

УДК: 574.625

DOI 10.21661/r-559851

*В.А. Барановская, О.В. Нестерова*

## **ИНТРОДУКЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЫБ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ В ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

*Аннотация:* в статье представлены факторы, влияющие на постепенное исчезновение рыб промысловых видов, обитающих в водоёмах южной части России. Приведён перечень инвазивных болезней рыб в южных регионах, из-за которых происходит вымирание промысловых рыб. Проведён анализ данных о неконтролируемом вылове в южных регионах. Предложено решение по восстановлению численности рыб путём создания генетически модифицированной особи. Дано подробное описание возможностей современной генной инженерии с примером уже существующего лосося *AquAdvantage salmon* и анализ возможностей интродукции такой особи в естественные условия.

*Ключевые слова:* интродукция, генетически модифицированные организмы, лосось *AquAdvantage*, промысловые рыбы.

*Введение:* рыболовный промысел – один из древнейших способов добычи пропитания человеком. В наше время в рационе людей рыбы также занимают особое место, в частности в отдельных регионах.

Промысловая рыбы – это виды рыб, которые служат объектами для вылова человеком. Целями вылова могут являться: любительская рыбалка, вылов коммерческими организациями в пищевой промышленности, использование для изготовления сырья для биоорганических удобрений или различных аксессуаров. Из всего вышесказанного можем сделать вывод, что промысловой является та рыба, которая может быть использована в различных отраслях промышленности. Однако для того, чтобы определённый вид рыб признали промысловым, обязательными условиями являются стабильно высокая численность, а также спрос. В постановлении в области рыболовства и сохранения водных биологи-

ческих ресурсов Правительство Российской Федерации возложило обязанности на федеральные органы исполнительной власти.

1. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации.
2. Федеральное агентства по рыболовству.
3. Федеральную службу по ветеринарному и фитосанитарному надзору.

Однако многие промысловые виды находятся на грани исчезновения.

*Актуальность:* В данной статье рассмотрена возможность интродукции генетически модифицированных особей промысловых видов, распространённых на юге России, где рыболовство традиционно является важной частью хозяйственной деятельности человека, как способ восстановления численности промысловых рыб в водоёмах.

Выращивание промысловых рыб, устойчивых к болезням, в аквакультуре и их интродукция в естественные местообитания может решить проблемы получения достаточного количества рыбы как компонента рациона человека, восстановления экосистем, нарушенных вследствие вылова большого количества рыбы.

*Цель:* анализ научной документации, которая подтверждает актуальность проблемы потери рыбной продукции вследствие различных факторов.

*Материалы и методы:* в ходе исследования авторами использовался системный анализ контента литературы с использованием информационных платформ Pubmed, cyberleninka.ru, Elibrary.ru.

Многие промысловые рыбы на грани исчезновения по ряду факторов:

*Неблагополучная ситуация с болезнями рыб, бактериальными и инвазионными*

Ежегодные потери рыбной продукции по данным Международного эпизоотического бюро достигают в среднем 20%. В особых ситуациях ущерб от специфических заболеваний возможен значительно выше и достигать 70–90% [1].

Этот вопрос изучили наиболее глубоко в регионах с развитым рыбоводством. Это в первую очередь относится к регионам, расположенным на юге России. Для подробного изучения общей патологии рыб в условиях регионов с интенсивным рыбоводством был проведён анализ уровня заболеваемости пресноводных рыб в субъектах Федерации Поволжского региона [3]. Методом ретроспективного эпизо-

отологического исследования и анализа изучили и провели экспертную оценку нозологического профиля болезней рыб по данным ветеринарных лабораторий и специальных экспедиций по болезням рыб (табл. 1) [3]. Было выяснено, что в представленных регионах в основном встречаются 34 инвазионные болезни рыб: более 90% – гельминтозы, около 6% – арахноэнтомозы.

Прямое отношение рыб к открытым паразитарным системам оказалось весьма значительным и в открытых водоёмах составляет 16,2310,8%, доказывая высокий уровень экстенсивности.

