, ученых, ассистентов), а также оказание информационной поддержки руководителям при принятии решений;
- укрепление международного сотрудничества для проведения исследований в области оценки рисков в естественных и ограниченных условиях;
- усиление институциональных образований, необходимых для регулирования принятия решений в этой сфере; и
- расширение связей между специализированными организациями и международными программами сотрудничества для решения вышеуказанных вопросов.

¹⁰¹ Подробные рекомендации по этим аспектам мониторинга: Senanan *et al.*, 2007 (см. сноску 100).

¹⁰² Nairobi Declaration, Dhaka Declaration (см. сноску 2); Kapuscinski *et al.* (ред), 2007 (см. сноску 80).

Усилия для удовлетворения этих потребностей также будут способствовать сохранению водного биоразнообразия и ответственному развитию аквакультуры. Пополнение исходных данных по ключевым компонентам естественных сообществ рыб (например, генетическому разнообразию диких популяций и факторам, влияющим на видовой состав) может помочь верно распределить усилия по сохранению водного биологического разнообразия, разработать концепцию аквакультурных и заповедных зон (Глава 9), а также определить стратегии адаптации к климатическим изменениям в рыбном секторе. Другие вопросы, связанные с экологическим воздействием на аквакультуру (например, выращивание чужеродных особей или сброс сточных вод) и инфраструктурной деятельностью (например, строительство дамбы), требуют систематической оценки рисков и аналогичных методик. Таким образом, широко используемые методы и обучающие программы позволят оптимизировать процесс оценки экологических рисков в водном секторе.

7.9 Заключение

Оценка экологических рисков в отношении генетически улучшенной рыбы перед ее введением и экологический мониторинг после введения необходима для извлечения максимальной пользы, не нарушая водное биоразнообразие. Систематическая оценка рисков позволяет руководителям направить ограниченные ресурсы оценки рисков на решение приоритетных вопросов. Соответствующие научные технологии должны быть увязаны с требованиями многочисленных заинтересованных лиц. Это позволяет достичь согласия по выбору приоритетных направлений, использовать максимально полные современные знания, создать подборку испытательных и научных данных для заполнения важнейших информационных пробелов, применять анализ неопределенности для повышения качества выводов, информированности и доверия общества по отношению к процедуре и заключениям оценки рисков. Рациональный мониторинг необходим для обнаружения ранних признаков нежелательного воздействия генетически измененной рыбы на природные экосистемы. Эффективный мониторинг, однако, сложен и требует серьезной технической и моральной подготовки.

Оценка и контроль рисков представляют собой сложные процедуры, которые до сих пор редко использовались в аквакультуре. По мере развития аквакультуры и роста объемов используемой генетически

модифицированной рыбы растет потребность в отработке и применении аналитических процессов, привлекающих ученых, заинтересованных лиц, представляющих разные области знаний, и правительственных надзорных органов. Проактивная оценка и контроль рисков может помочь создать аквакультуру, которая будет экономически успешно использовать генетически измененные организмы при одновременной поддержке окружающей среды.

8 РЫБОЛОВСТВО, БАЗИРУЮЩЕЕСЯ НА ПОСАДОЧНОМ МАТЕРИАЛЕ ИЗ АКВАКУЛЬТУРЫ¹⁰³

8.1 Общие принципы

В целях настоящего Руководства, под рыболовством, базирующимся на посадочном материале из аквакультуры (СВФ), понимается рыболовство, которое существует за счет вселения посадочного материала, выращенного в аквакультурных системах. «Материал» представляет собой, как правило, ранние стадии жизненного цикла, но также может включать молодь и взрослые особи. Существуют три категории СВФ:

1. в котором посадочный материал рассчитан на скрещивание друг с другом и местными видами, таким образом, увеличивая или поддерживая местные популяции.
2. в котором посадочный материал рассчитан на скрещивание друг с другом, но не с местными особями, образуя новую популяцию.
3. в котором посадочный материал не рассчитан на скрещивание.

Терминология, предложенная международной группой, занимающейся прибрежным рыболовством, трактует эти понятия следующим образом:

- Пополнение запасов, выпуск выращенной молоди в дикую популяцию(-и) с целью восстановления сильно истощенной биомассы до уровня, когда они смогут давать постоянное и обильное потомство.
- Укрепление запасов, выпуск выращенной молоди в дикую популяцию(-и) с целью приращения природного ресурса молодых особей и оптимизации вылова за счет преодоления лимита пополнения.
- Создание морских хозяйств, выпуск выращенной молоди в открытую морскую и устьевую среду для увеличения объема вылова по принципу «запустил, вырастил и выловил».

Для того чтобы эффективно управлять генетическими ресурсами в СВФ, необходимо понять, какие из вышеперечисленных задач преследуются проектом. Очевидно, что эти категории имеют размытые границы. Например, рыба в категории 3 может размножаться и скрещиваться.

¹⁰³ Автор – Devin M. Bartley.

Это не является показателем успеха CBF, однако должно учитываться в анализе факторов риска. Успех рыболовства будет зависеть от социальных, экономических и экологических условий эксплуатации. Использование рыбопитомников для поддержания рыболовства является тактикой, которая должна быть интегрирована в общий план управления рыболовным хозяйством или водоемом. Простой выпуск организмов в водоем без системы управления ресурсами, контроля вылова и защиты места обитания не приведет к успеху. Предлагаемые Рекомендации направлены на управление генетическими ресурсами в CBF.

8.2 План управления генетическими ресурсами для рыболовства, базирующегося на посадочном материале из аквакультуры

Использование выращенных в рыбопитомнике организмов в управлении рыболовством не всегда позволяет достигать поставленных задач по увеличению объемов промысла. Частично это объясняется тем, что рыбоводы выращивают молодую рыбу, которая хорошо приспособлена к выживанию в питомнике, и затем выпускают ее в совершенно чужую дикую среду (Глава 3). Одомашненная рыба, привыкшая к регулярным кормлениям комбикормами, плохо приживается в естественных местах обитания. Таким образом, план управления генетическими ресурсами для CBF должен отличаться от планов селекционного улучшения, представленных в Главах 4-6. Далее приводятся планы общего управления для трех основных категорий CBF.

8.2.1 Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором предполагается скрещивание посадочного материала с местными видами

Если задача CBF заключается в пополнении или увеличении естественного размножения природных популяций местных видов, то управление генетическими ресурсами должно стремиться воссоздать естественный уровень генетического разнообразия в посадочном материале. Среда питомника должна быть максимально приближена к естественным условиям при полном отсутствии искусственного отбора. Минимизация искусственного или неблагоприятного отбора требует подбора правильной линии для зарыбления, адаптации питомника и особых методик выращивания.

8.2.1.1 Подбор надлежащих популяций

Материал, предназначенный для зарыбления, должен соответствовать генетическому разнообразию естественных популяций. Лучше всего эту задачу выполняет составленное из пойманных диких особей маточное стадо. Если дикое маточное стадо сложно собрать, как, например, в случае с исчезающими или вымирающими видами, то используется генетическая идентификация стада для обнаружения максимально схожего стада. Если генетическая информация для идентификации стада недоступна, то можно обратиться к суррогатным данным, например, выбрать стадо из той же водной среды обитания (водоема или конкретной реки или притока) с одинаковым жизненным циклом, развитием, окраской, формой и поведением. Следует избегать перемещения стада между различными водными бассейнами или экорегионами. Управление маточными стадами (Глава 3) с целью оптимизации эффективного размера популяции и сокращения дрейфа генов вступает в силу, когда рыбы из маточного стада готовы к спариванию.

Для долгосрочных программ рекомендуется разработать скользящий график скрещивания, где рыбы-производители используются для производства материала и затем выпускаются обратно в естественную дикую среду, после чего в рыбопитомник поступают новые производители. Время смены будет зависеть от успеха программы и наличия производителей в дикой природе. Для видов, которые нерестятся только один раз (например, тихоокеанский лосось), или если необходимо убивать производителей для обеспечения оплодотворения (например, некоторые осетровые), подобная «сменная» схема не потребуется.

8.2.1.2 Выбор правильных методик для рыбопитомника

Рыба очень быстро адаптируется к условиям и правилам управления питомником, и в долгосрочной перспективе среда питомника начинает оказывать на нее селективное давление (Глава 3). Питомник должен быть организован таким образом, чтобы свести к минимуму это воздействие (т.е. уменьшить искусственный отбор), потому что выращиваемый материал предназначен для выживания и/или размножения в естественных условиях. Рекомендации по специализированным протоколам по размножению для минимизации инбридинга и утраты генетического разнообразия обсуждаются в Главе 3.

Типичные модификации питомников с целью уменьшения искусственного отбора включают:

- Использование живого корма, по возможности, из дикой природы, а не комбикормов.
- Создание более естественного места обитания с гравием, растениями и укрытиями, а не использование «голых» емкостей и искусственных каналов.
- Наличие ограниченного количества хищников для выработки способности уклоняться от хищников.
- Соблюдение природных циклов дня/ночи.
- Выпуск более молодой рыбы, не успевшей приспособиться к условиям питомника. Однако это решается в индивидуальном порядке, поскольку более взрослая рыба может быть лучше адаптирована к выживанию.
- Рыба должна метать икру на протяжении всего периода нереста (т.е. не просто собирать икру при удобной возможности для того, чтобы выполнить задание по продуктивности).
- Не переводить рыбу из одного питомника в другие питомники, расположенные в других водных бассейнах или притоках для выполнения нормы производительности.

8.2.2 Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором предполагается скрещивание посадочного материала друг с другом, но не с местными видами

Подобная ситуация может возникнуть в тех случаях, когда репродуктивные стратегии рыб, выращиваемых в CBF, отличаются от стратегий размножения местных особей, если речь идет о разных видах, или, в случае одинаковых видов, если они обладают разными миграционными характеристиками или поведением, например, при выборе партнеров для спаривания. Наиболее распространенный пример – это регулярная посадка в CBF чужеродных видов или специфических линий рыбы, например, лосося. Если способную к размножению рыбу выпускают для воспроизводства, то можно ожидать, что самостоятельные популяции будут развиваться, нейтрализуя необходимость непрерывной посадки.

Запуск жизнеспособных чуждых видов, способных к размножению, считается самым рискованным способом укрепления популяций

(Глава 7). Управление этими популяциями требует глубокого знания генетики и естествознания в применении к конкретной популяции и виду. Даже в этом случае, естественнонаучные характеристики и поведение популяции могут измениться при ее помещении в новую среду. С целью предоставления информации по ответственному применению чужеродных видов были разработаны рекомендации (Глава 5)¹⁰⁴. При условии, что эти рекомендации выполняются и CBF, использующее чужеродную рыбу, принято в качестве допустимой опции, необходимо выбрать популяцию, которая обладает подходящими поведенческими характеристиками (например, место и время миграции), а также спланировать и привести в исполнение план по управлению генетическими ресурсами с целью оптимизации N_e и во избежание селекции одомашнивания (см. Главу 3).

8.2.3 Рыболовство на основе посадочного материала из аквакультуры, в котором скрещивание посадочного материала не предполагается

Многие CBF не ставят перед собой задачу или не имеют возможности создания самостоятельной популяции. В подобных обстоятельствах управление генетическими ресурсами должно стремиться оптимизировать продуктивность и уменьшить неблагоприятное воздействие на экосистему. Производство стерильной рыбы – это оптимальное средство предотвращения скрещивания выращиваемой рыбы с местными особями. Создание триплоидов, т.е. добавление еще одного набора хромосом, является наиболее распространенным методом производства стерильной рыбы. Триплоидия образуется в результате температурного, химического воздействия или обработки давлением рыбных гамет и развивающихся зародышей. Многие виды, например, устрицы, лосось и форель, легко поддаются обработке, в то время как у других, например, тилапии, возникают сложности при создании триплоидов в широких коммерческих масштабах.

