

**К ОПТИМИЗАЦИИ ПРАВИЛА  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОМЫСЛА (ПРП)  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ**

© 2025 г. Ю.А. Ковалев<sup>1</sup> (spin 7984-4910), Д.А. Васильев<sup>2</sup> (spin 7423-0857)

1 – Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Мурманск, 183038

2 – ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Москва, 105187

E-mail: kovalev@pinro.vniro.ru

Поступила в редакцию 9.01.2025 г.

Уточнено правило регулирования промысла для северо-восточной арктической трески. Показано, что переход от линейного снижения рекомендованной промысловой смертности как функции биомассы нерестового запаса при значениях биомассы нерестового запаса ниже  $V_{pa}$  к снижению по S-образной функции приводит к преимуществам перед текущим ПРП и может быть рекомендован в качестве альтернативы.

*Ключевые слова:* северо-восточная арктическая треска, правило регулирования промысла.

**ВВЕДЕНИЕ**

Формализованное правило регулирования промысла (ПРП) является основой рациональной эксплуатации рыбных запасов (Бабаян, 2000). Для трески Баренцева моря на 46-й сессии Совместной Российско-Норвежской Комиссии по рыболовству (СРНК) принято расширенное Правило регулирования промысла, согласно которому промысловая смертность может увеличиться, если нерестовый запас находится на высоком уровне (НСР 6, Протокол 46-й сессии СРНК, Приложение № 12). На 51-й сессии СРНК в 2021 г. стороны договорились, что правило будет действовать еще в течение пяти лет, а следовательно, до очередной сессии СРНК в 2025 г. необходимо провести анализ современного ПРП и возможных его альтернативных вариантов на предмет соответствия Предосторожному подходу и цели оптимизации режима эксплуатации трески. ПРП и ориентиры управления постоянно находятся в центре внимания отечественных учёных (Третьяк, 1987; Ковалев, Коржев, 2002; Ковалев, 2006; Kovalev, 2021), а также

Международного совета по исследованию моря (ICES) и, позднее, Совместной российско-норвежской рабочей группы по арктическому рыболовству (JRN-AFWG). Действующая в настоящее время версия ПРП формулируется следующим образом (JRN-AFWG, 2024): ОДУ рассчитывается как средний улов, прогнозируемый на ближайшие три года с использованием целевого значения коэффициента промысловой смертности ( $F_{tr}$ ). Значение этого параметра рассчитывается по биомассе нерестового запаса (SSB) в первый год прогноза:

- если  $SSB < V_{pa}$ , то  $F_{tr} = SSB/V_{pa} \times F_{msy}$ ;
- если  $V_{pa} \leq SSB \leq 2 \times V_{pa}$ , то  $F_{tr} = F_{msy}$ ;
- если  $2 \times V_{pa} < SSB < 3 \times V_{pa}$ , то  $F_{tr} = F_{msy} \times (1 + 0,5 \times (SSB - 2 \times V_{pa}) / V_{pa})$ ;
- если  $SSB \geq 3 \times V_{pa}$ , то  $F_{tr} = 1,5 \times F_{msy}$ ;

где  $F_{msy} = 0,40$  и  $V_{pa} = 460\,000$  т. Если биомасса нерестового запаса в текущем году, в предыдущем году и в каждом из трёх прогнозируемых лет превышает  $V_{pa}$ , ОДУ не следует изменять более чем на +/- 20% по сравнению с ОДУ предыдущего года. Однако в этом случае  $F_{tr}$  не должен быть ниже 0,30.

Ранее по запросу СРНК данное правило и ряд различных альтернативных его вариантов были протестированы на специализированном семинаре ИКЕС WKNEAMP-2 (ICES 2016). Проведённая экспертиза показала соответствие Предосторожному подходу (ППП), поскольку оно обеспечивало заданную низкую вероятность ( $p < 0,05$ ) перелома запаса трески по пополнению. Принимая во внимание значительное время, прошедшее после полноценного тестирования ППП, и заметные изменения в экосистеме Баренцева моря (Трофимов 2024; Сентябов, Трофимов 2024), отдельные биологические параметры запаса и параметры его взаимодействия с промыслом (относительная селективность промысла) в последние годы могли заметно измениться, что ставит задачу оптимизации как формы ППП, так и оценок параметров управления.

В настоящее время биомасса нерестового запаса трески находится вблизи ориентира  $B_{pa}$  (JRN-AFWG, 2024) с тенденцией к дальнейшему снижению, т.е. регулирование впервые за долгое время уходит с горизонтального участка зависимости  $F$  от  $SSB$  на линейно спадающий. В этой связи актуальность приобретает вопрос об оптимальности линейной функции снижения рекомендуемой промысловой смертности от биомассы нерестового запаса при  $SSB < B_{pa}$ . Не исключено, что с точки зрения критериев, используемых для выбора ППП, более рациональной может оказаться иная форма зависимости (Бабаян, 2013).

