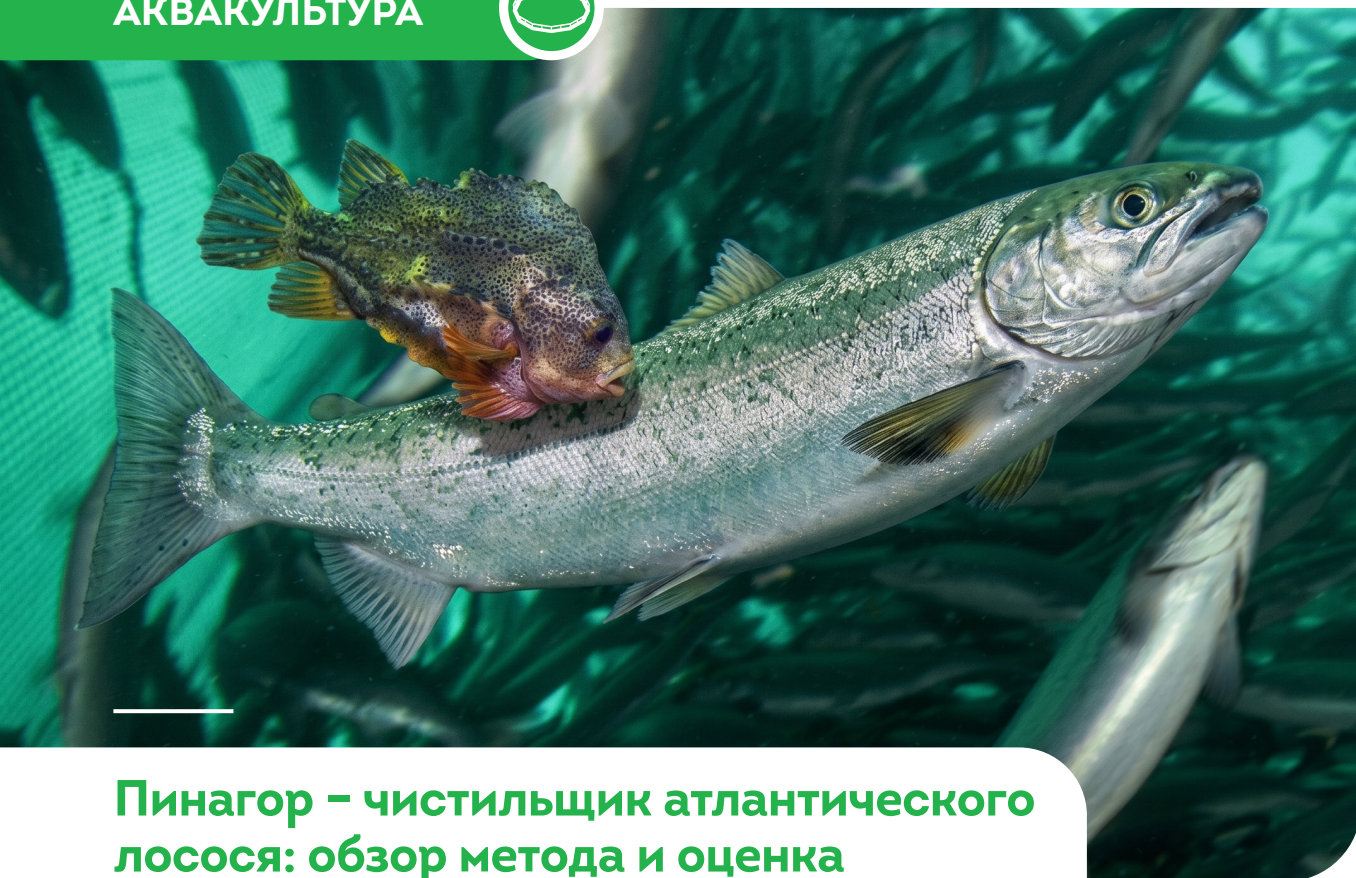




Пинагор – чистильщик атлантического лосося: обзор метода и оценка перспектив его внедрения в российскую аквакультуру

Научная статья
УДК 639.3

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-112-121>
EDN: GORGJZ

Русяев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории промысловых беспозвоночных, Магаданский филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО»), Магадан, Россия.

E-mail: rusyayevsm@magadan.vniro.ru

Бакай Юрий Иванович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры и болезней гидробионтов, Полярный филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО»), Мурманск, Россия.

E-mail: bakay@pinro.vniro.ru

Адреса:

1. Магаданский филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО») – Россия, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 36/10.
2. Полярный филиал Государственного научного центра Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО») – Россия, 183039, г. Мурманск, ул. Академика Книповича, 6.

Аннотация. Интенсивное развитие мирового товарного лососеводства привело к возникновению ряда технологий, среди которых особняком стоит использование рыб-чистильщиков для борьбы с паразитарными инвазиями. Таким видом рыб в марикультуре стал пинагор *Cyclopterus lumpus*, особям которого, при совместном выращивании, свойственно поедание эктопаразитических ракообразных с поверхности тела атлантического лосося (семги) *Salmo salar*. В данном обзоре рассмотрены достижения зарубежного рыбного хозяйства в выращивании пинагора-чистильщика и его дальнейшем совместном содержании с атлантическим лососем в морских садках. Получен индикативный показатель результативности внедрения такой биотехнологии в товарное лососеводство. Рассчитан рекомендуемый объем производства пинагора для российской марикультуры на Кольском Севере. Указано на необходимость учета климатических изменений в этом арктическом регионе и выбора пути внедрения данного метода в сложившихся геополитических условиях.