Для ограничения размножения также используется методика выпуска рыб одного пола. Однополые группы образуются либо путем генетических манипуляций, либо путем добавления половых гормонов в надлежащее

¹⁰⁴ Например, Нормы и правила Международного совета по исследованию моря (ICES) по вселению и перемещению морских организмов, 2004. www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf

время. Сочетание вынужденной триплоидии с однополыми группами позволяет свести нежелательное размножение к минимуму.

Мониторинг материала необходим для обеспечения уверенности в том, что питомник поставляет желаемый продукт (т.е. весь материал состоит из триплоидов или однополых особей).

Также возможно контролировать размножение путем отслеживания поведения рыб и сознательного выбора места обитания. Рыб часто выращивают во временных водоемах, которые пересыхают прежде, чем рыба может метать икру, в замкнутых водоемах, в которых отсутствует связь с важными зонами нереста, или водоемах с усиленной рыболовной деятельностью, что означает, что 100% выращиваемой рыбы вылавливается. Однако эти условия и факторы не способны на 100% исключить возможность размножения, потому что некоторые рыбы могут перемещаться в те участки, где размножению ничего не препятствует или отмечается менее интенсивная рыболовная активность. Использование стерильной рыбы в данных обстоятельствах позволит значительно уменьшить риск нежелательного размножения.

8.3 Контроль, оценка и отчетность

Как и в рыболовстве, в CBF также необходимо проводить мониторинг, что требует четкого описания посадочного материала. Во многих странах введены программы обязательной оценки питомников с целью определения вклада питомников в работу CBF. Физические параметры позволяют оценить только первоначальный вклад, но если рыба размножается в естественных условиях, то только генетические признаки могут указать на положительное воздействие питомников на последующие поколения. Резкое увеличение выращиваемых особей иногда, но не всегда, является показателем содействия питомника работе CBF; благоприятные изменения среды или оптимизация управления хозяйством также могут способствовать природному приросту.

Кроме этого, в некоторых случаях выращенная рыба способна вытеснить местные популяции. Этого следует избегать еще и потому, что подобная ситуация также является причиной, по которой способность различать рыб из питомника и диких рыб очень важна для общей оценки зарыбления как управленческой стратегии.

Профилактический подход к развитию СBF требует выработки контрольных параметров (Глава 11); целевые контрольные параметры содержат результаты, к которым должно стремиться хозяйство, в то время как предельные контрольные параметры указывают на те условия, которых следует избегать, а затем необходим регулярный мониторинг, чтобы видеть какого уровня достигают контрольные параметры. Контрольные параметры должны соотноситься с поставленными задачами, оценкой рисков и критериями успеха (См. Главу 11).

Если питомники выпускают жизнеспособные организмы, которые готовы к воспроизводству для поддержания СBF, существует возможность образования самоподдерживающихся популяций, которые позволят отказаться от дальнейшего зарыбления. Это может быть особенно справедливо для программ восстановления исчезающих видов, которые сочетают в себе зарыбление и улучшение мест обитания, и совершенствование законодательств. Для определения необходимости дальнейшего зарыбления после создания самостоятельных популяций необходим контроль и честное обсуждение вопроса всеми заинтересованными сторонами.

ФАО собирает информацию по количеству и видовой принадлежности особей, выпускаемых в открытые водоемы, включая естественные водоемы, полуйскусственные водоемы, например, водохранилища, и другие регулируемые водные ресурсы, например, рисовые поля. Для оценки вклада СBF в развитие национального и международного рыболовства, управляющие рыбопитомников должны передавать полную и своевременную информацию обо всех выпущенных для СBF популяциях в местные статистические ведомства, которые направят ее в ФАО.

9 СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДИКИХ РЫБ И АКВАКУЛЬТУРА¹⁰⁵

9.1 Введение

Единодушно приняв Кодекс, страны-участницы признали, что сохранение является важной составляющей ответственного использования. В настоящей главе рассматривается ответственное использование генетических ресурсов диких рыб (FiGR) для аквакультуры с акцентом на их сохранении. Генетические ресурсы диких рыб являются весьма ценной подгруппой всех рыбных генетических ресурсов (FiGR), доступных для текущего и будущего использования в аквакультуре и сопутствующих исследованиях. Дикие FiGR – это FiGR, свободно живущие в природе и минимально изменяемые антропогенной деятельностью, хотя сейчас все сложнее найти совершенно неизменные дикие популяции (см. раздел 9.2). Следовательно, дикий – термин относительный, означающий дикий по возможности, насколько позволяют изменяющиеся обстоятельства.

Как и все FiGR для аквакультуры, FiGR включают в себя ДНК, гены, гаметы, отдельные организмы и популяции (Глава 1). Несмотря на то, что в Кодексе дикие FiGR явно не упоминаются, они включены косвенно во всех ссылках на биоразнообразие, культивируемые запасы, живые водные ресурсы, генетическое разнообразие, дикие запасы и генетически измененные запасы, и, следовательно, Кодекс требует управления ими (то есть сохранения и устойчивого использования) и заботы об их местах обитания. Целью настоящей главы является предоставить руководство по аквакультурной политике, чтобы лица, принимающие решения, могли содействовать ответственной аквакультуре, защищать ценные дикие FiGR и, при необходимости, способствовать их восстановлению.

9.2 Генетические ресурсы диких рыб

Дикость рыбы является особым качеством, широко признаваемым натуралистами и специалистами по охране окружающей среды, а также в коммерческом и спортивном рыболовстве и потребителями рыбы. Но истинная водная дикая природа сокращается, и дикость свободно живущих популяций рыб подвергается риску. Рыболовство, утрата сред

¹⁰⁵ Автор – Roger S.V. Pullin.

обитания и ухудшение состояния водной среды сокращают генетическое разнообразие водных популяций и другое биоразнообразие. Чем более интенсивно управляются защищенные водные территории и чем более они подвергаются воздействию незащищенных районов вокруг них, тем менее естественными они становятся.

Многие самостоятельные популяции рыб в природе были получены благодаря целевому зарыблению, произошли от сбегавшей из аквакультуры рыбы и рыбы, забракованной в аквариумах. В такие популяции включены чужеродные и местные виды. Они произошли от рыбы, являвшейся дикой или генетически приближенной к дикой, и до сих пор представляют собой дикие FiGR. Популяции, произошедшие от рыб, которые находились на различных стадиях одомашнивания, включая отдельные породы, гибриды и другие генетически измененные формы, являются одичавшей рыбой; по аналогии с одичавшим крупным рогатым скотом, произошедшим от животных, сбегавших с животноводческих ферм и ранчо. Одичавшие формы обычно отбираются из одомашненных для жизни в условиях дикой природы. Одичавшая рыба представляет собой ценные FiGR для рыболовства, а также для аквакультуры и сопутствующих исследований. Они, по сути, не являются дикими FiGR как таковыми, но должны быть включены в дикие FiGR в целях управления.

Все типы рыб, указанные далее, вносят свой вклад в разнообразие диких FiGR: местные виды дикого типа; свободно живущие чужеродные виды, произошедшие в результате интродукции и выпуска дикой рыбы; а также свободно живущие популяции видов, расширившие свои прежние естественные границы обитания после удаления преград, например, интродукции в Средиземное море через Суэцкий канал. Многие дикие популяции рыб в мире отличаются от своих культивируемых родичей местоположением, внешним видом, поведением и, прежде всего, биохимической генетической характеристикой. Хотя некоторые разводимые популяции рыб являются диким типом, потому что были собраны в дикой природе на стадии икринок (например, икра моллюсков), большинство из них генетически отличаются от своих свободно живущих сородичей в диких популяциях, имея явно отличные частотности многих аллелей¹⁰⁶. Даже в том случае, если не применяется целенаправленная

¹⁰⁶ Elliot, N. и Evans, B. 2007. Genetic change in farm stocks: should there be concern? *World Aquaculture*, 36 (1):6-8.

селекция или другое генетическое изменение, последовательные поколения разводимых в неволе видов будут давать потомство, все более отличающееся от диких типов (Глава 3 и 4).

В широком смысле, дикие FiGR для аквакультуры охватывают не только виды разводимой рыбы, но также и другие виды во всех экосистемах, поддерживающих аквакультурное производство; например, популяции диких рыб, вылавливаемые для производства кормов для аквакультуры, и планктон и микроорганизмы на рыбоводных хозяйствах, поставляющие корма, кислород и перерабатывающие отходы. Следовательно, генетические ресурсы этих организмов, от которых зависит аквакультурное производство, также должны быть задокументированы и сохраняться путем соответствующих мер, применяемых к рыболовству и здоровью экосистем, в которых ведется аквакультурная деятельность.

9.3 Значимость для аквакультуры

Одомашнивание и генетическое улучшение большинства разводимой рыбы стоят на много ступеней позади тех же процессов в отношении культивируемых растений и животных. В отношении многих, но не всех видов разводимой рыбы были начаты программы размножения в неволе и программы разведения. Следовательно, многие популяции до сих пор разводятся как дикие типы или как неодомашненные популяции, близкие к диким типам. Разведение морских водорослей также во многом полагается на размножение диких типов. Если одомашнивание рыбы определено как непрерывная контролируемая репродукция на протяжении более 3 поколений, то только 30 видов разводимой рыбы из 103, производство которых в 2004 году превысило 1 000 т, могут быть определены как одомашненные¹⁰⁷ (Глава 3). Аквакультура на основе вылова (CBA)¹⁰⁸, рыболовство на основе аквакультуры (CBF – Глава 8), подразумевающие дикую собранную икру или икру из питомников от производителей, собранных в дикой природе, и рыболовство, поставляющее корма и кормовые компоненты для аквакультуры, – все вылавливают дикую рыбу. По мере появления новых технологий для

¹⁰⁷ Bilio, M. Controlled reproduction and domestication in aquaculture. The current state of the art. Часть II. *Aquaculture Europe*, 32 (3):5-23.

¹⁰⁸ Ottolenghi, F.; Silvestri, C.; Giordano, P.; Lovatelli, A. и New, M. 2004. Capture-based aquaculture. The fattening of eels, groupers, tunas and yellowtails. ФАО, Рим, Италия. 308с.

размножения в неволе, разведение дикой и неодомащенной рыбы сокращается, но дикие FiGR остаются столь же важны для аквакультуры – для использования в программах разведения рыбы и сопутствующих исследованиях. Этот факт аналогичен подобной ситуации в сельском хозяйстве, где дикие сородичи культивируемых растений все так же важны для растениеводов как источники генетического разнообразия, несмотря на огромный прогресс в геномике растений. То же применимо и к разводимой рыбе, несмотря на достижения в геномике рыб и на то, что в аквакультуре все больше применяются современные генетические технологии. Аквакультура неизбежно столкнется с трудностями в виде, к примеру, новых и более опасных болезней, климатических изменений и необходимости сокращать производственные затраты и повышать производительность путем улучшения широкого ряда признаков. Большой частью FiGR, которые могут способствовать решению этих вопросов, выступают дикие FiGR. Они являются чрезвычайно ценными общественными благами, уязвимыми и во многих случаях исчезающими. Поэтому важно, во-первых, признать, что дикие FiGR жизненно необходимы для будущей устойчивости и рентабельности аквакультуры, и, во-вторых, для адекватного инвестирования в их характеристику и сохранение, для обеспечения их непрерывной доступности.