#### МЕТОДИКА

При тестировании ППП трески на группе ИКЕС 2016 г. была сформулирована модель динамики её популяции и промысла, которая с небольшими изменениями может быть применена и в дальнейшем (Ковалев, 2006; Kovalev, 2021). В рамках данной модели приняты следующие допущения и параметры:

Расчёты выполняются на перспективу в 100 лет с шагом в 1 год. Первые 20 лет периода не учитываются при оценке, т.к. параметрам

популяции и промысла требуется время на стабилизацию при переходе к заданному режиму эксплуатации. Для стабилизации результатов имитационной модели выполнялось 10 тыс. итераций.

Расчёт общей биомассы запаса, биомассы половозрелых рыб ( $SSB$ ), массы улова и моделирование динамики численности трески выполняли с применением стандартных уравнений когортного анализа. Уровень промысловой смертности является входным параметром модели, постоянным для всего моделируемого периода (при оценке значений ориентиров), либо определяется в каждом году по тестируемому ППП. Распределение промысловой смертности по возрастам принято равным среднемноголетним значениям (2000–2023 гг.).

В качестве основной функции, описывающей общие закономерности изменения численности пополнения трески (возраст три года) в зависимости от изменения биомассы нерестового запаса, принимается сегментированная регрессия (ICES 2003). Цикличность в изменчивости пополнения может быть описана уравнением:

$$R_3(year + 3) = f(SSB(year))e^{A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(year-1946+\varphi)}{T}\right)} \quad (1),$$

где  $SSB(year)$  – биомасса нерестового запаса в году  $year$ ,  $R_3(year+3)$  – пополнение запаса в возрасте три года в году  $year+3$ ,  $f(SSB)$  – основная функция зависимости запаса-пополнение (в данном случае сегментированная регрессия),  $A$  – параметр, определяющий размах колебаний синусоиды (амплитуда),  $\varphi$  – параметр, определяющий смещение колебаний относительно стартового 1946 г. (смещение/фаза),  $T$  – период колебаний.

В модели описывается и непараметрическая случайная изменчивость пополнения, как наблюдаемые отклонения фактических пополнений трески от моделируемых по уравнению 1 значений. При моделировании случайным образом их наблюдаемых остатков выбирается значение отклонения для каждого года.

Описание изменений средней массы трески в запасе моделируется для возрастных групп 6-13+ лет, формулой:

$$ws_{age,year} = \alpha_{age} TSB_{year-1} + \beta_{age} \quad (2),$$

где  $ws_{age,year}$  – средняя масса трески возраста  $age$  в году  $year$ ,  $TSB_{year-1}$  – общая биомасса запаса трески в начале предшествующего года,  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры, определяемые для каждой возрастной группы.

Средние массы в запасе для возрастных групп 3–5 лет приняты постоянными и равными средним за 1984–2024 гг.

Изменение средней массы трески в уловах моделируется для всех возрастных групп формулой:

$$wc_{age,year} = \alpha_{age} ws_{age,year} + \beta_{age} \quad (3),$$

где  $wc_{age,year}$  – средняя масса трески возраста  $age$  в уловах в году  $year$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры, определяемые для каждой возрастной группы.

Доля половозрелых особей в каждой возрастной группе поколения представляется зависимостью:

$$Mat_{age} = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(age-age50\%)}} \quad (4),$$

где  $Mat_{age}$  – доля половозрелой рыбы в возрасте  $age$ ,  $age50\%$  – возраст, в котором 50% особей половозрелые,  $\lambda$  – коэффициент.

Возраст 50% созревания поколений представлен, как линейно зависимый от плотности популяции (биомассы запаса):

$$age50\%_{(year)} = b * TSB_{(year)} + c \quad (5),$$

где  $age50\%_{(year)}$  – возраст, в котором 50% особей поколения года рождения  $year$  становятся половозрелыми,  $TSB_{(year)}$  – биомасса запаса трески в году  $year$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты.

Для моделирования изменчивости естественной смертности молоди трески (воз-

раст 3–5 лет) от хищничества трески старшего возраста (каннибализма) использованы линейные зависимости (уравнения 6 и 7). При этом, смертность от каннибализма в возрасте три года описывается как величина, зависящая от численности жертв (начальной численности самих трёхлеток) и индекса численности хищников. Переменные в уравнении 5 применяются в виде логарифмов, для нивелирования выбросов (аномально больших значений) при оценке параметров (коэффициентов уравнения) и для нормализации распределения ошибок. Каннибализм в возрасте 4 и 5 лет, хорошо коррелирует с оценками для возраста три года, и для их моделирования использованы линейные зависимости уравнения 6.