Ключевые слова: аквакультура, атлантический лосось *Salmo salar*, пинагор *Cyclopterus lumpus*, удаление эктопаразитов, Баренцево море

Для цитирования: Русяев С.М., Бакай Ю.И. Пинагор – чистильщик атлантического лосося: обзор метода и оценка перспектив его внедрения в российскую аквакультуру // Рыбное хозяйство. 2026. № 3. С. 112-121. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-112-121>

LUMPFISH AS A CLEANER FOR ATLANTIC SALMON: A REVIEW OF THE METHOD AND ASSESSMENT OF PROSPECTS FOR ITS IMPLEMENTATION IN RUSSIAN AQUACULTURE

Sergey M. Rusyaev – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Commercial Invertebrates, Magadan Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Magadan, Russia

Yuri I. Bakay – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Aquaculture and Diseases of Aquatic Organisms, Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Murmansk, Russia

Addresses:

1. **Magadan Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography** – Russia, 685000, Magadan, Portovaya St., 36/10
2. **Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography** – Russia, 183039, Murmansk, Akademika Knipovicha St., 6

Annotation. The intensive development of global commercial salmon farming has led to the emergence of a number of technologies, among which the use of cleaner fish to combat parasitic infestations stands out. Such a type of fish in mariculture has become the lumpfish *Cyclopterus lumpus*, whose individuals, when grown together, tend to eat ectoparasitic crustaceans from the body surface of Atlantic salmon (salmon) *Salmo salar*. This review examines the achievements of the foreign fisheries sector in the cultivation of cleaner lumpfish and its further joint maintenance with Atlantic salmon in marine cages. An indicative indicator of the effectiveness of the introduction of such biotechnology into commercial salmon farming has been obtained. The recommended production volume of lumpfish for Russian mariculture in the Kola North has been calculated. It is pointed out that it is necessary to take into account climate changes in this Arctic region and choose a way to implement this method in the current geopolitical conditions.

Keywords: aquaculture, Atlantic salmon *Salmo salar*, lumpfish *Cyclopterus lumpus*, removal of ectoparasites, Barents Sea

For citation: Rusyaev S.M., Bakay Yu.I. 2026. Lumpfish as a cleaner for Atlantic salmon: a review of the method and assessment of prospects for its implementation in Russian aquaculture // Fisheries. No. 3. Pp. 112-121. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-112-121>

Рисунки и таблица – авторские / The drawings and table were made by the author

Морское товарное лососеводство демонстрирует стремительный рост в последние десятилетия. Объем выращиваемого атлантического лосося (семги) *Salmo salar* увеличился с нескольких тысяч тонн в начале 1980-х годов до 2,71 млн т в 2023 г. [1]. Положительная динамика объема потребления лосося в Европе и Америке, а с недавних пор и в Азии, и как следствие рост его производства приводят к снижению устойчивости этого бизнеса, в том числе из-за массовых заболеваний рыбы [2].

Так, процесс укрепления здоровья лососевых в неизолированной системе морских садков требует адаптации методов профилактики и лечения заболеваний рыбы: выявление причины и возбудителей болезней, внесение антибиотиков через корма, частое очищение и перемещение садков по акватории и т.п. Известно, что значительный ущерб морским лососевым хозяйствам наносит так называемая морская вошь («sea lice») – представитель паразитических веслоногих ракообразных (Copepoda: Caligidae) [3; 4], обитающих на теле многих рыб морей Северной Атлантики (СА) и Северного Ледовитого океана (СЛО) [5]. В аквакультуре, где плотность содержания рыбы многократно выше, чем в естественных сообществах, эти паразиты имеют прекрасную возможность воспроизведения потомства и поддержания своей высокой численности, вызывая значительный рост степени инвазии выращиваемой рыбы. Вред, причиняемый такими эктопаразитами при массовом заражении лосося, исчисляется миллионами долларов США [6].

Атлантического лосося инвазируют копеподы преимущественно двух видов: чаще – *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837), являющаяся специфичным для лососевых паразитом (рис. 1), реже – *Caligus elongatus* Nordman, 1832 – бореальный вид-космополит. Они, как и прочие паразитические ракообразные, имеют прямой жизненный цикл (проходит без участия промежуточных хозяев), предполагающий прямое поселение на доступной рыбе вылупившихся из яиц метанауплиусов копеподы. Патогенное влияние этих эктопаразитов выражено в повреждении кожи рыбы-хозяина, нарушающего ее защитную функцию [7]. Это вызывает развитие оппортунистических бактериальных инфекций, микозных и вирусных заболеваний, значительное ухудшение товарного вида, замедление темпа роста и нередко гибель выращиваемого лосося.

Традиционные методы профилактики и борьбы с такими паразитарными инвазиями оказались малоэффективными из-за невозможности изолировать рыбу в садках для исключе-

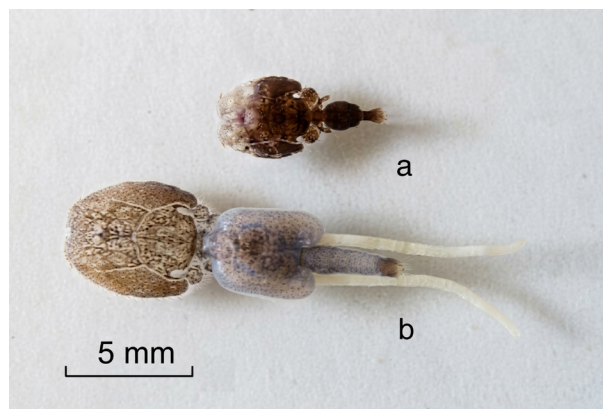


Рисунок 1. Предвзрослая (а) и зрелая особь (б) копеподы *Lepeophtheirus salmonis*

Figure 1. Pre-adult (a) and mature individual (b) of the copepod *Lepeophtheirus salmonis*

ния ее заражения этими копеподами, свободно расселяющимися в толще воды. Применение для лечения лосося емкостей с обеззараживающим раствором и прочих химических агентов, таких как дифлурбензурон («diflubenzuron») и иных, добавляемых в корма, привело к выработке резистентности паразитических ракообразных к ожидаемому воздействию этих препаратов [8], а при их передозировке могло вызывать отравление и массовую гибель рыбы.