9.4 Подходы к управлению

9.4.1 Категоризация и приоритезация

Популяции диких рыб могут стать генетически отличающимися, если имеет место сокращение обмена генами (потока генов) между ними, и если имеют место различные типы селекционного давления из окружающей среды (Глава 3). Они основываются как небольшие популяции с высоким уровнем потока генов; частично изолированные подпопуляции, иногда имеющие местные адаптации; более изолированные местные популяции, часто имеющие местные адаптации; изолированные, отдельные закрытые популяции; и метапопуляции, связанные миграцией. Для любого вида, используемого в аквакультуре, общая цель должна состоять в максимизации постоянной доступности по возможности наибольшего объема генетического разнообразия.

Генетическое разнообразие вида обычно выражается в изменчивости на территории географического ареала, причем более изолированные и

нетронутые популяции являются наиболее ярко выраженными. Главное здесь – собрать достаточно генетических данных для характеристики, по возможности, как можно большего процента генетического разнообразия вида и, таким образом, идентифицировать дикие популяции, больше всего способствующие этому разнообразию. В литературе по сохранению они называются единицами сохранения, или эволюционно значимыми единицами. Они представляют собой важные компоненты всеобщего генетического разнообразия внутри вида. Более того, некоторые местные популяции рыб, хотя и являются поверхностно схожими с другими, являются отдельными, криптическими видами и, как таковые, обладают уникальными и ценными генами¹⁰⁹.

Приоритезация в широком разнообразии диких FiGR для сохранения и принятия общего решения в отношении мер по управлению представляет собой сложный процесс, в частности, в случае если генетические данные ограничены. Рекомендован в высшей степени профилактический подход, в котором приоритет отдается сохранению FiGR, которые имеют явные отличия и способствуют укреплению всеобщего генетического разнообразия диких видов, насколько известно, и который предполагает, что все остальные FiGR потенциально ценны. Для полного использования всей имеющейся информации и заполнения информационных пробелов необходимо консультироваться с профессиональными генетиками¹¹⁰.

К высокоприоритетным диким FiGR для сохранения относятся популяции в отдельных водоемах и водотоках, на различных островах и вокруг них, а также в различных заливах и устьях рек. Географическая изоляция обычно свидетельствует об отличительности и потенциальной ценности диких FiGR. В отношении мигрирующих видов этот критерий изоляции применим, в частности, к разводимым популяциям и ранним стадиям цикла развития. Потенциально отличные и ценные дикие FiGR также указывают на различные миграционные модели, сезоны нереста и иное поведение. Популяции, близкие к естественным центрам генетического разнообразия видов, обычно являются важными как дикие FiGR, и им нужно отдавать высокий приоритет в сохранении, но столь же важно сохранять типичные популяции во всем естественном ряде

¹⁰⁹ Thorpe, J.P.; Solé-Cava, A.M. и Watts, P. 2000. Exploited marine invertebrates: genetics and fisheries. *Hydrobiologia*, 420:165-184.

¹¹⁰ Pullin, R.S.V. 2000. Management of aquatic biodiversity and genetic resources. *Reviews in Fisheries Science*, 8 (4):379-393.

видов, в частности, близкие к его границам и живущие в экстремальных средах обитания: например, самые северные и южные популяции и обитающие в горячих источниках или при повышенной солености воды. Для приоритизации диких FiGR для сохранения необходимо консультироваться со специалистами-генетиками. Если получить такую консультацию сложно, то стоит обратиться в международные организации, включая ФАО, Всемирный союз охраны природы (IUCN)¹¹¹, секретариаты международных конвенций – например, Конвенция по биологическому разнообразию¹¹², Конвенция о международной торговле видами дикой флоры и фауны, находящимися под угрозой исчезновения¹¹³, и Конвенция о сохранении далеко мигрирующих видов дикой фауны¹¹⁴.

9.4.2 Межотраслевые перспективы

В Статье 9.1.3 говорится об общем использовании ресурсов аквакультурой и другими секторами: *«Страны-участницы должны разрабатывать и регулярно обновлять планы и стратегии развития аквакультуры, в соответствии с требованиями, для обеспечения того, чтобы развитие аквакультуры являлось экологически устойчивым, и рационального использования ресурсов, используемых совместно аквакультурой и в иной деятельности.»* Для этого необходимы межотраслевые перспективы. Сохранение диких FiGR является частью естественного сохранения, которое само по себе является сектором. Люди в различной степени используют среды обитания диких FiGR и их воды в сельском хозяйстве, аквакультуре, сохранении дикой природы, лесном хозяйстве, промышленности, горном деле, сохранении природы, навигации, производстве электроэнергии, рекреации и туризме, подаче воды в населенные пункты и промышленность, а также в переработке и удалении отходов. Сохранение диких FiGR должно соперничать с потребностями всех этих секторов, поскольку они должны соревноваться с нуждами друг друга.

Согласование аквакультуры с сохранением свободно живущих диких FiGR является особо сложной задачей. В некоторых водах, которые

¹¹¹ www.iucn.org

¹¹² www.biodiv.org

¹¹³ www.cites.org

¹¹⁴ www.cms.int

представляют собой возможности для аквакультуры, также содержатся дикие FiGR большой государственной и порой международной важности. Рыбоводам нужно давать возможность разводить самые продуктивные и прибыльные виды и линии рыб, как в сельском хозяйстве, при условии их соответствия биологической безопасности, биологической защите, другим экологическим гарантиям и законному доступу и собственности. Но рыба, сбегавшая из хозяйства, и патогены рыбоводных хозяйств могут оказывать негативное воздействие на дикие FiGR и на другое дикое биологическое разнообразие и среды обитания.

По мере распространения аквакультуры на водоразделы, прибрежные районы и открытое море, лицам, отвечающим за разработку политики, и инспекторам необходимо серьезнее задумываться, на разведение какой рыбы и в каких районах они могут давать разрешение, и важную роль здесь играет фактор сохранения диких FiGR. В отношении укрепления рестриктивного и профилактического характера для достижения целей сохранения существует четыре варианта: 1. разрешить разведение любой рыбы; 2. разрешить разведение только местных видов; 3. разрешить разведение только одной линии местного вида, типичной для этой местности – нужно обратить внимание, что разводимые линии вида рыб вскоре будут генетически отличаться от местных диких линий рыб; и 4. запретить любую аквакультуру. Из этих вариантов не так просто выбрать. Выгода от развития аквакультуры должна быть сбалансирована в отношении утраты и изменения диких FiGR, другого биоразнообразия и сред обитания. Рекомендованный здесь подход должен следовать общим требованиям Кодекса и разрешать только развитие ответственной аквакультуры, что подразумевает установку и преследование целей по сохранению природы, включая сохранение диких FiGR и охрану интересов других секторов. Межотраслевая перспектива – это ключ к достижению баланса между развитием и сохранением. Даже ограничиваясь всего несколькими секторами (например, аквакультурой, охраной природы и управлением водными ресурсами), межотраслевая перспектива приносит выгоду этим и другим секторам, зависящим от состояния и услуг водной экосистемы.

Участники этих и других секторов должны встречаться, обсуждать различные вопросы и приходить к сбалансированному решению, основанному на взаимно согласованных компромиссах, жертвах и разделении выгод. Осуществить это зачастую очень сложно, потому что

исторически многие учреждения по аквакультуре и сохранению были разделены, и процесс развития аквакультуры и контроль проходили независимо от постановки и преследования целей сохранения. Межотраслевые учреждения еще недостаточно хорошо развиты, хотя их создание подразумевается Кодексом для поддержания ответственности в аквакультуре. Следовательно, необходимо незамедлительно заняться развитием межотраслевых учреждений для продвижения согласованности между аквакультурой, сохранением и другими секторами. Утверждение межотраслевой перспективы должно проводиться не только до и в течение развития аквакультуры, но также и во время постоянного и неограниченного контроля аквакультуры и ее межотраслевых отношений. Это также признается в Статье 7.6.8, которая требует того, чтобы «*меры по сохранению и управлению и их возможное взаимодействие постоянно контролировались и пересматривались*».

9.4.3 Объединение аквакультуры и сохранения

В качестве логического средства обеспечения устойчивого использования и долгосрочного сохранения диких FiGR рекомендуется объединение развития и контроля аквакультуры с мерами по мониторингу сохранения диких FiGR¹¹⁵. Объединение требует зонирования территорий, предназначенных для аквакультуры, и территорий для сохранения, которые полностью запрещены для и изолированы от аквакультуры и вод рыбоводных хозяйств, а также от воздействия других потенциально вредных секторов. В хорошо отобранных аквакультурных районах можно разводить большое число видов рыб, при условии, что в двоярных районах сохранения (таких как заповедники и заповедные места) полностью обеспечивается сохранение диких FiGR. Но объединение представляет собой нечто большее, чем просто отдельное зонирование аквакультуры и сохранения диких FiGR. Оно должно включать совместную разработку политики, интегрированные действия и, в частности, совместное финансирование, чтобы оба сектора развивались взаимозависимо. Тогда использование и сохранение становятся объединенными,

¹¹⁵ Pullin, R.S.V. в *пересе*. Aquaculture and conservation of fish genetic resources: twinning objectives and opportunities. в *Pioneering Fish Genetic Resource Management and Seed Dissemination Programmes for Africa: Adapting Principles of Selective Breeding to the Improvement of Aquaculture in the Volta Basin and Surrounding Areas. CIFA Occasional Paper No. 29*. ФАО: Аккра, Гана.

сдвоенными целями управления и впоследствии постоянно совместно финансируются.

Районы сохранения, соответствующие строгим критериям, представленным здесь в отношении сдваивания, доступны будут не всегда. Многие заповедники и защищенные водные территории, хотя и не изолированные от воздействия аквакультуры, рыболовства и других секторов и иногда позволяющие рациональное использование своих живых водных ресурсов, включая вылов рыбы, играют важную роль в сохранении диких FiGR¹¹⁶. Если, несмотря на все попытки, оказывается невозможным идентифицировать и определить один или более районов сохранения в определенной экосистеме, такой как водораздел или прибрежная зона, по причине исторических или текущих экологических и социальных обстоятельств, концепция объединения (сдваивания) может быть расширена до национального и международного уровня. Главным требованием является то, что развитие аквакультуры в любом месте, где оно может представлять риск для целостности диких FiGR, должно быть связано с сохранением *in situ* (на месте) и дополняться внешним сохранением (*ex situ*) этих диких FiGR где-то в другом месте.

9.4.4 Сохранение *in situ* (на месте)

Условно отдельные разновидности, штаммы и породы культивируемых растений, разводимой рыбы и скота называются генетическими ресурсами *in situ* (то есть местными), когда размещены в хозяйствах, являющихся их естественными средами обитания. Их свободно живущие дикие родственники также называются генетическими ресурсами *in situ*. Хорошо управляемые водные охраняемые районы являются местными (*in situ*) банками генов для диких FiGR (Глава 10), хотя их роль часто не считается важной и в их управлении зачастую недостает адекватного сбора и использования генетических данных. Дикие FiGR *in situ* можно найти только в естественных или относительно нетронутых средах обитания. Двумя главными требованиями для сохранения *in situ* любой популяции живой природы в любом охраняемом районе являются следующие: i) поддержание генетически эффективного размера популяции; то есть

¹¹⁶ Конвенция Ramsar по заболоченным территориям (www.ramsar.org). Страны, в которых наличие важных популяций рыб рассматривается как критерий для определения мест Ramsar.