Таблица 1

№; п/п	Нозединцы, на выявление возбудителей, которых проведены исследования	2000			2008			Σ; ρ±			Инцидентность (ЭИ в расчете на 10000 рыб)	Доля в общей патологии рыб
		Исследовано рыб	Выявлено экзempl. пораженных	%	Исследовано рыб	Выявлено экзempl. пораженных	%	Исследовано рыб	Выявлено экзempl. пораженных	ρ± %		
1.	Дифиллоботриоз	9434	-	-	10221	-	-	19655	-	-	-	-
2.	Ботриоцефалез	2166	29	1.3	2248	54	2.4	4414	83	1.9	190	0.33
3.	Гиродактнлез	785	12	1.5	482	11	2.3	1267	23	1.8	180	0.09
4.	Дактилиогириоз	1435	169	11.8	914	168	18.4	2349	337	14.3	1430	1.35
5.	Диграммоз	537	-	-	410	-	-	937	-	-	-	-
6.	Диплостомоз	14177	137	9.7	988	195	19.7	2405	332	13.8	1380	1,33
7.	Кавиоз	621	2	0.3	8019	21	3.4	1240	23	1.9	190	0,09
8.	Кариофилез	712	21	2.9	500	23	4.6	1212	44	3.6	360	0.18
9.	Лигулез	821	-	-	496	5	1.0	1317	5	0.4	40	0,02
10.	Митциноз	189	-	-	197	-	-	386	-	-	-	-
11.	Описторхоз	35116	351	1.0	17330	593	3.4	52446	949	1.8	180	3.81
12.	Памфоринхоз	356	3	0.8	320	1	0.3	676	4	0.6	11	0.02

13.	Посто-диплосто-моз	3408	923	27.1	2457	1064	43.3	5865	1987	33.9	3390	7.98
14.	Протео-цефалез	753	7	1.0	549	15	2.7	1302	22	1.7	170	0.09
15.	Рафидас-кариоз	536	-	-	335	15	4.5	871	15	1.7	170	0.06
16.	Тетрако-тилез	468	2	0.4	568	9	1.6	1036	11	1.1	110	0.04
17.	Трисмо-фороз	638	12	1.9	535	9	1.7	1173	21	1.8	180	0.09
18.	Филомет-роидоз	1134	2	0.2	1047	6	0.6	2181	8	0.4	40	0.04
19.	Эхино-ринхоз	371	-	-	1422	57	4.0	1793	57	3.2	320	0.23
20.	Прочие	17090	9495	55.6	17541	9701	55.3	34631	19196	55.4	5540	77.0
	Всего гельмин- тов								23117			92.90
21.	Баланти-доз	280	16	5.7	235	34	14,5	515	50	9.7	970	0.2
22.	Апиосо-моз	416	-	-	339	-	-	755	-	-	-	-
23.	Ихтиоар-тириоз	637	1	0.2	420	29	6.9	1057	30	2.8	280	0.2
24.	Миксос-поридоз	896	72	8.0	576	37	6.4	1271	109	8.6	860	0.44
25.	Полипо-диоз	408	1	0.2	293	1	0.3	701	2	0.3	30	0.01
26.	Трихо-диоз	882	45	5.1	608	62	10.2	1490	107	7.2	720	0.44
27.	Хило-донслоз	495	-	-	453	-	-	948	-	-	-	-
28.	Прочис прото-зоозы	431	11	2.6	501	18	13.4	932	29	3.1	310	0.12
29.	Аргулез	720	5	0.7	352	10	2.8	1072	15	1.4	140	0.06
30.	Лернеоз	894	76	8.5	573	125	21.8	1467	201	13.7	1370	0.80
31.	Писци-колез	634	25	3.9	314	9	2.9	948	34	3.6	360	0.14
32.	Симер-газилез	527	-	-	321	5	1.6	848	5	0.6	60	0.02
33.	Эргазилез	446	7	1.7	294	10	3.4	710	17	2.4	240	0.07
34.	Прочие арахно-энтомозы	515	8	1.6	1446	1169	80.8	1961	1177	60.0	6000	4.73
	n= 34	86135	11432	13.37	67288	13473	20.02	153426	24905	16.23	1623	100

Общая экстенсивная карповых рыб (паразитами) составляет 2.21%. На основании проведенных исследований установили, что из 34 паразитарных бо-

лезней рыб в открытых водоёмах Поволжского региона 19 (55,9%) регистрируются среди карповых рыб, из них 10 (29,4%) – гельминтозы, 6 (17,6%) – протозоозы, 3 (8,8%) – арахноэнтомозы [3].

#### *Неконтролируемый вылов*

Ещё одной проблемой, приводящей к исчезновению видов промысловых рыб, является неконтролируемый вылов.