Поиск способов борьбы с этой паразитарной инвазией в странах с развитой марикультурой продолжен в направлении механической защиты [9] и биологической очистки лосося от таких ракообразных, основанной на свойстве рыб некоторых видов объедать/питаться эктопаразитами других рыб, получивших название рыб-чистильщиков («cleaner fish»). Этот метод основан на симбиотическом сосуществовании рыб двух видов, имеющем признаки мутуализма (выгодно для обоих видов).

Цель данной работы – оценка возможности внедрения в отечественную марикультуру метода применения пинагора в качестве эффективного «чистильщика» атлантического лосося от эктопаразитов. Для ее достижения выполнен анализ данных из открытых источников по результатам многолетнего использования такой биотехнологии в странах западной Европы с развитой аквакультурой.

ОБЗОР МЕТОДА

Способность поедать эктопаразитов на рыбе других видов известна для некоторых теплолюбивых видов морских рыб [10]. Для холодноводной марикультуры такое свойство отмечено в конце XX столетия у обитающего в прибрежных водах морей СА и СЛО пинагора

(*Cyclopterus lumpus* L., 1758) – известного объекта лова для получения деликатесной икры [11]. Европейские ученые обладали актуальными знаниями по экологии пинагора до старта отработки этой рыбоводной инновации. В начале XXI столетия ими опубликованы итоги исследований поведения и питания молоди пинагора, включающие устойчивый поиск ею сидячих и малоподвижных кормовых объектов [12; 13]. Выявленные свойства этого вида были подтверждены в ходе работ на частной норвежской исследовательской станции GIFAS. Установлено, что термический преферендум обитания пинагора значительно шире, чем представлялось. Он чувствует себя хорошо не только при низкой температуре, благодаря действию своих ферментов-антифризов [14], но способен выдерживать температуру до 18 °C [15]. Такая особенность позволила использовать пинагора как «чистильщика» лосося от эктопаразитов в широком температурном диапазоне на морских садковых линиях у побережья Норвегии, имеющего значительную широтную протяженность, а также – Британских и Фарерских о-вов [16].

Преимущество пинагора также в округлом теле, усеянном многочисленными шипиками, сводящими к минимуму поедание его молоди лососем. Важное технологическое достоинство пинагора – его биология и экология: нерест и развитие молоди проходят на прибрежных мелководьях, обеспечивая успех его выращивания. Проанализировав совокупность свойств этого вида, норвежские исследователи приступили к разработке технологии его выращивания и последующего содержания в садках с лососем. Ими выявлены лучшие термические и реологические условия содержания молоди пинагора [17] и ее оптимальные размеры при содержании с семгой [18]. Определены показатели эксплуатационного благополучия (OWIs – operational welfare indicators) и уточнены параметры содержания пинагора [19]. Установлен оптимальный режим перевода молоди с питания гранулированными кормами на живые, выполнена отработка субстратов для её содержания [20; 21].

Технологическая схема выращивания пинагора в странах Европы основана на береговом способе производства его молоди в рециркуляционной системе морской воды [22]. Икру пинагора оплодотворяют в марте-апреле и за 12 месяцев получают молодь массой 50-60 гр., для питания которой используют корма известных марок «Gemma» и «Otohime» [23]. Далее проводят адаптацию рыб к условиям морского садка, где проходит важный этап их перехода на другой (ожидаемый) тип питания.

Ключевая особенность следующего этапа биотехнологии (рис. 2) – соблюдение оптимальной массы тела молоди пинагора при содержании в садках с лососем, позволяющей не снижать экономически целесообразную плотность посадки лосося и сохранять максимальную эффективность использования пинагора-чистильщика. Так, подсадку молоди пинагора в лососевые садки проводят при ее массе 50-100 гр. в соотношении рыб около 1:200. Особи пинагора массой более 300 гр. перестают эффективно питаться паразитическими копеподами [24] и должны заменяться на более молодых рыб.

Разработчикам этой биотехнологии, при указанной схеме ее реализации, не удается достичь полной адаптации молоди пинагора к садкам с лососем и снижения до минимума его смертности, происходящей из-за транспортировки, сортировки, инфекций и перепада температуры воды. Однако авторы большинства обзоров указывают на не критичность этих факторов и успешность разработки такого метода выращивания пинагора.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для обзорной части работы стали зарубежные публикации по указанной теме. Для оценки перспектив внедрения (экономической целесообразности) анализируемого метода рассчитан ожидаемый эффект (результативность) с использованием формулы Д. Киефера (D. Kiefer), обычно применяемой для первичных оценок внедрения инноваций в условиях минимума информации [25]:

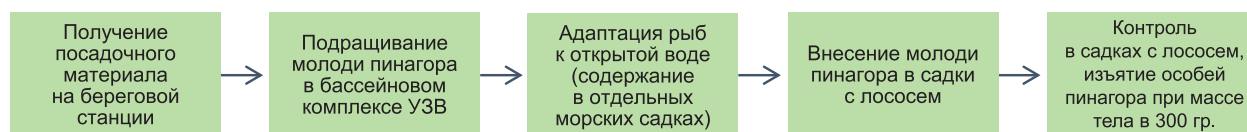


Рисунок 2. Общая схема процессов использования пинагора-чистильщика при садковом выращивании атлантического лосося

Figure 2. General scheme of the processes of using a lumpfish-cleaner in cage farming of Atlantic salmon



Молодь пинагора-чистильщика

$$E = (R_t \cdot R_c \cdot G) / (K (K_1 + K_2)) \quad (1),$$

где: R_t – вероятность получения данного технического результата,

R_c – вероятность получения данного коммерческого результата,

G – ожидаемый общий доход,

K – общие затраты на предложенный проект,

K_1 – затраты на создание технологии,

K_2 – затраты на выращенный объем первой генерации рыбы-чистильщика,

E – ожидаемый эффект (проект считается заслуживающим внимания, если $E > 2$).

Данный расчёт призван указать на результативность внедрения такой инновации в марикультуру лосося Мурманской области и выполнен на основе зарубежных данных, включая результаты деятельности компании «Ocean Matters» (Великобритания), выращивавшей пинагора в 2015-2019 гг. как чистильщика рыбы от эктопаразитов в лососеводстве [26]. Ожидаемый общий доход (G) от применения этого метода определен как стоимость ущерба, наносимого товарному лососеводству паразитическими копеподами в западной Европе: 0,1 EUR на 1 кг производимого лосося [27]. Последующие стоимостные оценки выполнены по курсам используемых валют в 2017 г. с целью снижения инфляционного фактора времени. Оптимальную массу 1 особи выращиваемого лосося при содержании с 1 экз. пинагора приняли в 2 кг.

Общие затраты на проект адаптации (K) такого метода рассчитаны как сумма стоимости создания технологии (K_1) и стоимости первой (промышленной) генерации молоди пинагора (K_2). Величина K_2 определена на основе данных по рыночной цене 1 экз. пинагора-чистильщика в аквакультуре, составившей 18 норвежских крон (NOK) [28] или 1,53 EUR по среднегодово-

му курсу 2017 года. Поскольку оценка результативности применения этой биотехнологии проведена индикативно, показатели R_t (0,95) и R_c (0,75) оценены экспертно, а их оптимистическая величина учитывает опыт, приобретенный компанией «Ocean Matters». Представленные фото рыб и паразитов получены из доступных источников сети интернет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка результативности биотехнологии. Согласно нашей экспертной оценке, стоимость внедрения такого метода выращивания пинагора коллективом (пять человек) научных работников за 5-летний период составила не менее 2 млн фунтов стерлингов (2,33 млн EUR по среднегодовому валютному курсу 2017 г.). Эта величина затрат (принята как K_1 -стоимость технологии) складывается главным образом из оплаты труда научной группы и создания экспериментального технического модуля (береговое бассейновое предприятие и морские садки) указанных рыбоводных процессов. Учитывая ежегодный мировой ущерб, наносимый товарному лососеводству массовым заражением паразитическими рачками сем. Caligidae [29], предполагаемая величина таких затрат полностью оправдана.

Полагаем, что стоимость выращивания молоди пинагора (K_2) невелика из-за его технологических качеств и востребованности на огромном рынке производства лососевых. Так, компания «Ocean Matters» ежегодно выращивала не менее 2 млн экз. молоди пинагора для лососевых хозяйств Шотландии, указывая, что для необходимого удвоения объема ее производства достаточно инвестиций лишь в 0,5 млн фунтов стерлингов (или 0,57 млн EUR по среднегодовому курсу 2017 г.), демонстрируя низкую стоимость этого процесса (табл.).

Результаты расчёта по формуле Киефера свидетельствуют, что значение показателя результативности внедрения данной биотехнологии в Великобритании составила 19,6(!), многократно превысив величину (2,0), позволяющую принять положительное решение о внедрении инновационного метода [25]. Выполненный расчёт не лишен недостатков из-за наличия коммерческой тайны, скрывающей производственную и экономическую информацию компаний, выращивающих пинагора и лосося, однако служит оправданной демонстрацией высокой результативности внедрения этой биотехнологии. Уже в 2019 г. эта компания была куплена британским подразделением норвежской группы «Mowi» [26], являющейся мировым лидером рынка выращиваемых лососевых, что также служит подтверждением результа-

Таблица. Фактические и расчетные экономические показатели компании «Ocean Matters» при выращивании пинагора для марикультуры атлантического лосося / **Table.** The actual and estimated economic indicators of «Ocean Matters» in the cultivation of lumpfish for mariculture of Atlantic salmon

Количество выращиваемого пинагора-чистильщика, млн экз.	Количество лосося, «обслуживаемого» пинагором, млн экз.	Экономические показатели, млн EUR		
		Стоимость технологии (K_1)	Себестоимость выращенного объема пинагора-чистильщика (K_2)	Вероятный годовой доход (G , недопущение потерь лососевых ферм) при расчетном объеме выращивания пинагора
2,0	400,0 (800 млн кг)	~2.33	~0.57	~ 80,0

тивности данного метода. Подтверждением экономической целесообразности выращивания пинагора в качестве чистильщика лосося от эктопаразитов служит также синхронный старт его выращивания в Норвегии, Великобритании, Ирландии и на Фарерских о-вах, где к 2018 г. совокупно производили около 60 млн экз. молоди пинагора в год [30].