Уравнение зависимости естественной смертности молоди трески от каннибализма:

$$\ln(M2_{3,year}) = \ln(N_{3,year}) * a + \ln(SB6+_{year}) * b + c \quad (6),$$

$$M2_{age,year} = a * M2_{3,year} \quad (7),$$

где  $M2_{age,year}$  – естественная смертность трески от каннибализма в возрасте  $age$ , в году  $year$ ,  $N_{3,year}$  – численность поколения трески в возрасте три года в году  $year$ ,  $SB6+_{year}$  – биомасса запаса трески в возрасте шести лет и старше в году  $year$ ,  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты.

Ошибки оценки запаса и ошибки управления – отклонения реальной эксплуатации запаса от планируемой, в соответствии с ПРП моделировались с использованием следующих уравнений:

$$\text{Вылов} = \text{ОДУ} * \exp(\text{normal}(\text{mean}, \text{sigma})) \quad (8),$$

$$N = \text{real } N * \text{normal}(\text{mean}, \text{sigma}) * \text{bias} \quad (9),$$

где Вылов – «фактический» вылов трески в модели, ОДУ – оцененный в модели общий допустимый улов по ПРП,  $N$  – численность трески, используемая при расчёте ОДУ в модели,  $\text{real } N$  – истинная численность трески,  $\text{normal}(\text{mean}, \text{sigma})$  – параметры

нормального распределения, *bias* – смещение (систематическое отклонение оценки от «истинной»), оцененные по наблюдаемым данным.

Тестирование ПРП трески Баренцева моря и оценка ориентиров управления выполненные ИКЕС в 2016 г. (ICES 2016) были проведены с использованием Российского программного обеспечения (модель NE\_PROST), разработанного в ПИНРО. При некоторой доработке эта программа позволяет провести аналогичную работу с предлагаемыми альтернативными вариантами ПРП и была выбрана в качестве инструмента для повторной экспертизы.

Общая схема выполнения прогностических стохастических расчётов описана в материалах Рабочей группы WKNEAMP-2 (ICES 2016). Дополнительные аспекты процедуры описаны в работе (Kovalev, 2021).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Варианты ПРП трески, предлагаемые для тестирования*

Первой задачей является тестирование текущего (используемого СРНК) правила, для подтверждения предыдущих результатов в условиях возможных изменений в биологических параметрах популяции.

В связи с отмечаемым в последнее десятилетие снижением численности пополнения трески необходимо протестировать устойчивость текущей схемы эксплуатации запаса в условиях возможного снижения его репродуктивной способности.

Несмотря на использование ПРП в практике управления запасом трески, нередко отмечаются ситуации, когда СРНК устанавливало более высокие уровни ОДУ, чем рекомендуемые по принятому правилу управления. Это не всегда приводило к аналогичному превышению фактического вылова трески над рекомендуемым, т.к. согласованный ОДУ не всегда удавалось реализовать. Принимая во внимание сложившуюся практику управле-

ния, требуется включить в тестирование элемент т.н. «ошибки управления». Данный компонент модели, имитирующий наблюдаемое явление, может быть реализован, как лог-нормально распределённая случайная величина со средним и дисперсией, оцененными по наблюдаемым отклонениям вылова от рекомендуемого ОДУ по ПРП. Это позволит учесть дополнительные риски подрыва запаса по пополнению.

Одним из элементов используемого в настоящее время ПРП трески является попытка стабилизации межгодовых изменений улова. Это реализовано через два механизма. Первый – это расчёт ОДУ, как средней величины за три года прогноза. При этом мы пытаемся увеличивать вылов постепенно, заблаговременно, и принимаем во внимание ожидаемые тенденции в динамике запаса. Второй – это прямое ограничение на межгодовое изменение ОДУ в размере 20%. Используемая схема достаточно сложна и противоречива. Естественные флуктуации запаса могут быть более интенсивными, и он может расти, или падать быстрее, чем на 20%. В этом случае первый элемент будет играть положительную роль заблаговременно снижая, либо повышая промысловую нагрузку на запас, что может привести к «сглаживанию» естественной динамики. Второй же, напротив, стабилизируя ОДУ, может ускорить падение запаса, как это наблюдалось в последнее десятилетие, или не позволить заблаговременно нарастить вылов, как это было в период быстрого роста запаса до 2013 г., когда ограничение в ПРП было еще более жестким – 10%. Следовательно, необходимо протестировать на предмет эффективности и безопасности варианты ПРП без этих двух элементов.