Ярким примером является резкое сокращение запасов осетровых рыб на территории Каспийского и Азовского морей.

К семейству осетровых относятся: белуга (*Huso huso*), русский (*Acipenser gueldenstaedtii*) и сибирский (*Acipenser baerii*) осетры, шип (*Acipenser nudiventris*), стерлядь (*Acipenser ruthenus*) и другие.

Рыбы из семейства осетровых находятся под охраной государства. Для защиты и остановки процесса вымирания данного вида, Россия с 2005 года закрыла коммерческий промысел в Волге, а с 2007 года – в Каспийском море. С 2014 года все страны Каспийского бассейна договорились о прекращении промышленного промысла осетровых. *Браконьерство* является одной из крупнейших причин исчезновения данного семейства, которое к моменту легального закрытия промысла, превысило его в 30 раз. Второй причиной служило *хозяйственное развитие бассейнов нерестовых рек*. Оно поспособствовало сокращению нерестовых площадей [10].

Практически каждый из 6 видов осетровых в Волжском бассейне утратил более половины своей среды обитания. Рост промысла и слабая репродуктивность этих рыб, с развитием хозяйственной деятельности, ограничивающей территории нереста осетровых, привели к тому, что уже в конце 20 века это семейство было признано одним из вымирающих [11].

Особенно стремительное снижение количества осетровых в Каспийском море и промысловых уловов в российских водах наблюдалось с 1991 года и сопровождалось увеличением доли нелегального вылова. В 1989–1992 годах нелегальный вылов русского осетра в водах России превышал легальный в 1,2 раза, а в 1993–1996 годах превышение было уже в 3 раза, в 1998 году и во-

все в 12 раз [6]. В период запрета промысла белуги в 2010 нелегальный вылов превышал официальный в 76 раз, а в 2011 году – в 127 раз. Нелегальный вылов севрюги в 1999 – 2004 годах, перед вступлением в силу запрета на её промысел, был в 12 раз больше легального, а общий вылов белуги, русского осетра и севрюги превышал официальный вылов в 35 раз [7].

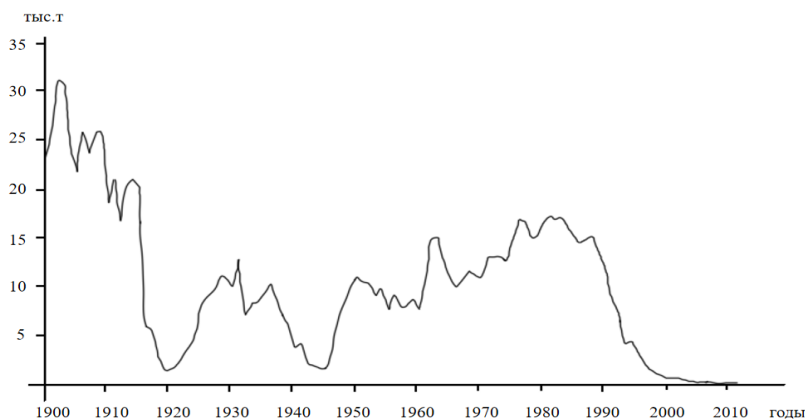


Рис. 1. Уловы осетровых рыбаками России [2, 4]

Соотнося приведённые оценки с данными промысловой статистики (рис. 1), становится ясно, что годы перед запретом промысла этих видов (русский осётр, севрюга) и годы запрета (белуга) близки к максимальным величинам промысловых уловов в 1978–1988 годов. Даже после введения запрета, подкреплённого слабой охраной, нужный результат не был достигнут и легальный промысел был сменен нелегальным [2].

Такую глобальную проблему было бы возможно разрешить разведением генетически модифицированных рыб. Выращивание таких рыб уже практикуется на нескольких крупных рыбоводческих фермах мира. Наиболее известен атлантический лосось (*Salmo salar*), который благодаря генной инженерии достигает веса 4.5 кг за 18 месяцев. Данные особи выращиваются только на фермах, и при достижении половой зрелости химически стерилизуются, чтобы при случайном попадании в дикие экосистемы не нарушить баланс. Уже существующие промысловые виды созданы исключительно в целях продажи и выращи-

ваются на фермах. При их создании основной акцент делается на улучшении вкусовых свойств и ускорении роста.