очистки рыбы «FLS» требуют задействования специальной плавучей платформы, импортного оборудования и дополнительных энергозатрат, предполагающих недешевую альтернативу использования пинагора-чистильщика. Слабым местом реализации метода механиче-



Лосось, пораженный копеподой *Lepeophtheirus salmonis*

Отсутствуют достоверные данные об эффективности используемой российской компанией «Инарктика» в Мурманской области системы активной механической очистки лосося от эктопаразитов [31]. На сайте ее разработчика – норвежской компании «Flatsetsund Engineering AS» – не приведены сравнительные данные с технологией применения пинагора-чистильщика. Установки механической

очистки лосося для российских компаний является также зависимость от зарубежной техники, оборудования и комплектующих из недружественных стран. Кроме того, механическая очистка от эктопаразитов приводит к травмированности рыбы и служит значимым стресс-фактором при ее выращивании.

Предварительная оценка целесообразности внедрения инновационного метода в РФ. Согласно имеющимся данным и выполненным расчетам, объем выращивания пинагора-чистильщика для биологической защиты атлантического лосося, даже при использова-



Рисунок 3. Пинагор (слева), объедающий рачков *Lepeophtheirus salmonis* с поверхности тела лосося

Figure 3. Lumpfish (left) eating the crustaceans *Lepeophtheirus salmonis* from the surface of a salmon's body

нии грубого подхода (линейная экстраполяция по объему выращивания компанией «Ocean Matters»), составит для лидера российского производства лосося компании «Инарктика» 75 тыс. экз. молоди пинагора. Это позволит проводить ежегодную очистку от эктопаразитов 64 млн экз. лосося, что эквивалентно 30 тыс. т. его годовой товарной продукции, запланированной к производству этой компанией в ближайшие годы [31] (рис. 3).

Целесообразность внедрения данной инновации на Кольском Севере, учитывая дефицит производственно-экономической информации, не вполне однозначна. Первая причина – в сравнении с соседней Норвегией, объем морского выращивания лосося у побережья Мурмана пока недостаточно велик для положительного решения о росте затрат на дополнительные санитарно-мелиоративные мероприятия. Хотя, по неофициальным данным, в конце 1990-х годов норвежские производители аквакультурной продукции были вынуждены тратить до 30% средств бюджета на борьбу с болезнями выращиваемой рыбы и их профилактику. Вторая причина – более низкая, чем у побережья Норвегии, температура воды в заливах западного Мурмана, что может способствовать уменьшению степени влияния на лосося указанного паразитарного заболевания. Общеизвестно, что высокая плотность содержания рыбы и рост температуры воды способствуют успешному развитию и расселению рачков-копепод сем. Caligidae, приводя к значительному увеличению степени инвазии ими рыбы, повышающему губительное воздействие на выращиваемый объект [4]. Поэтому известное многолетнее устойчивое

потепление вод южной части Баренцева моря [33], продолжившееся в 2024–2026 гг., является реализующимся риском значимого роста зараженности и патогенного воздействия паразитических ракообразных на лосося, производимого у побережья Мурмана.

Наиболее активными переносчиками паразитических копепод сем. Caligidae служат массовые тресковые (треска, пикша, сайда) и лососевые (семга, горбуша), совершающие сезонные миграции вдоль побережья северной Норвегии и Мурмана, а также – обитающие здесь камбаловые и скаты [32]. Продолжающееся потепление баренцевоморских вод [33] может приблизить миграции указанных рыб к берегам Мурмана и способствовать расширению наибольшей их сезонной плотности с акватории у северной Норвегии к мурманскому побережью [34]. Это приведет к активному расселению паразитических копепод на участках размещения увеличивающих свое число отечественных лососевых ферм, вызывая у их обитателей еще большие негативные последствия от этой паразитарной инвазии. Так, по данным Национального союза агростраховщиков, страховая выплата российским компаниям в 2024 г. за массовую гибель поголовья рыбы, вызванной вспышкой ее зараженности лососевой вшей, составила 1,1 млрд рублей [35].

Таким образом, текущий уровень эколого-паразитарной безопасности выращивания лосося отечественными компаниями может стать недостаточным. Рентабельность их бизнеса пока выше, чем у иностранных конкурентов, позволяя уделить внимание повышению степени безопасности производства с целью предотвращения значительного ущерба от проявления новых рисков. Известный девиз «предупрежден – значит вооружен» актуален как никогда для своевременных инвестиций в развитие лососеводства.

В отличие от механической очистки рыб, зараженных копеподами, биотехнология применения рыб-чистильщиков подразумевает большую экономическую эффективность. Так, молодь пинагора, достигшая массы 300 гр. может быть использована для пополнения его природной популяции и последующего возобновления промысла пинагора у берегов Мурмана, прекращенного в начале этого столетия из-за нестабильной сырьевой базы [11]. Двойное целеполагание при выращивании пинагора может увеличить отдачу компании-производителя, расширяя ей спектр использования морских прибрежных биоресурсов.

Также следует сознавать, что использование метода биологической очистки лосося от инвазии эктопаразитов способствует улучшению его здоровья и повышению качества произво-

димой продукции, поскольку выращиваемая рыба не подвержена отрицательному воздействию и накоплению добавляемых в ее корма лечебных химических препаратов. К тому же, их использование, как указывалось [8], малоэффективно из-за выработки у паразитов устойчивости к «лечебному» эффекту.