количества эффективных производителей (N_e), во избежание инбредной депрессии и утраты генетической изменчивости, что обычно представляет риск для небольших, изолированных популяций (см. также Главу 3)¹¹⁷; и ii) уделение должного внимания управлению их средами обитания для предотвращения их ухудшения или утраты. Если последнее требование не выполняется, то дикие FiGR, предназначенные для сохранения, будут изменены или утрачены. Должно обеспечиваться постоянное наличие и целостность вод и биологических сообществ, в которых находятся дикие FiGR, в условиях, помимо прочего, климатических изменений, сооружения дамб, засух, наводнений, интродукции чужеродных видов и болезней, загрязнения от чрезмерного вылова, заиливания и забора воды. В этом отношении сохранение *in situ* диких FiGR сталкивается с теми же трудностями, что и любое сохранение природы, но угроза дикой рыбе, в частности, пресноводной и далеко мигрирующей, намного превышает угрозу другим группам позвоночных животных, используемых человеком в пищу.

Не стоит забывать о сохранении *in situ* важных диких FiGR и находящихся под угрозой исчезновения, потому что популяции, отведенные для сохранения, имеют низкие числа N_e . Небольшие популяции диких FiGR, сохраненные *in situ*, способствуют общим попыткам сохранения определенного вида и особенно важны, если являются редкими или единственными примерами генетически отличных местных популяций, речные или озерные виды. Сохранение *in situ* диких FiGR подразумевает операционные и альтернативные затраты, и общественность и частные бенефициары должны признавать их существование и разделять их.

Один из ключевых вопросов в отношении всех местных (*in situ*) диких генетических ресурсов, включая FiGR, заключается в том, каким образом обеспечить их ответственный сбор в природе, избегая, в частности, чрезмерного сбора и несанкционированного сбора, их обмен и последующее справедливое использование. В 1993 году страны-участницы ФАО обсудили условия Международного кодекса поведения ФАО при сборе и передаче зародышевой плазмы растений¹¹⁸, все цели которого могут применяться к диким FiGR. Конвенция по биологическому

¹¹⁷ Frankham, R. 1995. Conservation genetics. *Annual Review of Genetics*, 29:305-327.

¹¹⁸ ФАО. 1994. International Code of Conduct for Plant Germplasm Collecting and Transfer. ФАО, Рим, Италия. 20с.

разнообразию¹¹⁹ – в частности, ее статьи: 8 о сохранении *in situ*, и, в частности, 8j о равном распределении выгод; 15 о доступе к генетическим ресурсам; 17 об обмене информацией; и 18 о техническом и научном сотрудничестве – и многие другие международные и национальные инструменты предусматривают управление всяким биологическим разнообразием, косвенно включая *in situ* дикие FiGR, но до настоящего момента применялись в значительной мере к другим диким генетическим ресурсам, в особенности, к диким родственникам культивируемых растений.

9.4.5 *Сохранение ex situ (внешнее)*

Сохранение FiGR в виде живой рыбы называется сохранением в организме (*in vivo*). Любое *in situ* сохранение диких FiGR – это сохранение *in vivo* как популяций рыб разных размеров. Сохранение *ex situ* диких FiGR может быть либо *in vivo* как отдельных видов или популяций, содержащихся в исследовательских учреждениях или аквариумах, либо *in vitro* (вне организма, в искусственных условиях) как замороженной спермы и реже как эмбрионов или любых тканей, содержащих ДНК. Сохранение *ex situ/in vitro* диких FiGR как замороженной спермы является на настоящий момент самой важной доступной технологией (Глава 10). Отсутствие сопоставимой технологии замораживания (криоконсервации) яйцеклеток и эмбрионов всей разводимой рыбы и большинства разводимых водных беспозвоночных означает, что замороженная сперма может использоваться только для оплодотворения яйцеклеток живых женских особей. Но криоконсервация спермы до сих пор является важным способом сохранения диких FiGR, особенно находящихся на грани исчезновения, и предоставления диких FiGR для программ разведения и сопутствующих исследований.

Сохранение диких FiGR *ex situ/in vivo* в исследовательских коллекциях и аквариумах сталкивается с теми же трудностями, что и любое разведение в неволе в целях сохранения в зоопарках и других учреждениях: в основном, что популяции, разводимые в неволе, становятся генетически отличными от своих диких родственников, что имеющиеся сооружения зачастую ограничивают эффективный размер популяции (N_e) и что гарантия финансирования не всегда существует. Партнерства государственных

¹¹⁹ www.biodiv.org

и частных секторов могут помочь мобилизовать больше ресурсов для сохранения диких FiGR *ex situ*, разделяя затраты и выгоды, хотя основное финансирование должно поступать от государства. Многие организации на государственном финансировании, в частности, университеты, и частный аквакультурный сектор имеют в наличии коллекции диких FiGR *ex situ/in vivo* для исследовательских целей. В государственных и частных аквариумах также содержатся генетические банки *in vivo*, и некоторая их рыба может являться FiGR для аквакультуры. Коллекции диких FiGR *ex situ/in vivo* должны управляться надлежащим образом для того, чтобы они были как можно ближе генетически к диким типам, снижая утрату генетической изменчивости (Главы 3, 4 и 10).

Сохранение диких FiGR *ex situ* должно рассматриваться, в первую очередь, как дополнение к их сохранению *in situ*, которому придается большее значение. Однако если не остается совсем или остается очень мало нетронутых и доступных свободно живущих популяций ценных FiGR, сохранение *ex situ* становится основным или единственным подходом для обеспечения их долгосрочного сохранения и наличия. Как рекомендовалось выше в отношении сохранения *in situ*, все попытки сохранения ценных или находящихся под угрозой исчезновения диких FiGR *ex situ* важны и способствуют общему сохранению генетического разнообразия определенного вида. Что касается сохранения редких животных в зоопарках и фондах редких видов, то это применимо даже в том случае, если замороженный генетический материал типичен только для нескольких особей или популяций и если в популяциях *in vivo* число N_e очень низкое.

Всякий раз, когда осуществляется развитие аквакультуры или производится сохранение диких FiGR для аквакультуры, необходимо одновременно предусмотреть любое необходимое текущее и прогнозируемое сохранение диких FiGR *in situ* и *ex situ*. Здесь мы снова рекомендуем подход объединения (сдваивания) с соответствующим институциональным развитием и созданием возможностей для методов сохранения диких FiGR как *in situ*, так и *ex situ*.

9.5 Информация

Для эффективного управления дикими FiGR чрезвычайно важна точная и современная информация. Для эффективного зонирования аквакультуры

и районов сохранения диких FiGR *in situ*, дикие FiGR должны быть полностью задокументированы, включая, по возможности, полную генетическую характеристику. Только при наличии такой информации возможно провести их приоритезацию для сохранения. Впоследствии информацию все равно нужно собирать для контроля состояния популяций *in situ*, и, если применимо, предпринимать дополнительные попытки сохранения *ex situ*. Данная информация должна быть разделена и распределена в различных форматах, таких как генетические базы данных, научные журналы и открытые доступные интернет-ресурсы. Хорошим примером информационной системы, которая может использоваться для записи и распространения такой информации, своим содержанием, относящимся к диким FiGR, и ссылками на другие соответствующие базы данных, является FishBase¹²⁰ Программа ФАО по идентификации видов (*FAO Species Identification Programme*)¹²¹ и Информационные бюллетени по аквакультуре (*Aquaculture Fact Sheets*)¹²² содержат таксономические описания, основанные на морфологии, с ограниченными генетическими данными. Но информационные системы по диким FiGR и другим FiGR будут меняться по мере того, как будет расти объем этой информации и спрос на нее. За консультациями по новым разработкам информационных источников по диким FiGR можно обращаться в Комиссию ФАО по генетическим ресурсам для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства (FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture). Более того, по мере расширения применения генетики сохранения к широкому ряду таксонов, все больше информации по диким FiGR появляется в наличии из национальных, региональных и международных организаций по охране природы.

С суммарной точки зрения, необходимо создать национальные и местные каталоги диких FiGR, то есть компьютеризированные списки и базы данных, для обобщения всех пяти свободно живущих популяций – диких, одичавших и других – и их доступных особей, гамет, ДНК и генов. При этом подходе признается, что дикость является относительным качеством. Для каждой популяции и других форм диких FiGR каталоги должны включать: точную и официальную индивидуальную (и, по возможности, интроспективную) идентификацию и научную номенклатуру, ссылки

¹²⁰ www.fishbase.org

¹²¹ www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=org&xml=sidp.xml

¹²² www.fao.org/fi/website/FISearch.do?dom=culturespecies

на источники местных знаний и номенклатуры, отличительные характеристики, данные генетической характеристики, статус сохранения, историю использования в аквакультуре и основные угрозы.

Привязанное к определенному району управление местными (*in situ*) димики FiGR требует более обширного ряда источников информации и инструментов планирования, потому что оно состоит из управления FiGR как таковыми и управления их средами обитания. Следовательно, информация должна поступать из всех секторов, которые могут оказывать негативное воздействие на среды обитания, включая все возможные изменения окружающих водоразделов или прибрежной зоны и, в частности, любые прогнозируемые изменения в качестве и количестве воды. Некоторые из применяемых здесь методов, такие как географическая информационная система (GIS), разработаны и действуют уже давно, но их применение в генетике сохранения началось сравнительно недавно. Управление естественными средами обитания, в частности, для сохранения диких FiGR, также введено относительно недавно, и печатной информации по опыту и рекомендациям мало. Медицинская практика сталкивается с похожими трудностями в попытке синтезировать и распространить новую информацию с целью максимизации эффективных действий, и было предложено, чтобы методика сохранения почерпнула некий опыт для себя в этих подходах к обработке информации¹²³.

Источники информации по различным типам сред обитания рыб обычно менее хорошо разработаны, чем источники по биологии рыб, и каждая отдельная ситуация в отношении среды обитания рыбы и ее диких FiGR будет иметь свои уникальные черты. Необходимость понимания экологии среды обитания рыб является ключевым требованием для сохранения¹²⁴ и водные экологи все больше делятся своими знаниями, которые могут применяться к управлению дикими FiGR *in situ*. Хорошим примером является список мест, в отношении которых был проведен анализ Ecospath, то есть информации по управлению на основании экосистем¹²⁵. Необходимо консультироваться со специалистами – профессиональными

¹²³ Fazey, J., Salisbury, J.G., LindenMayer, D.B., Maindonald, J. и R. Douglas, 2004. Can methods applied in medicine be used to summarize and disseminate conservation research? *Environmental Conservation*, 31 (3):190-198.

¹²⁴ Rice, J.C. 2005. Understanding fish habitat ecology to achieve conservation. *Journal of Fish Biology*, 67 (Supplement B):1-22.

¹²⁵ www.ecospath.org

водными экологами и географами – в отношении информации по управлению средами обитания при сохранении диких FiGR. Если получить такую консультацию сложно, то нужно обратиться, прежде всего, во Всемирный союз охраны природы (IUCN).