*AquAdvantage salmon* – это генетически модифицированный атлантический лосось, разработанный в 1989 году американской компанией *AquaBounty Technologies*. Типичный ген, регулирующий гормон роста у атлантического лосося, был заменён геном, регулирующим гормон роста у тихоокеанского чавычи (крупнейший из тихоокеанских лососей, средний размер – 90 см), с промоторной последовательностью из океанического лосося. Благодаря этому гену генетически модифицированный лосось растёт весь год, а не только весной и летом [5]. Этот лосось является коммерчески конкурентоспособной альтернативой лосося, выловленному в дикой природе. Цель изменений – *увеличить скорость роста рыбы*, не влияя на её конечный размер или другие качества. Выращиваемый на рыбоводных фермах атлантический лосось уже улучшил показатели роста по сравнению с дикой рыбой в результате традиционных методов селекционного разведения. Однако этот генетически модифицированный лосось способен расти еще быстрее и достигать размера, пригодного для продажи, всего за 16–18 месяцев, вместо привычных трёх лет.

*AquAdvantage salmon* был разработан в 1989 году путем добавления единственной копии *конструкции opAFP-GHc2*, которая состоит из промоторной последовательности американской бельдюги (морская донная рыба семейства бельдюговых), руководящей выработкой белка гормона роста, с использованием кодирующей последовательности чавычи.

Стабильность новой конструкции ДНК лосося *AquAdvantage* была протестирована и проанализирована, не было обнаружено никаких мутационных эффектов во время вставки в других генах.

Эти генетически модифицированные рыбы были скрещены (протокол разведения в двух поколениях, который начинается с создания гибридного потомства между двумя инбредными штаммами, один из которых несет интересующую мутацию) с атлантическим лососем дикого типа, и генетически модифи-

цированная последовательность гена EO-1 $\alpha$  была идентична со второго по четвертое поколения, указывающие на то, что вставка стабильна [5].

Лосось AquaAdvantage имеет триплоидный набор хромосом. Триплоидия у данных представителей, полученная путём обработки икры, делает рыбу стерильной, снижает риск скрещивания с дикой рыбой в случае, если генетически модифицированная рыба окажется в дикой природе.

Микроинъекция ДНК в пронуклеус зигот и клонирование в наше время являются методами, с помощью которых возможно получение сельскохозяйственных животных-продуцентов, носящих трансген во всех клетках и передающих его следующим поколениям (рис.2).

Получение триплоидной самки: икринки гомозиготных самок по трансгену EO-1 $\alpha$  оплодотворяются спермой неродственного вида рыб, предварительно облучённой ультрафиолетовым излучением. Данная сперма служит для активации икры. Шок давлением останавливает экструдию 2-го редукционного тельца, что приводит к получению диплоидного организма. Полученных мальков после обрабатывают гормоном тестостероном, превращая их в «неосамцов» (самками по генотипу, но самцами по фенотипу). Затем сперму получившихся «неосамцов» смешивают с икрой обычной самки лосося. Икра снова подвергается шоку давлением, вызывая остановку экструдии 2-го редукционного тельца. В результате получают триплоидные самки с единичной копией трансгена [9].

#### *Выживаемость*

Говоря о выживаемости в новой среде, следует отметить, что генетически модифицированная рыба способна быстро приспособиться к новому корму при переходе в новые условия обитания. Эта адаптация вызывает серьёзный риск, если генетически модифицированная рыба попадёт в естественную среду обитания. Генетически модифицированные особи выбиваются из пищевой цепочки, соответственно предполагается, что их выживаемость выше [12].

#### *Скорость роста*

Лосось AquaAdvantage способен к более эффективному усвоению пищи, в отличие от диких представителей. В течение первого года после появления из



икры скорость его роста в 11 раз быстрее. Это позволяет генетически модифицированному лососю раньше достигать половой зрелости и давать потомство раньше достижения двух лет (приблизительно 700 дней). Но результаты исследования выявили, что более быстрое созревание не является преимуществом в размножении над дикими представителями [13].

#### *Смолтификация*

Генетически модифицированный лосось достигает стадии смолта уже на первом году жизни, что способствует более быстрому переводу смолта линии AquaAdvantage на нагул в морские садки. Ранее попадание в океан позволяет модифицированному лососю получать больше корма, но при этом конкуренции с диким лососем не происходит [14].