В рамках тестируемых ПРП в дополнение к линейной функции снижения рекомендуемой промысловой смертности от биомассы нерестового запаса при  $SSB < V_{ра}$  рассмотрены также варианты степенной S-образной функции, задающейся следующим образом:

$$F_{tr} = aV^p, \quad \text{при } V \leq 0,5 \cdot V_{ра}$$

$$F_{tr} = F_{msy} - a(B_{ра} - B)^P, \quad \text{при} \\ 0,5 \cdot B_{ра} < B \leq B_{ра} \quad (6)$$

где  $a = (0,5 \cdot F_{msy}) / (0,5 \cdot B_{ра})^P$   
где  $P$  – показатель степени.

Таким образом, можно предложить ряд альтернативных ПРП трески для тестирования и сравнения между собой по критериям их эффективности и безопасности. Варианты ПРП трески, предлагаемые для тестирования:

*Проверка результатов предыдущего теста на новых данных*

1. Текущее ПРП, используемое СРНК;
2. Текущее ПРП, используемое СРНК, но с учётом «ошибок управления» (наблюдаемого отклонения фактически устанавливаемого СРНК ОДУ трески, и/или фактического вылова от рекомендованных по ПРП величин);
3. Текущее ПРП при предположении о снизившейся продуктивности популяции под влиянием климатических изменений (со сниженным средним пополнением, соответствующим наблюдаемому последнее десятилетие);
4. Текущее ПРП, но с дополнениями варианта 2 и 3;

*Проверка соответствия Предосторожному подходу и оценка эффективности альтернативных вариантов ПРП трески*

5. Вариант 1, но целевая смертность рассчитывается для одного года, а не по трём годам прогноза;
6. Вариант 1, но без межгодовых ограничений ОДУ;
7. Комбинация вариантов 5 и 6;
8. Вариант 1, но при нелинейном  $S(p=3)$  снижении целевой смертности когда  $SSB < B_{ра}$ ;
9. Вариант 1, но при нелинейном  $S(p=9)$  снижении целевой смертности когда  $SSB < B_{ра}$ ;
10. Вариант 5, но при  $S(p=3)$ , для варианта 6 не нужно, т.к. ограничение ОДУ не действует в области  $SSB < B_{ра}$ ;
11. Вариант 5, но при  $S(p=9)$ , для варианта 6 не нужно, т.к. ограничение ОДУ не действует в области  $SSB < B_{ра}$ .

Таким образом для тестирования предлагается 11 вариантов ПРП. Для оценки эффективности Правил и их соответствия предосторожному подходу могут быть использованы те же критерии, что применялись при предыдущем тестировании в 2016 г. (ICES, 2016).

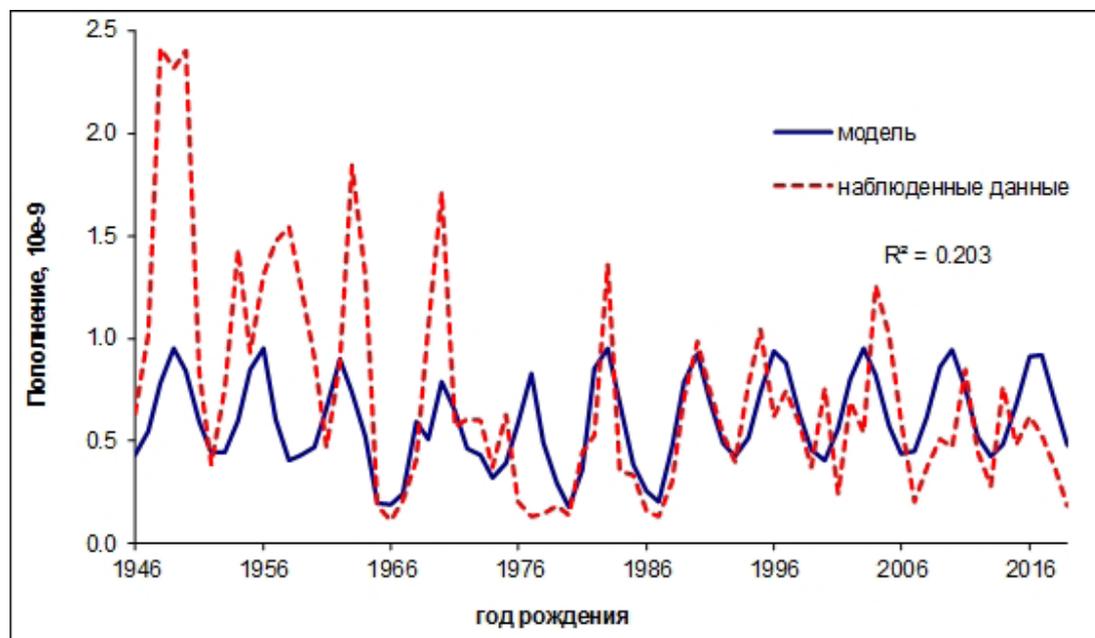
*Ревизия параметров уравнений модели динамики популяции и промысла трески*

Модель популяции СВА трески описана в тексте отчёта WKNEAMP-2. Настройка уравнений, описывающих различные процессы в популяции трески, выполнена на дополнительных рядах данных, заимствованных из последней оценки (JRN-AFWG, 2024). Все уравнения по-прежнему актуальны, т.к. зависимости статистически значимы. Новые значения оцененных параметров уравнений не сильно отличались от ранее оцененных.