9.6 Аквакультура сохранения для исчезающих видов рыб

Термин «исчезающий» используется здесь в широком смысле, включая виды, перечисленные в Конвенции о международной торговле видами дикой флоры и фауны, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС)¹²⁶, все виды, перечисленные в Красной книге IUCN как находящиеся под угрозой исчезновения (где выделено три подкатегории – уязвимые, находящиеся под угрозой исчезновения и на грани исчезновения)¹²⁷, и все виды и другие таксоны, названные находящимися под угрозой исчезновения в национальном законодательстве. Международные списки очень важны; но на национальном и местном уровне должны составляться списки видов, находящихся под угрозой исчезновения, которые представляют ценность на местном уровне и могут подвергаться опасности. Лица, ответственные за принятие решений в аквакультуре, могут запросить такие списки у представителей национального рыболовства или сотрудников экологических учреждений. Главная стратегия сохранения всех видов, находящихся под угрозой исчезновения, заключается в охране их естественных сред обитания от ухудшения и их восстановлении, а также в защите популяций от негативного воздействия.

Разведение в неволе также может использоваться для увеличения оставшихся диких популяций и, если имело место вымирание местного вида, для повторных интродукций¹²⁸. При применении в отношении рыбы, находящейся под угрозой исчезновения, этот процесс можно назвать аквакультурой сохранения, но ее вмешательство должно происходить совместно с общей стратегией управления ресурсами, включая, помимо прочего, районы сохранения, управление рыболовством и должным образом управляемый доступ к природным ресурсам. Разведение в неволе и производство посадочного материала в питомниках применялось для

¹²⁶ www.cites.org

¹²⁷ IUCN. 1994. IUCN Red List Categories. IUCN, Гланд, Швейцария. 21с.

¹²⁸ IUCN. 1998. IUCN Guidelines for Re-introductions. IUCN, Гланд, Швейцария и Кембридж, Соединённое Королевство 10с.

содействия сохранению и использованию многих видов рыб, находящихся под угрозой исчезновения, включая: гигантский меконгский сом, усач, гигантские двустворчатые моллюски; декоративные виды, такие как аравана, веслонос и осетровые; и некоторые виды, подвиды и семейства лосося и форели.

В коллекциях многих государственных аквариумов содержатся некоторые виды рыб, находящихся под угрозой исчезновения, но разведение в неволе в зоопарках в помощь сохранению видов, находящихся под угрозой исчезновения, а именно птиц и млекопитающих, далеко обогнало подобные попытки в отношении рыбы. Для разведения в неволе как попытки содействия сохранению видов, находящихся под угрозой исчезновения, были опубликованы определенные рекомендации¹²⁹. Как и в случае с разведением дикой рыбы *ex situ*, основным принципом разведения в неволе как попытки содействия сохранению видов, находящихся под угрозой исчезновения, является сохранение маточного стада и потомства в неволе по возможности близко на генетическом уровне к популяциям дикого типа, которые пополняются или заново восстанавливаются (Глава 3). Но в отношении рыбы, находящейся под угрозой исчезновения и близкой к вымиранию, положение может быть настолько серьезным, что любое разведение в неволе, даже противоречащее данным генетическим целям и полагающееся на очень низкие числа N_e , лучше, чем ничего.

9.7 Выводы

Генетические ресурсы диких рыб (FiGR) представляют собой большую часть генетического разнообразия, имеющегося в наличии для дальнейшего одомашнивания и генетического улучшения разводимой рыбы.

Многие дикие FiGR подвергаются опасности генетического изменения или вымирания. Необходимо ценить и охранять этих диких родственников культивируемых и потенциально культивируемых водных видов, чтобы обеспечить их наличие в будущем для использования в аквакультуре.

¹²⁹ Huntley, R.V. и Langton, R.W. 1994. *Captive Breeding Guidelines*. Aquatic Conservation Network, Inc., Оттава, Онтарио, Канада. 62с.

Если должным образом признавать ценность диких FiGR и разделять затраты и выгоды их сохранения, то аквакультура еще может избежать утраты диких генетических ресурсов до такой степени, какая наблюдается в животноводческом и зерновом секторах.

Сохранение *in situ* диких FiGR должно считаться частью природоохранного сектора и осуществляться путем межотраслевых действий и сотрудничества.

Сохранение *ex situ* диких FiGR как дополнение сохранения *in situ* в аквакультуре является важной возможностью, а разведение в неволе может способствовать сохранению некоторых видов рыб, находящихся под угрозой исчезновения.

Для всех аспектов управления дикими FiGR чрезвычайно важной является точная и современная информация.

Сохранению диких FiGR нужно придавать должное значение при распределении финансирования и разделении природных ресурсов с другими секторами.

10 СОЗДАНИЕ БАНКОВ ВОДНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ¹³⁰

10.1 Введение

Генетический банк – это упорядоченная коллекция генетических ресурсов. Генетические банки необходимы тогда, когда основные генетические ресурсы разводимых и промысловых животных и растений находятся под угрозой. В то время как современные генетические методики позволяют ввести в банк любую ткань животного или растения, содержащую ДНК, большинство генетических банков состоят из целых организмов, половых зародышевых клеток или ранних стадий жизни (зародышей). Хорошим показателем того, что коллекция стала банком, является возможность извлечения его компонентов. Технологии, используемые для создания водных генетических банков, применимы как в промышленности (коллекции маточных стад, разработка нового генетического материала), так и в традиционных методиках сохранения ресурсов.

10.2 Генетические банки *in situ* и *ex situ*

Генетический банк может быть *in situ* или *ex situ*, в зависимости от физического местоположения. Банки *ex situ*, которые могут состоять из ДНК, генов, отдельных клеток, половых продуктов или целых организмов, удалены от природного или искусственно созданного ареала организма; это наиболее распространенный и известный широкой публике тип генетических банков. Банки *in situ* представляют собой популяции организмов, охраняемых в пределах своего ареала; они менее распространены, чем банки *ex situ*, но, возможно, более привлекательны для организаций и общества (см. Главу 12). В то время как Конвенция по сохранению биологического разнообразия (CBD) рассматривает банки *ex situ* как «дополнительные» по отношению к банкам *in situ*, обе разновидности подробно описаны в разделах 7.2.2 и 9.3.1 (банки *in situ* и *ex situ*) и 9.3.5 (банки *ex situ*) Кодекса поведения для ответственного рыболовства. Они одинаково важны для водных генетических ресурсов.

Генетические банки данных для водных организмов появились сравнительно недавно, в отличие от банков семян и центров

¹³⁰ Автор – Brian Harvey.

оплодотворения домашнего скота, известных многим людям. Самое большое отличие заключается в том, что в противоположность одомашненным животным и растениям, водные организмы до сих пор вылавливаются из диких экосистем или выращиваемых стад, поэтому сохранение их в генетических банках должно предполагать сохранение природных ареалов (аквакультурным системам пока ничего не угрожает). Потеря ареала означает, что возможность создания генетического банка *in situ* для диких особей утрачена для многих диких животных и растений, однако продолжает сохраняться для рыб, моллюсков и ракообразных и водных растений. Управляющие водными генетическими банками должны осознавать потенциал сохранения генетических ресурсов выращиваемых водных видов, для которых банк *in situ* может включать не только живую «фермерскую» коллекцию определенного вида, но и часть ареала обитания его диких сородичей (Глава 9). В этой главе рассматривается только опция банков *in situ*, а именно, сохранение в условиях хозяйства.

10.3 История

Первые генетические банки для водных организмов представляли собой небольшие коллекции криоконсервированной спермы, собранной исследователями, занимающимися изучением диких популяций рыб. Их основная задача заключалась, однако, в сохранении результатов программ выращивания водных организмов. Многие из последующих коллекций быстро исчезали в силу недостаточности средств финансирования, технологической базы и правительственного участия. Ряд «живых генетических банков» (опять а большинстве своем рыбы) также появился на государственных или частных рыбоводных заводах в форме коллекций пойманных маточных стад.

Сегодня, упорядоченные банки *ex situ* зародышевой плазмы и целых организмов водных животных принадлежат национальным, государственным и местным правительствам, частным компаниям, научным учреждениям и неправительственным организациям. Некоторые из них являются частью национальных программ по сохранению зародышевой плазмы водных организмов. Несмотря на широкую распространенность банков *ex situ*, еще предстоит стандартизировать используемую ими терминологию и технологии, а также определить каналы связи. Следует стремиться к поиску партнеров, которые могут усилить любую программу.

10.4 Информация по криобанкам гамет и эмбрионов

Генетический банк предполагает долгосрочное обеспечение необходимой инфраструктуры. Несмотря на сравнительную легкость своего создания, очень сложно поддерживать генетические банки на протяжении многих лет, на которые они рассчитаны. Их можно успешно применять в узких масштабах (например, на отдельной ферме), но животноводческая модель, использующая один центр (с центральным финансированием) для хранения и регистрации, возможно, является наиболее оптимальной долгосрочной системой. Эта многопользовательская модель рассматривается в последующем обсуждении.

Сперма многих видов пресноводной рыбы успешно прошла криоконсервацию (заморожена в жидком азоте). Сперматозоиды рыб представляют ряд серьезных технических проблем, что осложняется за счет плохого качества научной литературы по предмету, отражая многочисленные практические попытки, не подтвержденные теорией криобиологии. Исследователям и учредителям генетических банков следует обратиться к недавним обзорам¹³¹ за более подробной технической информацией и рекомендуется активно делиться опытом, включая публикации в авторитетных изданиях.

Сперма рыб, как правило, замораживается и хранится в пластиковых пробирках. Фактическое замораживание теперь можно осуществлять непосредственно в полевых условиях при помощи переносного недорогого оборудования. Однако до сих пор невозможно заморозить рыбную икру. Сперма и яйцеклетки некоторых моллюсков успешно подвергаются замораживанию, равно как и личинки двустворчатых моллюсков (устриц, клем, гребешков, мидий); ряд национальных научно-исследовательских программ занимаются целенаправленным созданием генетических банков двухстворчатых моллюсков. Банки данных должны включать сперму рыб или яйцеклетки и личинки двустворчатых моллюсков.

Криоконсервированные сперма, яйцеклетки и личинки хранятся в жидком азоте. Надежным местом хранения, позволяющим сэкономить место и рабочую силу, является центр разведения скота. Дублирование хранения в другом месте гарантирует дополнительную безопасность,

¹³¹ Одна из недавних работ Tiersch, T. и Mazik, P. (ред). 2000. *Cryopreservation in aquatic species*. World Aquaculture Society, Батон Руж, Соединённые Штаты Америки. 439с.

однако практически подходит только для небольших банков. Если сохраняемые виды прежде не были закриоконсервированы, то основные расходы для подобного рода банков *ex situ* приходится на разработку или приобретение технологии; средства выделяются для академических и правительственных исследователей, хотя некоторые частные фермы также вкладывают инвестиции в совершенствование существующих методик.

10.5 Информация по живым генетическим банкам (коллекция маточных стад)

Изолированные коллекции «чистых» породных линий живой рыбы уже давно являются частью широкомасштабных программ рыбоводных хозяйств, выращивающих рыбу на продажу другим хозяйствам, для сохранения или выпуска на волю. Главные требования подобного или любого другого типа генетических банков – это безопасность сохраняемых стад и обеспечение их генетического разнообразия. Их, тем не менее, необходимо скрещивать и разводить, что предполагает селекционные работы, неизбежно удаляя их от изначального дикого состояния (см. Главы 3 и 9). Разведение в неволе популяций рыб, находящихся под угрозой исчезновения, является частью работы по организации генетических банков. Коллекции маточных стад также могут содержаться в академических научных лабораториях и публичных аквариумах.