#### *Решение экологической проблемы*

Возможные экологические опасности модифицированной рыбы компания AquaBounty предотвратила выращиванием исключительно стерильных самок. Большинство беглецов не способны к спариванию другими особями, так как обработка икры на ранних стадиях развития привела к триплоидии в 98.9% случаев. Партии с более 5% диплоидных особей подвергаются уничтожению.

#### *Заключение*

При анализе соответствующих источников научной литературы, можно сделать вывод, что в настоящее время многие виды промысловых рыб нуждаются в восстановлении популяций вследствие воздействий внешних факторов, таких как инвазионные болезни и неконтролируемый вылов. Существует возможность создания генетически модифицированной рыбы, позволяющей решить проблему исчезновения промысловых особей.

#### *Список литературы*

1. Петришко В.Ю. Инвазионные заболевания промысловых рыб, регистрируемые в акватории ростовской области / В.Ю. Петришко, Г.Д. Фирсова // Вестник аграрной науки. – 2017. –71 с.

2. Рубан Г.И. О состоянии осетровых в России / Г.И. Рубан, Р.П. Ходоревская, В.Н. Кошелев // Астраханский вестник экологического образования. – 2015. – С. 44–45.

3. Померанцев Д.А. Эпизоотический анализ и экспертная оценка формирования нозологического профиля инфекционной инвазионной патологии рыб в различных регионах России / Д.А. Померанцев, В.В. Сочнев, О.Л. Куликова. – С. 162–166.

4. Власенко А.Д. Проблемы воспроизводства запасов осетровых в Волге / А.Д. Власенко // Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна: материалы конференции. – С. 72–76.

5. Yaskowiak ES. Characterization and multi-generational stability of the growth hormone transgene (EO-1 $\alpha$ ) responsible for enhanced growth rates in Atlantic Salmon / ES Yaskowiak, MA Shears, A Agarwal-Mawal Fletcher. – pp. 465–480.

6. Зыкова Г.Ф. Оценка неучтённого и браконьерского вылова русского осетра в р. Волге и Каспийском море / Г.Ф. Зыкова, О.Л. Журавлева, Е.В. Красиков // Осетровые на рубеже 21 века: материалы конференции. – С. 54–56.

7. Бобырев А.Е. Биотическое сообщество Северного Каспия: проблемы управления биологическими ресурсами / А.Е. Бобырев, В.А. Бурменский, Е.А. Криксунов [и др.]. // Успехи соврем. биол. –Т. 129. №6. – С. 589–609.

8. Рубан Г.И. Многолетняя динамика распределения осетровых в северной части каспийского моря / Г.И. Рубан, Р.П. Ходоревская, М.И. Шатуновский. – С. 270–272

9. Vodnar A. Risk Assessment and Mitigation of AquAdvantage Salmon / A. Vodnar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biofortified.org/2010/10/salmon/> (дата обращения: 23.05.2023).

10. Бачинская В.М. Основные виды промысловых рыб / В.М. Бачинская, Д.В. Гончар, Ю.Г. Юденюк. – 2022. – С. 126–127.

11. Аманов Ш.М. Состояние осетровых рыб в каспийском море / Ш.М. Аманов, Е.В. Евдокимов. – 2022. – 16 с.

12. Sundström F. Sustained predation effects of hatchery-reared transgenic coho salmon *Oncorhynchus kisutch* in semi-natural environments / F. Sundström. // Journal of Applied Ecology. – 2009. – pp. 762–769.

13. AquAdvantage лосось [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aquavitro.org/2017/08/21/aquadvantage-losos/> (дата обращения: 24.05.2023).

14. Moreau D. Enhanced growth reduces precocial male maturation in Atlantic salmon / D. Moreau, I. Fleming – 2011. – pp. 736–748.

15. Эпизоотологический анализ и экспертная оценка формирования нозологического профиля инфекционной и инвазионной патологии рыб в различных регионах России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/epizootologicheskij-analiz-i-ekspertnaya-otsenka-formirovaniya-nozologicheskogo-profilya-infektsionnoy-i-invazionnoy-patologii-ryb-v> (дата обращения: 24.05.2023).

---

**Барановская Валерия Алексеевна** – студентка, Ресурсный центр «Медицинский Сеченовский Предуниверсарий» ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова», Россия, Москва.

**Нестерова Ольга Владимировна** – д-р фармацевт. наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, Москва.

---