Моделируемая связь запаса и пополнения при добавлении новых данных стала лучше ( $r^2$  в подобранной сегментированной регрессии увеличился с 0,054 до 0,071). Когда в модель был добавлен циклический член, значение  $r^2$  увеличилось с 0,16 до 0,20, а для периода 1981–2023 гг. сегментированная регрессия и циклическая компонента позволили описать свыше трети изменчивости пополнения ( $r^2 = 0,36$ ) (рис. 1).

Блок модели для описания каннибализма трески, как величины зависимой от плотности популяции (начальной численности поколения) и количества хищников (биомассы трески в возрасте шести лет и старше), также стал лучше на новом наборе данных ( $r^2$  между рядами моделируемых и наблюдаемых данных увеличился с 0,399 до 0,447). Как и ранее, сильна связь между естественной смертностью трески в возрасте три года и возрастах 4 и 5 лет ( $r^2$  равен 0,93 и 0,69 соответственно), что позволяет моделировать смертность старших групп по смертности трёхлеток.

Оцененные параметры для модели зависимости веса трески различного возраста в запасе от плотности популяции для некоторых возрастов стали выше, а для других они



**Рис. 1.** Наблюдаемые значения пополнения и моделируемые с использованием сегментированной регрессии и включением циклической составляющей (уравнение 1).

уменьшились. Тем не менее, все взаимосвязи статистически значимы. Взаимосвязи между средним весом в запасе и весом в улове для каждой возрастной группы на новых данных очень похожи на предыдущие результаты. Несколько лучше проявились зависимости для старших возрастов, что позволило использовать их в новой модели в отличие от фиксированных ранее значений, равных весам в запасе.

Значения других параметров модели динамики популяции и промысла трески также были обновлены на новых данных, они остались статистически значимы и незначительно отличались от оцененных прежде величин.

#### *Результаты тестирования предлагаемых вариантов ПРП трески*

В таблице 1 представлены некоторые характеристики популяции трески, результаты промысла и риски подрыва запаса по пополнению, полученные с использованием имитационной модели. Данные усреднены для 80 лет и 10 тыс. итераций прогонов модели.

В результате выполненной ревизии параметров уравнений, описывающих динамику популяции трески, с использованием новых данных заметно изменились и некоторые результаты тестирования ПРП.

Все протестированные режимы эксплуатации соответствуют предосторожному подходу и риск подрыва запаса по пополнению не превышает 5%. Исключением является вариант 11, при котором, несмотря на невысокий процент риска подрыва запаса, периодически возникают ситуации, когда общая биомасса запаса и вылов становятся близкими к нулю, что может привести к коллапсу запаса. Этот вариант эксплуатации запаса очевидно нецелесообразен. Выбор оптимального варианта Правил должен выполняться на основании сравнения разных вариантов ПРП по другим критериям. Наиболее значимыми критериями, на наш взгляд являются: среднемноголетний вылов, его изменчивость, изменчивость самого запаса трески, его чрезмерный рост и экстремальное падение, а также уровни рисков.

Сравнивая вариант 2016\* и вариант правил 1 (ПРП в них полностью одинаковы)

К ОПТИМИЗАЦИИ ПРАВИЛА РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Таблица 1.** Результаты имитационного стохастического моделирования (уловы и биомассы в тыс. т)