10.6 Управление данными

Несмотря на то, что много усилий ушло на разработку программного обеспечения для управления генетическими банками растений и животных, и существующие соглашения по вопросам создания генетических банков привели к определенной стандартизации, большинство генетических банков рыб все еще опираются на малоэффективные внутренние картотечные системы на основе широко распространенного программного обеспечения в виде электронных таблиц. Большинство из этих доморощенных систем не способны предоставить надежные данные об извлечениях, обменах и заменах; ни одна из них не в состоянии учесть и систематизировать огромный поток информации, который обычно предполагает управление генетическими банками растений и животных. В то время как требования к организации генетических банков рыб могут варьироваться в зависимости от региона и типа банка, учетные данные, как правило, включают происхождение (что было собрано, где и кем, по какой юридической статье); идентификацию (генетику видов и, по

возможности, популяции); и последующее использование (удаление и повторное помещение образцов, кем и с какой целью)¹³².

10.7 Политические аспекты

При наличии подходящих контейнеров, криоконсервированные генетические ресурсы намного легче транспортировать на любые расстояния, чем живые организмы. При их транспортировке необходимо учитывать национальное и международное законодательство по вопросам ввоза, транзита и контроля заболеваний.

Очень ограниченное число стран, даже из тех, кто принимал участие в подписании Конвенции о сохранении биологического разнообразия, имеют четко выраженную позицию в области генетических банков водных организмов. Однако Конвенция декларирует как раз те принципы, которые требуют формирования строгой точки зрения – а именно, доступ к генетическим ресурсам и распределение полученных от них прибылей. Данные принципы затрагивают каждую группу, потенциально заинтересованную в генетических банках: общины, аквакультурную промышленность, местные группы, неправительственные организации, рыболовные хозяйства и министерства по охране окружающей среды. Доступ к генетическим ресурсам, особенно к тем, которые удалены от своего естественного ареала и сохраняются для последующего использования, может быстро осложниться как на политическом, так и законодательном уровне. Следовательно, каждая группа, прежде чем приступить к реализации программы по созданию банка генов, должна сначала понять позицию других заинтересованных групп и достичь предварительного соглашения о хранении и использовании данных ресурсов, а также доступе к ним. До сих пор не существует стандартного формата или общих принципов подобных соглашений относительно конкретных водных генетических ресурсов.

Организации по управлению и развитию, в частности, международные агентства по генетическим ресурсам, должны способствовать стандартизации терминологии, политики, технологий и учета; может

¹³² SpermSaver – программное обеспечение для управления генетическими банками. 2005. World Fisheries Trust, Виктория БС, Канада. Это бета-версия ПО для управления генетическими банками рыб, учитывающая все области, предусмотренные Всемирным рыболовным трестом (World Fishery Trust) (www.worldfish.org).

возникнуть потребность дальнейшей разработки законодательной базы по мере развития сферы описания генетических ресурсов.

10.8 Создание генетических банков водных организмов

Группа, стремящаяся создать генетический банк *ex situ* водных организмов, должна выполнить следующие шаги:

- подыскать долгосрочную институциональную базу для программы (например, агентства по рыболовству или сельскому хозяйству) и долгосрочную материальную базу для надежного хранения (например, государственную или частную станцию по разведению домашних животных);
- обеспечить краткосрочное финансирование (например, грант от агентства) для исследования или долгосрочное финансирование (правительство) для безопасного хранения;
- приобрести технологии у академии или в результате собственной разработки (см. выше);
- провести инструктаж персонала по применению технологии, управлению данными, законодательству и процедуре получения разрешений;
- провести анализ и включить в план управления банком данных все существенные экологические и рыбохозяйственные законодательные предписания, в том числе, по контролю заболеваний, транспортировке живых организмов и их гамет и исчезающим видам;
- разработать стратегию сбора и распространения материала, в частности, в отношении доступа к генетическим ресурсам и разделу получаемой от их использования прибыли;
- завязать контакты с теми лицами и организациями, которые предлагают соответствующую информацию по приобретениям (например, современный ДНК-анализ позволяет дать очень подробную характеристику генной структуры; стандартная система создания генетических банков водных организмов должна включать результаты подобных анализов); и
- разработать формулировку и постановку задачи и нанять специалиста в области коммуникаций для продвижения и поддержки целей, активной терминологии и стратегических решений в вопросах управления генетическим банком и информирования всех партнеров.

11 ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОД¹³³

С целью обеспечения надлежащего развития аквакультуры международное сообщество в своих нормативных документах, например, Конвенции по биологическому разнообразию (CBD) и Кодексе поведения ФАО для ответственного рыболовства, многие правительства и неправительственные организации требуют внедрения профилактического подхода.

Любое новшество имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Общество стремится извлечь выгоду из новых технологий и генетически модифицированных видов для культивирования, ожидая одновременно, что правительство оградит их от любого неблагоприятного воздействия этих разработок. Уравновешивание технического прогресса и его отрицательных последствий является основой профилактического подхода к использованию генетически модифицированных видов (Глава 2) в аквакультуре.

До сих пор ведутся оживленные споры по поводу масштабов и возможностей негативного воздействия генетически измененных видов на окружающую среду и водное биоразнообразие. Текущих знаний о многих видах, водных экосистемах и структурирующих сил зачастую недостаточно для точного прогнозирования реакции биологического сообщества или экосистемы на введение генетически измененных видов.

11.1 Подход

Профилактический подход, инициированный ФАО и CBD, декларирует то, что при наличии угрозы причинения серьезного или непоправимого ущерба недостаточность научных знаний и неуверенность не должны служить причиной задержки в принятии эффективных мер по предотвращению ухудшения экологического состояния. Далее следует описание элементов профилактического подхода, разработанного для рыболовства и внедренных видов¹³⁴:

- Для установления желаемых ситуаций и нежелательных последствий необходимо определить исходные пункты, т.е. целевые и ограничивающие ориентиры. Например, показатель

¹³³ Автор – Devin M. Bartley.

¹³⁴ ФАО. 1996. Precautionary Approach to Capture Fisheries and Species Introductions. Технические рекомендации ФАО для ответственного рыболовства No. 2. ФАО, Рим. 73с.

максимального устойчивого вылова может считаться целевым ориентиром, в то время как не превышение установленного количества уплывшей на волю рыбы может служить предельной величиной. Возможные параметры приведены в Таблице 11.1. Менеджеры по ресурсам должны разработать количественные величины для данных параметров.

- Необходимо установить нежелательные последствия, а также исправительные или предупредительные меры, включая запрет

Таблица 11.1 Возможные контрольные параметры для применения профилактического подхода в рамках управления генетическими ресурсами в аквакультуре. Т и L представляют целевые и ограничительные параметры, соответственно

Цель введения контрольного параметра	Измерительная величина
Генетика	
Установить допустимый уровень инбридинга (L)	– Коэффициент инбридинга (F) (Глава 3).
Установить допустимый уровень потока/интрогрессии генов между дикими и культивируемыми стадами (L)	– Количество дикой и культивируемой рыбы с общими генами. – Изменение частоты генов в диких стадах.
Установить допустимое кол-во рыбы для маточного стада (Т)	– Эффективный размер популяции (N_e) (Глава 3) маточного стада.
Обеспечить стерильный продукт аквакультуры	– Количество триплоидной рыбы в продукции хозяйства.
Сохранить редкие гены в культуре (Т)	– Эффективный размер популяции (N_e) (Глава 3). – Частота генов в стадах хозяйства.
Численность природного запаса	
Оценить воздействие бегства	– Кол-во сбежавшей рыбы. – Процентное сокращение природных особей.
Определить уровень угрозы (L)	– Сокращение размера популяции за указанный период времени (напр., 10 лет или 3 поколения).
Установить допустимые показатели рыболовства (Т и L)	– Промысловая смертность. – Максимальный устойчивый вылов.
Определить риск вымирания (L)	– Эффективный размер популяции. – Возможность вымирания за указанный срок (напр., 5 лет). – Уменьшение размера популяции (напр., объем сокращения популяции за опред. период).
Патогенные микроорганизмы	
Предотвратить распространение болезни (L)	– Уровни специфических возбудителей в аквакультурных и диких популяциях (зачастую 0 выбирается целевым и предельным параметром).

или принудительное прекращение действий, связанных с недопустимыми рисками или уже оказавших недопустимое неблагоприятное влияние. Заранее запланированные мероприятия или планы чрезвычайных мер должны исполняться своевременно при приближении к предельным показателям или в случае явно выраженных негативных последствий. Таким образом, необходим мониторинг сооружений, местных видов и окружающей среды на предмет измерения контрольных параметров. Подобные меры могут включать переход на стерильную рыбу в случае возникновения проблем со скрещиванием с местными видами или изменением условий содержания или места разведения. И наоборот, использование плодотворных и безопасных методик может служить основой для разработки дальнейших планов по применению данной технологии.

- Предпочтение должно отдаваться сохранению продуктивного потенциала ресурса в случаях неопределенности в вопросах оказываемого воздействия. Для рыболовства это означает, что в случае неопределенности первостепенной задачей является сохранение стада, а не его вылов. То же справедливо для аквакультуры, где необходимо сохранить продуктивность местных стад в случае опасности неблагоприятного влияния со стороны генетически измененных видов. Это может потребовать размещения рыбоводных хозяйств вдалеке от ценных местных ресурсов (Глава 9).
- Последствия развития должны быть ликвидированы в течение 2-3 десятилетий. Подобное условие связано с непрофилактическим использованием генетически модифицированных видовых, способных к репродукции, тем не менее и в данном случае возможно реализовывать предупредительный подход. Особи, внедренные в аквакультуру, натурализовались и во многих случаях образовали самоподдерживающиеся популяции; истребление таких популяций (т.е. обратимость последствий) сложно или невозможно, особенно в морских зонах, внутренних водоемах и водно-болотных угодьях и обширных речных системах.
- Бремя доказательства должно быть выстроено в соответствии с вышеуказанными требованиями, и стандарт доказательства должен быть сопоставим с рисками и преимуществами (т.е. потребуются более высокий стандарт доказательства, если риски высоки по сравнению с преимуществами). Часто

представляют, что профилактический подход означает то, что бремя доказательства принадлежит тем, кто предлагает использование или развитие ресурса (т.е. аквакультурный комплекс должен доказать, что генетически измененные виды не оказывают негативного воздействия). Это, так называемый, подход «презумпции виновности». Его применение в реальных ситуациях очень проблематично. Все случаи разрешения или запрета аквакультурных хозяйств должны основываться, по возможности, на достоверной научной информации и данных.

11.2 Выводы

Профилактический подход признает неопределенность и устанавливает механизмы решения возможных проблем. Подобные механизмы могут включать, среди прочего, стратегии, программы управления, контроль факторов риска, мониторинг систем и изменений в управлении или развитии на основе опыта. Таким образом, данный подход имеет много общего с адаптивным управлением. Требования проведения оценки экологического воздействия или исполнения свода норм и правил, например, разработанных Европейским Союзом¹³⁵, Международным советом по исследованию моря и Европейской консультативной комиссией по рыболовству во внутренних водах (ICES/EIFAC) (Глава 5), являются превосходными профилактическими инструментами, которые помогают определить целесообразность использования генетически измененных особей.