При желании заполярных производителей лосося внедрить предлагаемую биотехнологию, осуществить её способна коллаборация учёных ФГБНУ «ВНИРО» и Мурманского арктического университета, где тема выращивания пинагора-чистильщика рассматривалась ранее [36]. Внедрение этого метода возможно и собственными силами компаний «Инарктика» и «Русский лосось», располагающих необходимой инфраструктурой в Мурманской области и подразделениями R&D (research and development).

Созданная в западной Европе биотехнология использования пинагора-чистильщика для товарного лососеводства демонстрирует актуальность и результативность последовательных исследований. В этой связи важно отметить, что отсутствие финансирования научных береговых морских баз на Кольском Севере отдалило рыбохозяйственную науку от разработки и внедрения перспективных технологий в отечественную аквакультуру.

К организации научно-производственных проектов в марикультуре. При отсутствии в текущий период международного сотрудничества возможным вариантом реализации технологии является ее реверс-инжиниринг (повтор, копирование, имитация). Такой подход как правило успешен, так как требует значительно меньших материальных затрат и времени на воспроизводство технологии. Не всегда воссоздаваемый продукт или технология достигают совершенства, но часто процесс реверс-инжиниринга обогащает знаниями компании, отрасли и страны, создавая заделы для их развития [37]. Опыт реверс-инжиниринга технологий становится важной частью бизнес-стратегий российских компаний [38] в сельском хозяйстве, машиностроении, нефтегазовой отрасли и актуален в рыбном хозяйстве [39]. В настоящее время реверс-инжиниринг как инструмент повышения конкурентоспособности российских компаний часто опирается на гранты Агентства по технологическому развитию (АТР, входит в ВЭБ.РФ). Внедрение предлагаемой нами биотехнологии может быть осуществимо при реализации национального проекта «Технологическое обеспечение биоэкономики». В его рамках Минпромторг РФ провел в 2025 г. прием первых заявок на субсидии для реализации НИОКР сроком исполнения в три года [40].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 20 лет, прошедших после подтверждения уникальных свойств пинагора удалять/поедать эктопаразитов с тела атлантического лосося, зарубежная наука и аквакультура продвинулись далеко вперед. Так, разработаны протоколы отдельного выращивания молоди пинагора, кормовые рационы и режимы его содержания в морских садках с лососем. Доказана высокая эффективность этой инновации, с учетом имеющихся сведений о результатах ее внедрения.

Применение такой биологической очистки лосося от инвазии эктопаразитов служит улучшению здоровья рыбы, повышению товарного и пищевого качества производимой из нее продукции, не подверженной воздействию лечебных химических агентов. В отличие от механической очистки тела лосося от паразитов, вызывающей травмированность и значимый стресс у выращиваемой рыбы, а также требующей задействования импортного оборудования и дополнительных энергетических затрат, использование рыбы-чистильщика является более предпочтительным.

Результаты анализа применения зарубежного метода содержания пинагора-чистильщика в садках с атлантическим лососем выглядят полезным как биологический способ, улучшающий отдельно взятую технологию марикультуры, и как пример ее движения в цепочке «наука - бизнес», доказывающий эффективность современных форм организации научно-производственных проектов.

Оценка перспектив внедрения биотехнологии очистки лосося от эктопаразитов, выполненная на основе имеющейся открытой информации, позволяет утверждать, что она актуальна и может быть результативна при использовании в России, особенно учитывая текущие тренды изменения климата и планы отечественных компаний по увеличению количества морских лососевых садковых линий на Мурмане. Для принятия решений о разработке или воссоздании технологий, повышающих эффективность и безопасность бизнеса, допустимым в текущих геополитических условиях является рассмотрение инструмента реверс-инжиниринга.

Благодарности: авторы благодарят старшего преподавателя Мурманского арктического университета Тюкину Ольгу Сергеевну за полезную информацию и Тренклера Игоря Владимировича, к.б.н., доцента Санкт-Петербургского Университета ветеринарной медицины за критические замечания.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: **С.М. Русаев** – замысел статьи, сбор и анализ данных, подготовка и корректировка текста, написание работы, реализация замечаний и рекомендаций рецензентов; **Ю.И. Бакай** – анализ данных, подготовка и правка статьи, реализация замечаний и рекомендаций рецензентов.

The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: **S.M. Rusyaev** – writing a section, correcting the text, the idea, the idea of the article, data collection and analysis, text preparation; **Yu.I. Bakay** – data analysis, correcting the text and final correcting.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ/ LITERATURE AND SOURCES