Правило №	2016*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сред. улов	761	758	765	639	642	733	761	763	759	759	739	736
Стандартное откл. улова	171	238	264	181	201	275	241	369	229	228	260	260
Медиана улова	761	725	732	620	623	732	727	709	725	724	734	733
5% процентиль улова	473	428	388	381	349	246	425	206	457	465	297	311
Медиана TSB	3015	2680	2623	2328	2273	2812	2662	2664	2674	2670	2782	2776
95% процентиль TSB	3728	3369	3362	3001	2995	3977	3348	3512	3346	3340	3797	3779
Медиана SSB	745	750	713	769	733	805	741	728	747	746	796	796
Медиана R, млн экз.	892	795	794	597	597	789	795	793	795	795	791	790
Вероятность SSB<Blim, %	0.06	0.2	0.4	0.1	0.3	1.8	0.2	1.0	0.1	0.2	1.5	1.4
% лет SSB<Bра	7.95	6.6	10.6	5.2	8.7	10.9	7.0	11.1	6.7	6.8	10.2	9.9
Среднегодовая изменчивость ОДУ, %	19.59	30	32	23	24	37	32	61	30	142	80	409767
Ср. вес рыбы в уловах, кг	3.11	3.06	2.99	3.21	3.14	3.21	3.04	2.99	3.05	3.05	3.17	3.17
Уровень каннибализма в возрасте 3	0.45	0.38	0.38	0.33	0.32	0.40	0.38	0.38	0.38	0.38	0.40	0.40
Доля лет (%) когда применялось ограничение на рост ОДУ	19.87	3.3	4.7	14.9	16.0	21.7	0.0	0.0	3.6	3.8	23.3	23.7
Доля лет (%) когда применялось ограничение на снижение ОДУ	12.79	1.3	1.7	8.3	8.4	16.3	0.0	0.0	1.4	1.4	16.8	16.8
Доля лет (%) когда применялось ограничение F>=0.3	11.8	1.3	2.3	5.9	7.5	18.0	0.0	0.0	1.0	1.0	14.3	13.6
Доля лет (%) для 3-х ступенчатых правил, когда запас был выше 2-й границы SSB (920 тыс. т)	20.99	21.2	17.8	24.0	20.6	26.3	19.7	17.8	20.9	20.9	27.2	27.4
Доля лет (%) для 3-х ступенчатых правил, когда запас был выше 3-й границы SSB (1380 тыс. т)	3.16	0.7	0.9	1.4	1.7	9.5	0.3	0.3	0.5	0.5	6.2	5.7

**Примечание:** \* – оценки тех же параметров, что в варианте ПРП №1, но выполненные ранее на WKNEAMP-2.

можно сделать заключение, что в результате переоценки параметров уравнений модели с использованием новых данных снизилось среднее моделируемое пополнение (с 892 до 795 млн экз.) и общая биомасса запаса, что привело к закономерному снижению уровня каннибализма. В то же время, заметно возросла изменчивость уловов, а стабилизирующие элементы ПРП стали играть гораздо меньшее значение (доля лет, когда применялось ограничение ОДУ, значительно сократилась). Риск подрыва запаса по пополнению (вероятность  $SSB < B_{lim}$ ) возрос более чем в три раза, но остался на уровне гораздо ниже критического значения (5 %).

Сравнение вариантов 1 и 2 позволяет оценить влияние учёта «ошибки управления». Закономерно, что отклонение от ПРП в сторону увеличения вылова, приводит к росту среднесноголетнего улова, хотя и незначительному (около 1%). Столь малое отклонение связано с тем, что ошибки управления оценены для периода с 2005 г., когда стало применяться новое ПРП, и отклонения фактического вылова от рекомендованного в этот период значительно ниже, чем наблюдалось ранее. С другой стороны, явилось неожиданным то, что при малой разнице в среднем вылове, на 11% увеличивается его межгодовая изменчивость и закономерно снижается биомасса общего и нерестового запасов (на 2–5%), в два раза увеличивается риск падения  $SSB$  ниже ориентира  $B_{lim}$  и растёт риск её падения ниже ориентира  $B_{pa}$ . Всё это и является главной причиной увеличения изменчивости уловов, т.к. в подобных ситуациях межгодовые ограничения ОДУ перестают действовать, а целевая смертность изменяется. В целом, нарушение режима эксплуатации и не следование ПРП, даёт ничтожный рост вылова при очевидных негативных эффектах.

Проверка эффекта возможного систематического снижения продуктивности популяции под влиянием климатических изменений (сравнение вариантов 1 и 3) выполнена при замене в одном из блоков модели пополне-

ния (уравнение сегментированной регрессии) параметра средней численности, оцененной на всех имеющихся данных (1946–2023 гг.) равного 638 тыс. т, значением 475 тыс. т (среднее для 2006–2023 гг.). При столь значительном снижении пополнения средний вылов упал на 16%, хотя его межгодовая изменчивость существенно уменьшилась. Падение общей биомассы запаса было менее значительным (11%), вследствие закономерного, предусмотренного ПРП, более щадящего режима эксплуатации, а нерестовая биомасса и вовсе осталась почти на том же уровне, частично за счёт компенсации снижения плотности популяции более интенсивным весовым ростом и ускоренным созревaniem. Риск подрыва запаса даже снизился, а элементы ПРП, стабилизирующие ОДУ, стали играть более активную роль. В целом можно сделать заключение, что текущее ПРП устойчиво к возможному снижению продуктивности популяции и компенсирует её снижением промысловой нагрузки.