Профилактический подход действует в условиях неопределенности и в преддверии и во время развития. Он не означает сокращения объема научно-исследовательской работы или усилий по ликвидации неопределенности. Действия должны исходить из доступных научных знаний, которые должны постоянно совершенствоваться.

Применение профилактического подхода предполагает сравнение рисков и выгод (Глава 7). Таким образом, в районах, где требуется больше белка или необходимо повышение эффективности, аквакультура и использование генетически измененных видов могут предоставить больше

¹³⁵ Директива ЕС 90/220 по вводу генетически измененных организмов в окружающую среду.

выгод, чем могли бы предоставить другие типы сельского хозяйства или развития. Высокий уровень риска может быть оправдан в том случае, если преимущества в бедном регионе обещают быть большими. Однако также следует учитывать потребности будущих поколений, особенно если кратковременное вмешательство представляет угрозу сохранения полного объема доступности и использования природных генетических ресурсов и водных экосистем.

Профилактический подход к использованию генетически измененных особей в аквакультуре требует мобилизации значительных усилий в области управления, мониторинга и научных исследований. Решающее значение имеют контрольные параметры, многие из которых до сих пор несогласованны, например, допустимые уровни генетического разнообразия или количество сбежавшей рыбы, способной нанести ущерб состоянию экосистемы. Государства должны стремиться применять данный подход и предоставлять информацию национальным организациям и ФАО с целью уменьшения неопределенности, извлечения полезного опыта и широкого распространения данных.

12 СВЯЗИ С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКАЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ¹³⁶

12.1 Введение

Согласие потребителей по отношению к генетически измененным организмам из аквакультуры играет определяющую роль в успехе программ по разведению. Люди не только принимают решение о приобретении того или иного продовольственного продукта, они также могут оказывать давление на правительство и, соответственно, законодательство, регулирующее импорт и использование генетически измененных организмов.

Потребительская осведомленность не учитывается в Кодексе поведения для ответственного рыболовства, кроме самых общих случаев. Пункт 6.16 Общих принципов гласит: *«Государства должны ... содействовать осведомленности ответственного рыболовства (включая аквакультуру) путем проведения образовательной и инструктирующей работы...»* Тем не менее, реакция потребителей на генетически модифицированную продукцию приобретает все большее значение в аквакультуре, оценке ее роли в питании и возможного воздействия на окружающую среду. Конвенция по сохранению биологического разнообразия и программа ООН «Повестка дня на XXI век» включают потребительскую осведомленность в список ключевых факторов устойчивого развития и эффективного участия общества в принятии государственных решений¹³⁷.

Настоящая глава обращает внимание руководителей на ряд вопросов, связанных с отношениями с общественностью. Источник проблем – это *недостаток информации или расхождения во мнениях*. Обеих проблем можно избежать, если потребители и менеджеры в области генетических технологий организуют доступный канал связи с акционерами – и друг с другом. Задача данной главы – рассказать руководителям и представителям потребительской аудитории о некоторых нетехнических вопросах, которые

¹³⁶ Автор – Devin M. Bartley

¹³⁷ Raymond, R.D. 1999. Agricultural research and the art of public awareness. Страницы 217-224 в Pullin, R.S.V., D.M. Bartley и J. Kooiman (ред) Towards Policies for Conservation and Sustainable Use of Aquatic Genetic Resources. ICLARM Conf. Proc. 59. 277c.

определяют успех программ по управлению генетическими ресурсами, и предложить некоторые общие коммуникационные инструменты и PR-стратегии с целью распространения точной информации.

12.2 Стратегия коммуникации

Для содействия укреплению ответственного использования генетических технологий необходима коммуникационная стратегия, потому что большинство потребителей не представляют, каким образом производятся продукты питания. Терминологическая путаница, обилие определений, преувеличенные слухи об успехе или неудаче, сложность самой тематики, попытки намеренного укрытия информации или воздействия на общественное мнение усиливают смятение потребителя, вызывая у него недоверие к генетическим технологиям. Такое положение дел может только огорчать, поскольку ответственное применение соответствующих генетических технологий может принести огромную пользу, как потребителю, так и окружающей среде.

Коммуникационная стратегия должна иметь четко поставленные задачи и целевую аудиторию. Успешный подход к коммуникации заключается в «обрамлении»¹³⁸ предметной области. Обрамление целенаправленно концентрируется на определенных аспектах вопроса (внутри рамки), опуская другие моменты (вне рамки), для достижения поставленной цели и получения поддержки аудитории (напр., потребителя или руководителя). Например, в стратегии по созданию положительного мнения о генетически улучшенной рыбе, рамка может апеллировать к экономии издержек от выращивания или приобретения рыбы, которая производится более эффективным путем, не фокусируя внимания на технических деталях производства.

Коммуникационная стратегия может подобрать «новую рамку» для вопроса путем изменения ракурса. Например, некоторые группы обвиняют аквакультуру в чрезмерном использовании земли и дикой рыбы в производстве кормов для аквакультуры. Сделав акцент на уменьшении землепользования и расхода корма при выращивании

¹³⁸ Приложение 2: Sink or Swim: mobilizing key audiences through strategic communication. Suzanne Hawkes и Liz Scanlon IMPACS, сентябрь 2006 г. (worldfish.org/images-pdfs/Projects/sinkorswim.pdf).

генетически измененной рыбы, возможно направить обсуждение в более благоприятное русло (Таблица 12.1).

Ничего из вышесказанного не предполагает утаивания или искажения информации. Задача промоутеров – распространение положительной и точной информации о достоинствах управления генетическими ресурсами.

Далее представлены другие элементы, которые могут помочь в создании «рамки».

Таблица 12.1 «Обрамление» управления генетическими ресурсами в аквакультуре помогает акцентировать положительные аспекты с целью принятия обществом программ генетических модификаций

Текущая «рамка» , касающаяся генетических технологий	Предлагаемый новый ракурс
Генные технологии дорогостоящи	Генные технологии экономичны за счет производства организмов, которые хорошо растут, не требуя больших затрат. Их можно использовать для получения определенной окраски или формы рыбы, за которые потребители готовы платить больше.
Генные технологии сложны	Генные технологии часто основаны на традиционных методиках выращивания животных. Биология размножения рыб облегчает применение генных технологий.
Генные технологии наносят ущерб природному биологическому разнообразию и окружающей среде	Генные технологии в аквакультуре могут уменьшить ущерб окружающей среде. Их можно использовать для получения организмов с ограниченной способностью контактировать с дикими особями; более эффективный рост означает меньше отходов в окружающую среду; повышение устойчивости к заболеваниям ограничивает распространение заболеваний при сокращении используемых медикаментов. Менеджеры по генетическим ресурсам в аквакультуре должны продемонстрировать ответственное отношение к дикому генетическому разнообразию – это сырье для всех программ по геному модифицированию.
Генные технологии выгодны для крупных компаний	Выгода от сокращения производственных издержек также коснется потребителя.
Продукт генных технологий внушает страх потребителю, напр., плохим вкусом, вредом для здоровья, странным видом	Генные технологии могут использоваться для производства здоровой рыбы, в которой не содержится элементов, не присущих ее диким сородичам.
Генные технологии вредны для выращиваемых организмов	Оптимизация одомашнивания и производства в результате выращивания генетически улучшенной рыбы означает, что рыба подвергается меньшей нагрузке, лучше питается, отличается более низким уровнем агрессивного взаимодействия и меньше подвержена заболеваниям.

12.2.1 Знание своей аудитории

Хорошее знание своей аудитории – это базовый принцип стратегии общественной осведомленности. «Общественность» состоит из многочисленных групп с различными интересами, которые диктуют их информационные потребности. Современные социологические исследования показывают, что, принимая решения, люди зачастую руководствуются не знаниями или логикой, а предрассудками или простейшими принципами. Потребители хотят испытывать удовлетворение от покупки, осознавая, что она полезна для их здоровья, окружающей среды или кошелька. Специалисты по аквакультуре стремятся завоевать рынок, политики хотят лучшего для большинства своих избирателей.

Потребителей привлекают низкие цены на высококачественную генетически улучшенную рыбу, выращенную в прекрасных условиях при повышении ее экологичности. Политики осознают растущий спрос со стороны покупателей и предприятий на эти качества. Появление «органических» продуктов питания и экологически сертифицированных рыбоводных хозяйств указывает на то, что потребители хотят приобретать экологичный и экономичный продукт.

В силу того, что предубеждения потребителей и существующие законы меняются очень медленно, необходимо проводить исследования с целью подтверждения положительной реакции потребителя на любую генную технологию, используемую в производстве, и отсутствие законодательно-торговых ограничений. Например, в некоторых регионах гибридизация различных видов запрещена или требует специального разрешения. Несмотря на то, что водные генетически модифицированные организмы (ГМО) (напр., трансгенные) пока еще недоступны потребителю, в будущем они вполне могут появиться и получить широкое распространение. Следовательно, перед использованием технологии необходимо изучить реакцию потребителей и продавцов.

12.2.2 Определение партнеров по продвижению программ генетического управления

Сторонники генных технологий в аквакультуре должны заключать партнерства с многочисленными акционерами для обеспечения того, что

технологии разрабатываются и используются с полной ответственностью и хорошо воспринимаются потребителями и политиками (см. также Главу 9 о межотраслевом подходе). Аквакультуру критикуют за нанесение вреда окружающей среде в результате злоупотребления некоторыми компонентами и сильного загрязнения. Аквакультурный и природоохранный сектор должны способствовать внедрению генетических программ по уменьшению вредного воздействия за счет повышения эффективности производства.

Партнерства помогут обеспечить уверенность в производимом продукте и достоверности распространяемой информации о генетических модификациях. «Консорциум по выращиванию креветок» (*Shrimp Consortium*)¹³⁹, состоящий из международных групп по сохранению и развитию и донорских институтов, служит отличным примером работы подобных партнерств по продвижению программ генетического совершенствования.

В то время как много разговоров ведется о роли аквакультуры в «ликвидации дефицита поставок», который возник в результате сокращения объемов продукции рыболовства, аквакультура действительно является единственным решением этой проблемы, в улаживании которой могут помочь программы генетической модификации. Споры аквакультуры и рыболовства за лидерство и доступ к ресурсам могут угрожать обоим секторам. Необходимо предпринять меры по сохранению и защите природных рыбных ресурсов (Глава 9) с целью создания партнерств и во избежание конфликтов.

Следует признать, что существуют районы, в которых использование аквакультуры невозможно, независимо от того, применяются генные технологии или нет. Лучше не тратить время на ведение заранее обреченной на провал борьбы, которая может отвернуть от вас ваших партнеров. Двойные стратегии, предложенные в Главе 9, с указанием сфер, где применение аквакультуры ограничено или исключено, должны активно использоваться аквакультурным сектором с целью развития других, более подходящих участков и использования лучших видов и линий.

¹³⁹ www.worldwildlife.org/cc/dialogues/shrimp.cfm

12.2.3 Обмен опытом с другими секторами

Земледельческие сектора более активно используют генные технологии и поэтому обладают ценным опытом в этой области. Вот некоторые рекомендации:

Во-первых, необходимо сделать акцент на том, что генетически модифицированная рыба будет выгодна, прежде всего, потребителю. Сектор биотехнологии растений сталкивается с сильным сопротивлением потребителей по отношению к использованию ГМО, в то время как фармацевтический сектор широко использует плоды современной генной инженерии практически с полного согласия общественности. Одна из причин – это то, что в первом случае люди полагают, что только отрасль выигрывает от применения генных технологий, в то время как в фармацевтике считается, что генные биотехнологии приносят пользу больным людям.