- Sharma R., Barange M., Agostini V., [et al.]. 2025. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 2025. No. 721. Rome. FAO. P. 484.
- Little C., Felzensztein C., Gimmon E., [et al.]. 2015. The business management of the Chilean salmon farming industry // Marine Policy. V. 54. Pp. 108-117.
- Johnson S.C., Treasurer J.W., Bravo S., [et al.]. 2004. A review of the impact of parasitic copepods on marine aquaculture // Zool. Stud. No. 43. Pp. 229-243.
- Costello M.J. 2006. Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish // Trends Parasitol. No. 22. Pp. 475-483.
- Hemmingsen W., Sagerup K., Remen M., [et al.]. 2020. Caligus elongatus and other sea lice of the genus Caligus as parasites of farmed salmonids: A review // Aquaculture. V. 522. Article 735160. Pp. 1-12.
- Abolofia J., Asche F., Wilen J.E. 2017. The cost of lice: Quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon // Mar. Res. Econ. V. 32. No. 3. Pp. 329-349.
- Igboeli O.O., Burka J.F., Fast M.D. 2014. Lepeophtheirus salmonis: A persisting challenge for salmon aquaculture // Anim. Front. V. 4. No. 1. Pp. 22-32.
- Cerbule K. 2018. Salmon lice (Lepeophtheirus salmonis) control method effectiveness in Atlantic salmon (Salmo salar) aquaculture. A systematic literature review. The Arctic University of Norway. 71 p.
- Grøntvedt R.N., Kristoffersen A.B., Jansen P.A. 2018. Reduced exposure of farmed salmon to salmon louse (Lepeophtheirus salmonis L.) infestation by use of plankton nets: Estimating the shielding effect // Aquaculture. V. 495. Pp. 865-872.
- Skiftesvik A.B., Bjelland R.M., Durif C.M.F., [et al.]. 2013. Delousing of Atlantic salmon (Salmo salar) by cultured vs. wild ballan wrasse (Labrus bergylta) // Aquaculture. No. 402-403. Pp. 113-118.
- Русаев С.М., Куранов Ю.Ф. К вопросу об эффективности рыболовных ботов на промысле пинагора в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. 2011. Т. 12. № 4 (48). С. 805-812.
- Rusyaev S.M., Kuranov Yu.F. 2011. On the issue of the effectiveness of fishing boats in the lumpfish fishery in the Barents Sea // Questions of fisheries. Vol. 12. No. 4 (48). pp. 805-812. (In Russ.)
- Daborn C.R., Gregory R.S. 1983. Occurrence, distribution, and feeding habits of juvenile lumpfish, Cyclopterus lumpus in the Bay of Fundy // Can. J. Zool. V. 61. Pp. 797-801.
- Ingolfsson A., Kristjansson B. 2002. Diet of juvenile lumpfish Cyclopterus lumpus (Cyclopteridae) in floating seaweed: Effects of ontogeny and prey availability // Copeia. No. 2. Pp. 472-476.
- King M.J., Kao M.H., Brown A., [et al.]. 1989. Lethal freezing temperatures of fish: Limitations to sea pen culture in Atlantic Canada // Bull. Aquacult. Assoc. Can. V. 89. No. 3. Pp. 45-46.
- Vasconcelos P., Monteiro C.C., Santos M.N., [et al.]. 2004. First record of the lumpfish (Cyclopterus lumpus Linnaeus, 1758) off the Algarve coast (southern Portugal): southward extension of the species distributional range // J. Appl. Ichthyol. No. 20. Pp. 159-160.
- Barrett L.T., Overton K., Stien L.H., [et al.]. 2020. Effect of cleaner fish on sea lice in Norwegian salmon aquaculture: A national scale data analysis // Int. J. Parasitol. V. 50. No. 10-11. Pp. 787-796.
- Hvas M., Folkedal O., Imsland A., [et al.]. 2018. Metabolic rates, swimming capabilities, thermal niche and stress response of the lumpfish, Cyclopterus lumpus // Biol. Open. V. 7. No. 9. C. bio036079.
- Eliassen K., Danielsen E., Johannesen Á., [et al.]. 2018. The cleaning efficacy of lumpfish (Cyclopterus lumpus L.) in Faroese salmon (Salmo salar L.) farming pens in relation to lumpfish size and season // Aquaculture. V. 488. Pp. 61-65.
- Gutierrez Rabadan C., Spreadbury C., Consuegra S., [et al.]. 2021. Development, validation and testing of an Operational Welfare Score Index for farmed lumpfish Cyclopterus lumpus L. // Aquaculture. V. 531. Pp. 735-777.
- Imsland A.K.D., Hanssen A., Reynolds P., [et al.]. 2018. It works! Lumpfish can significantly lower sea lice infections in large scale salmon farming // Biol. Open. V. 7. No. 9. C. bio036301.
- Imsland A.K.D., Reynolds P. 2022. In lumpfish We Trust? The Efficacy of Lumpfish Cyclopterus lumpus to Control Lepeophtheirus salmonis Infestations on Farmed Atlantic Salmon: A Review // Fishes. V. 7. No. 5. P. 220.
- Dahle S.V., Bakke I., Birkeland M., [et al.]. 2020. Production of lumpfish (Cyclopterus lumpus L.) in RAS with distinct water treatments: Effects on fish survival, growth, gill health and microbial communities in rearing water and biofilm // Aquaculture. V. 522. Article 735097.
- Reynolds P., Imsland A.K.D., Boissonnot L. 2022. Causes of Mortality and Loss of Lumpfish Cyclopterus lumpus // Fishes. V. 7. No. 6. P. 328.
- Boissonnot L., Kharlova I., Iversen N.S., [et al.]. 2022. Characteristics of lumpfish (Cyclopterus lumpus) with high cleaning efficacy in commercial Atlantic salmon (Salmo salar) production // Aquaculture. V. 560. Pp. 738-744.
- Батьковский М.А., Кравчук П.В. Экономическая оценка технологических инноваций // Теоретическая и прикладная экономика. 2018. № 4. С. 98-109.