Результаты анализа совместного воздействия снижения численности пополнения и несоблюдения ПРП (вариант 4) совмещают в себе эффекты, отмечаемые для вариантов два и три, и не имеют принципиальных отличий. Общее заключение по первому блоку ПРП состоит в том, что текущее ПРП по-прежнему является предосторожным и эффективным.

Следующий блок ПРП относится к проверке альтернативных вариантов текущего Правила. Как уже сказано выше, все альтернативные варианты Правил также соответствуют предосторожному подходу и в этом смысле могут быть применены на практике. Вопрос заключается только в том, есть ли у них преимущества в эффективности.

Сравнение вариантов 1 и 5 позволяет проследить эффект отмены одного из элементов ПРП, стабилизирующих изменчивость запаса и вылова, – проведение расчёта ОДУ по трём последующим годам (прогноз), либо по одному году. Переход к «однолетнему ОДУ» приводит к небольшому падению среднегодо-

вого улова (на 3%) и одновременно заметно увеличивает его межгодовую изменчивость (на 16%). 5-й процентиль улова падает едва ли не в два раза (с 428 до 246 тыс. т), т.е. частота появления низких уловов становится значительно выше, а сами низкие уловы меньше. В тоже время средние (медианные) величины TSB и SSB немного возрастают (на 3–5%), а ситуации значительного роста общего запаса трески становятся более вероятными (95-я процентиль TSB возросла на 18%). Почти на порядок возрастает частота задействования других стабилизирующих элементов ПРП – 20% ограничения на межгодовое изменение ОДУ и ограничения минимального значения F. Уровень риска подрыва запаса также возрастает почти на порядок. В целом переход к «однолетнему» ПРП приводит к негативным последствиям.

Вариант отмены другого ограничивающего изменчивость ОДУ элемента ( $\pm 20\%$ , при этом  $F > 0,3$ ) дал неожиданные результаты. Отмена этого ограничения при сохранении варианта «3-х летнего» расчёта ОДУ, не оказала почти никакого влияния на основные характеристики системы «запас-промысел». Эффекты были близки к нулю, или не превышали 1–2%. Лишь на 5% возросла среднегодовая изменчивость ОДУ. Что любопытно, изменчивость вылова увеличилась только на 2%. Также на 6% возросла доля лет, когда нерестовая биомасса падала ниже  $B_{pa}$ .

Таким образом, эта часть ПРП, стабилизирующая ОДУ, не является важной, при сохранении предыдущего варианта.

Совместная же отмена обоих стабилизирующих ОДУ частей приводит к ярко выраженному негативному эффекту: изменчивость улова и ОДУ возрастает в два раза, риск подрыва запаса увеличивается в шесть раз, при этом значительный рост запаса наблюдается реже (см. две последних строки табл. 1). Можно сделать заключение о нежелательности отмены стабилизирующих элементов ПРП.

Вариант 8 – нелинейного снижения целевой смертности, когда  $SSB < B_{pa}$  при  $S(p=3)$

имеет небольшой положительный эффект на характеристики системы «запас-промысел». При том же среднегодовом вылове на 4% снижается его изменчивость, на 7% возрастает 5-я процентиль (меньше становится «маленьких» уловов), на 4% падает вероятность падения SSB ниже ориентира  $B_{lim}$ . Несколько возрастает частота задействования стабилизирующих элементов ПРП (на 8–10%).

Вариант ПРП 10 (то же, что 8, но при расчёте ОДУ по одному году прогноза) имеет такие же ярко выраженные эффекты, что описаны выше (для ПРП 5) и не выглядит приемлемой альтернативой.

Вариант «более резкого» нелинейного снижения целевой смертности, когда  $SSB < B_{pa}$  при  $S(p=9)$  весьма сходен по эффектам с вариантом 8 ( $S(p=3)$ ), но имеет выраженное негативное влияние на изменчивость ОДУ (возрастает в 5 раз) и более высокий риск подрыва запаса. Вариант же одновременного перехода к однолетнему ПРП (11) приводит к возникновению риска коллапса запаса, что отражено в таблице 1, как значение параметра «Среднегодовая изменчивость ОДУ, %».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с тем, что на 51-й сессии СРНК в 2021 г. Россия и Норвегия договорились, что Правило регулирования промысла СВА трески будет действовать еще в течение пяти лет, в преддверии очередной сессии СРНК, выполнен анализ текущего ПРП с использованием новых данных о запасах. Проанализированы возможные альтернативные варианты Правил на предмет соответствия Предосторожному подходу и цели оптимизации режима эксплуатации трески.

Выполнена проверка валидности использованных ранее функций, описывающих динамику популяции трески на основе современных данных. Уточнены параметры уравнений. Проведённый анализ подтвердил применимость используемой ранее модели со всеми её блоками, описывающими динамику популя-

ции трески, для проведения новой экспертизы Правил регулирования промысла.