Во-вторых, вопросы этического характера. Потребители выражают озабоченность благополучием генетически модифицированных организмов и общими условиями их выращивания. Похожие проблемы в некоторой степени характерны для выращиваемой и генетически модифицированной рыбы. Следует избегать генетических изменений, способных вызвать деформации, и акцентировать положительное влияние генетически улучшенной рыбы на жизнеспособность культуры за счет роста одомашнивания. В зерновом секторе актуальны вопросы безопасности продовольствия и интеллектуальной собственности, которые могут лишить фермеров нормального пропитания. Семена для зерновых культур, необходимые для фермерских сообществ, были генетически стерилизованы таким образом, что фермеры не могли сажать их повторно. Сторонники программ генетических изменений должны осознавать, как последние могут влиять на продовольственную безопасность сельских общин.

Сертификация также является противоречивым моментом для всех секторов. Рекомендации по экологической сертификации рыболовства были разработаны ФАО и партнерами, рекомендации по аквакультурным продуктам находятся на стадии разработки; Морской попечительский совет и Лесной попечительский совет разработали частные отраслевые рекомендации. Эти существующие рекомендации, однако, не учитывают

генетический критерий. Некоторые межправительственные комитеты ввели обязательную сертификацию определенных продуктов современных биотехнологий (например, ГМО), а некоторые схемы сертификации органических продуктов не допускают использования генных технологий. В силу чувствительности и сложности вопроса, обсуждение включения генных технологий в данные рекомендации находится не на должном уровне, что пока не позволяет разработать руководства. Менеджерам и специалистами в области генных технологий рекомендуется учесть эту быстро развивающуюся сферу и задействовать партнеров для расширения законодательной базы.

12.2.4 Использование точной терминологии, соответствующей национальному и международному законодательству

Область генетики очень сложна и зачастую противоречива. Точная терминология и ее правильное употребление поможет передать полезную и достоверную информацию и избежать проблем, связанных с недопониманием (см. раздел «Терминология» в Главе 2). Глоссарии призваны разобраться в этой сложной специфике¹⁴⁰.

12.3 Заключение

Программы генетической манипуляции предлагают существенные преимущества для аквакультуры, которые, однако, часто недооцениваются широкой общественностью и политиками. Специалисты в сфере коммуникаций (см. Сноску 138) утверждают, что новые идеи сначала воспринимаются небольшой группой «первопроходцев», и лишь затем постепенно – другими группами. Если 15 процент группы поддерживают идею, то она может далее с успехом распространяться. Сторонники генных технологий и программ по выращиванию должны информировать широкую общественность о достоинствах этих программ и завязывать партнерские отношения с другими пользователями водных ресурсов и гражданскими лицами для достижения этого 15 процентного уровня. Ответственное использование генетических технологий позволит аквакультуре производить больше продукции более эффективным

¹⁴⁰ Глоссарии ФАО в области биотехнологий (www.fao.org/biotech/index_glossary.asp); рыбоводства ([www.fa.org/fi/glossary/default.asp](http://www.fao.org/fi/glossary/default.asp)); и аквакультуры (www.fao.org/fi/glossary/default.asp).

способом и с меньшим ущербом для окружающей среды. Как только широкая общественность осознает этот факт, аквакультура сможет стать частью планов по междисциплинарному развитию местных сообществ. Эти аспекты должны войти в общую коммуникационную стратегию, которая призвана укрепить связи с общественностью и потребительскую осведомленность по отношению к генетически улучшенной рыбе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

НАЙРОБИЙСКАЯ ДЕКЛАРАЦИЯ¹

СОХРАНЕНИЕ АКВАТИЧЕСКОГО БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ УЛУЧШЕННЫХ И ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ В АФРИКЕ

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

Рыба является главным источником животного белка для населения Африки, и водные ресурсы играют ключевую роль в обеспечении средств к существованию сельских и городских общин региона. Тем не менее, на уровне всего континента запас рыбы на душу населения сокращается и текущие прогнозы спроса и предложения указывают на то, что эта тенденция продолжится в будущем. Для решения этой проблемы необходимо оказать поддержку рыболовству и реализовать аквакультурный потенциал. При этом необходимо защитить богатое водное биоразнообразие Африки, в частности, богатство пресноводной рыбы и ее роль в поддержании устойчивости рыболовства и предоставления видов для аквакультуры.

В настоящее время выращивание рыбы в аквакультуре в Африке не значительно. Однако с ростом населения и спроса на рыбу аквакультурный сектор должен вырасти. Для этого необходимо решить ряд проблем и учесть большое количество административных моментов. Необходимо усовершенствовать систему прудов и маточного стада, расширить ассортимент кормов и получить доступ на рынок.

Кроме этого, существует огромный потенциал для совершенствования используемых видов и линий рыб. Сейчас большое количество рыбы, используемой в аквакультуре в Африке, происходит их неодомашенных стад, что контрастирует с аграрным, животноводческим и птицеводческим

¹ Gupta, M.V., Bartley, D.M., Acosta, B.O. (ред) 2004. Use of Genetically Improved and Alien Species for Aquaculture and Conservation of Aquatic Biodiversity in Africa. WorldFish Conference Proceedings No. 68. Декларация доступна на: www.cta.int/pubs/nairobi/declaration.pdf

секторами, в которых увеличение производительности достигается за счет применения программ по скрещиванию и других генетических процедур. Однако наряду с возможностью повышения производительности за счет улучшенных линий и внедренных видов, существует риск их попадания в окружающую среду и потенциального отрицательного воздействия на биологическое разнообразие. Это необходимо учесть при создании устойчивой аквакультурной системы в Африке.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Качественный посадочный материал

Аквакультура, начиная от малобюджетных и заканчивая широкомасштабными интенсивными системами, может получить большую пользу от генетических изменений, поэтому необходимо сделать доступным и использовать качественный посадочный материал в сочетании с маточным стадом и должными методиками выращивания.

2. Генетика в управлении маточным стадом

Ввиду того, что генетические ресурсы в одомашненных популяциях могут быть сведены на нет в результате разведения в неволе, генетические аспекты управления маточным стадом должны стать базовым элементом всех аквакультурных программ и программ по усовершенствованию стад.

3. Ответственное вселение

Вселение рыбы, включая генетически улучшенные линии и чужеродные виды, может сказаться на развитии аквакультуры. Любое перемещение рыбы между природными экологическими границами (например, водоразделы) может угрожать биологическому разнообразию, что требует применения оптимизированных и расширенных протоколов, методов оценки рисков и программ мониторинга в случае вселения рыбы, в том числе генетически измененных линий и чужеродных видов. Государство несет ответственность за разработку и исполнение подобных протоколов и сопутствующих предписаний, четкое распределение обязанностей и функций, а также наращивание потенциала. Эти усилия должны соответствовать обязательствам, заложенным в Кодексе поведения для ответственного рыболовства и Конвенции по сохранению биологического разнообразия и других международных соглашениях по данной тематике.

4. Сохранение диких запасов

Уникальные дикие стада важных видов тилапии до сих пор существуют во многих частях Африки. Необходимо выделить приоритетные участки и присвоить им статус заповедников, в которых должно быть запрещено вселение чужеродных видов или генетически улучшенных линий.

5. Трансграничные проблемы перемещения рыб

Большинство вопросов, связанных с перемещением рыбы и использованием генетически модифицированных линий, типичны для многих стран Африки. Странам рекомендуется: (а) перенимать заграничный опыт эффективных стратегий и законодательства, по возможности применять их в своей национальной политике и при необходимости приводить их в соответствие; и (б) использовать существующие региональные органы или учреждать новые ведомства с целью координации управленческой деятельности с учетом экологической ситуации, в частности, трансграничных водоразделов.

6. Увеличение доступа к информации

Базовая информация по вопросам генетического разнообразия рыб, экологической целостности и аквакультуры существует, не являясь, однако, ни полной, ни доступной. Существующие механизмы сбора и распространения информации должны быть усовершенствованы.

7. Контроль перемещения патогенов

Международно признанные кодексы и протоколы по уменьшению риска трансграничного перемещения возбудителей (термин «возбудитель» включает также паразитические организмы) в результате перемещения рыб, в том числе, чужеродных видов, действительно существуют, однако в них рассматриваются конкретные проблемы, связанные с генетически улучшенными видами. Правительство и другие учреждения должны оценить существующие кодексы и протоколы по уменьшению риска трансграничного перемещения патогенов в результате перемещения рыб, включая чужеродные виды и генетически модифицированные линии, и адаптировать их к условиям Африки.

8. Повышение осведомленности о рисках интродукции рыбы

Политики, исполнительные органы, заинтересованные лица и широкая общественность должны быть информированы о вопросах в отношении и необходимости выбора политики по перемещению чужеродных и

генетически измененных видов. Эти вопросы должны остро стоять на национальной повестке дня.

9. Привлечение заинтересованных лиц

Некоторые важные для перемещения рыб стратегии сложны в исполнении, неизвестны пользователям, вызывают конфликт интересов или считаются ограничительными, в некоторой степени из-за того, что они были разработаны в условиях недостаточного участия и консультационной работы. Разработка политического подхода и законодательства по вопросам перемещения рыб должны стремиться вовлечь в этот процесс всех заинтересованных лиц. Помимо этого, правительства должны учредить совещательные группы, сотрудничающие с независимыми и компетентными специализированными организациями, такими как ФАО, IUCN (Международный союз охраны природы) и ICLARM (Международный центр по вопросам рационального использования живых водных ресурсов) (ныне WorldFish Center).

10. Ответственность за ущерб окружающей среде

Несмотря на экономические выгоды, приносимые предпринимателям в результате использования чужеродных и/или генетически модифицированных видов в аквакультуре, во многих случаях, получатели выгоды не несут ответственности за издержки, связанные в неблагоприятным воздействием на окружающую среду. Ввиду этого, законодательство по вопросам перемещения рыб и использования чужеродных и генетически модифицированных видов в аквакультуре должно предусматривать ответственность за причинение ущерба и восстановление ресурсов, а также включать принципы соответствия нормам (например, стимулирующие инициативы).

Настоящее техническое руководство было разработано в поддержку разделов Кодекса поведения ФАО для ответственного рыболовства по вопросам управления генетическими ресурсами в аквакультуре. В них содержится полезная информация по управлению маточными стадами, одомашниванию, программам генетического улучшения, программам вселения генетически модифицированной рыбы, экономическим аспектам программ генных модификаций, оценке рисков и мониторингу, рыболовству, базирующемуся на аквакультурных ресурсах, сохранению рыбных генетических ресурсов, генетическим банкам, профилактическому подходу и связям с общественностью. Эффективное управление генетическими ресурсами, оценка рисков и мониторинг могут содействовать продвижению ответственного рыбоводства путем повышения производительности и продуктивности и уменьшению неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Потребители, политики, ученые и другие заинтересованные лица должны быть информированы о преимуществах ответственного применения генетических принципов в рыболовстве и аквакультуре.

AQUACULTURE DEVELOPMENT

3. Genetic resource management

ISBN 978-92-5-406045-9

ISSN 1999-8821



I0283R/1/05.10/750