25. Batkovsky M.A., Kravchuk P.V. 2018. Economic assessment of technological innovations // Theoretical and applied economics. No. 4. Pp. 98-109. (In Russ.)
26. FishFarmingexpert. 17.04.2019. Mowi Scotland buys cleaner fish producer Ocean Matters. (<https://www.fishfarmingexpert.com/cleaner-fish-mowi-scotland-ocean-matters/mowi-scotland-buys-cleaner-fish-producer-ocean-matters/1282928/>) / Дата обращения 29.08.2025 г.
27. Costello M.J. 2009. The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry // J. Fish Dis. No. 32. Pp. 115-118.
28. Fishfarmingexpert. 30.05.2017. Cleaner fish prices rocket. (<https://www.fishfarmingexpert.com/fish-health-lumpfish-norway/cleaner-fish-prices-rocket/1185034/>) / (Дата обращения 27.08.2025 г.)
29. Overton K., Dempster T., Oppeda F., [et al.]. 2019. Salmon lice treatments and salmon mortality in Norwegian aquaculture: A review // Rev. Aquac. V. 11. No. 11. Pp. 1398-1417.
30. Gentry K., Bui S., Oppedal F., [et al.]. 2020. Sea lice prevention strategies affect cleaner fish delousing efficacy in commercial Atlantic salmon sea cages // Aquac. Environ. Int. V. 12. Pp. 67-80.
31. Отчет ПАО «Инарктика» за 2024 г. <https://inarctica.com/investors/reports-and-results/annual-reports/2024>. (Дата обращения 30.08.2025 г.)
31. PAO report «Inarctica» for 2024 <https://inarctica.com/investors/reports-and-results/annual-reports/2024>. (date of circulation 30.08.2025). (In Russ.)
32. Карасев А.Б. Каталог паразитов рыб Баренцева моря – Мурманск: Изд-во ПИНРО. 2003. 150 с.
32. Karasev A.B. 2003. Catalog of parasites of fishes of the Barents Sea – Murmansk: Publishing house of PINRO. 150 p. (In Russ.)
33. Трофимов А.Г. Дальние связи в изменчивости температуры воды Баренцева моря // Труды XIII Межд. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)». – Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». 2025. С. 188-195.
33. Trofimov A.G. 2025. Long-range relationships in the variability of water temperature in the Barents Sea // Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference «Marine Research and Education (MARESEDU-2024)». Tver: LLC «PoliPRESS». Pp. 188-195. (In Russ.)
34. Трофимов А.Г., Ярагина Н.А., Ившин В.А., [и др.]. Распределение трески в Баренцевом море в условиях изменяющегося климата. // Труды ВНИРО. 2023. №192: С. 68-84. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-192-68-84>.
34. Trofimov A.G., Yaragina N.A., Ivshin V.A., [et al.] 2023. Distribution of cod in the Barents Sea in a changing climate. // Proceedings of VNIRO. No. 192: Pp. 68-84. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-192-68-84>. (In Russ.)
35. Союз «Единое объединение страховщиков агропромышленного комплекса -Национальный союз агростраховщиков». 31.01.2025. Рыбоводы России в 2024 году получили почти 1,4 млрд рублей страховых выплат за гибель поголовья. https://naai.ru/press-tsentr/analitika/rybovody_rossii_v_2024_godu_poluchili_pochti_1_4_mlrd_rublely_strakhovykh_vyplat_zh_gibel_pogolovya/?ysclid=mmohwygks5592883818. (Дата обращения 22.02.2026 г.)
35. Union «United Association of Agricultural Insurers – National Union of Agricultural Insurers». 31.01.2025. In 2024, Russian fish farmers received almost 1.4 billion rubles in insurance payments for livestock deaths. https://naai.ru/press-tsentr/analitika/rybovody_rossii_v_2024_godu_poluchili_pochti_1_4_mlrd_rublely_strakhovykh_vyplat_zh_gibel_pogolovya/?ysclid=mmohwygks5592883818. (Accessed 22.02.2026) (In Russ.)
36. Журавлева Н.Г., Жомова А.И., Оттесен О. Использование пинагора (*Cyclopterus lumpus*) для биологического контроля численности морских вшей *Lepeophtheirus salmonis* // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сб. статей по материалам межд. науч.-практ. конф. – Севастополь: Севастопольский государственный университет. 2019. С. 602-604.
36. Zhuravleva N.G., Zhomova A.I., Ottesen O. 2019. The use of lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) for biological control of the number of sea lice *Lepeophtheirus salmonis* // Environmental, industrial and energy security - 2019: Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical Conference – Sevastopol: Sevastopol State University. Pp. 602-604. (In Russ.)
37. Zhang, G., Zhou, J. The effects of forward and reverse engineering on firm innovation performance in the stages of technology catch-up: An empirical study of China, Technol. Forecast. Soc. Change (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.01.010>
38. Рубанова К.А. Применения обратного инжиниринга на предприятиях промышленности в условиях новых санкций // Экономика и предпринимательство. 2022. № 4(141). С. 1368-1372.
38. Rubanova K.A. 2022. Application of reverse engineering at industrial enterprises in the context of new sanctions // Economics and entrepreneurship. No. 4(141). Pp. 1368-1372. (In Russ.)
39. Кудакеев В.В. Реверс-инжиниринг как инструмент смягчения воздействия антироссийских санкций на рыбное хозяйство // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Материалы VIII Национ. науч.-техн. конф. Владивосток, 24.10.2024 г.: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2024. С. 160-165.
39. Kudakaev V.V. 2024. Reverse engineering as a tool to mitigate the impact of anti-Russian sanctions on fisheries // Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation: Materials of the VIII National. scientific and technical conf. Vladivostok, October 24, 2024: Far Eastern State Technical Fisheries University. Pp. 160-165. (In Russ.)
40. <https://gisp.gov.ru/nmp/measure/10902608/events>. Дата обращения 22.02.2026 г.

Материал поступил в редакцию/ Received 04.05.2026
 Принят к публикации / Accepted for publication 17.05.2025