Экспертиза выбранных вариантов ПРП показала, что все они соответствуют предосторожному подходу, а риск подрыва запаса по пополнению не превышает 5%. Исключением является вариант нелинейного снижения целевой смертности, когда  $SSB < W_{ра}$  при  $S(p=9)$ , при котором периодически возникают ситуации, которые могут привести к коллапсу запаса.

Текущее ПРП по-прежнему является предосторожным и эффективным. Оценен эффект от нарушения режима эксплуатации и не следования ПРП. Периодическое повышение ОДУ по сравнению с рекомендуемым, в размере, наблюдаемом на СРНК с 2005 г., в рамках модели дает ничтожный рост вылова, при очевидных негативных эффектах. Также показано, что текущее ПРП устойчиво к возможному снижению продуктивности популяции (уменьшение численности пополнения, наблюдаемое с 2006 г.) и компенсирует её снижением промысловой нагрузки.

Проверка вариантов ПРП, предусматривающих отмену обоих стабилизирующих ОДУ частей (трёхлетняя оценка ОДУ и прямое 20% ограничение на межгодовое изменение), показала ярко выраженный негативный эффект: изменчивость улова и ОДУ возрастает в два раза, а риск подрыва запаса увеличивается в шесть раз. В целом можно сделать заключение о нежелательности отмены стабилизирующих элементов ПРП. С другой стороны, отмена только 20% ограничения влияет незначительно, и более того может быть полезна, поскольку, как показала практика, эти ограничения уже приводили к ситуации, когда ограничивающие вылов меры были недостаточны и запас упал на большую величину, а его восстановление замедлилось. Соответственно существенно упали рекомендуемые объёмы вылова.

Вариант ПРП, предусматривающий нелинейное снижение целевой смертности, когда  $SSB < W_{ра}$ , в соответствии с S образной кривой при  $p=3$  (рис. 2), имеет некоторые преимущества перед текущим ПРП и может быть рекомендован в качестве альтернативы.

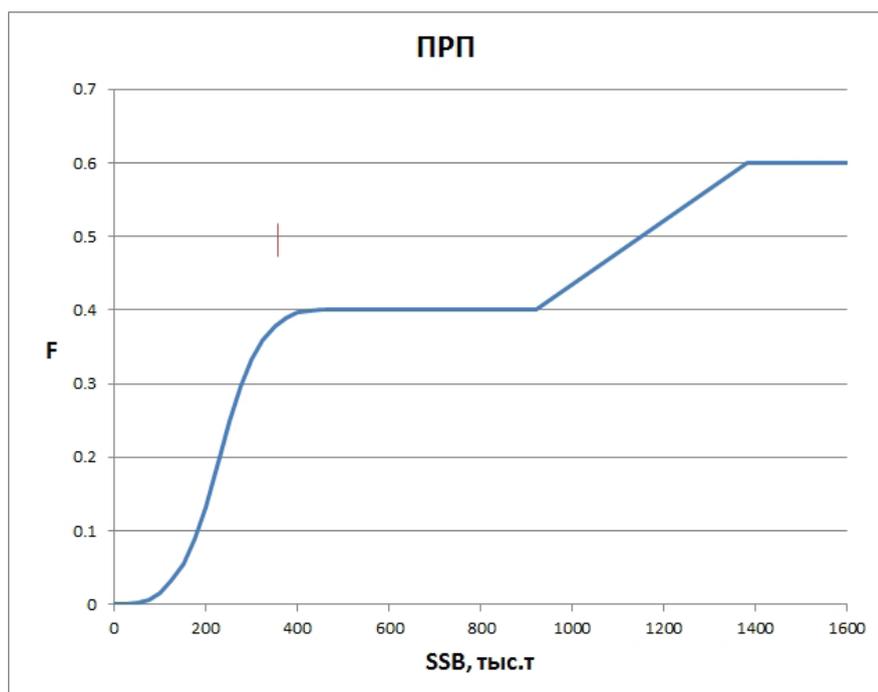


Рис. 2. Предлагаемая форма правила регулирования промысла северо-восточной арктической трески.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бабаян В.К.* Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). Анализ и рекомендации по применению: М. Изд-во ВНИРО, 2000, 192 с.

*Бабаян В.К.* Концептуальные основы рационального рыболовства. <http://www.vniro.ru/files/meroprijatija/2013/2.pdf>.

*Ковалев Ю.А., Коржев В.А.* Модель регулирования промысла лоботено-баренцевоморской трески // *Вопр. рыболовства*. 2002. Т. 3. № 2 (10).

*Ковалёв Ю.А.* Оценка максимального устойчивого улова северо-восточной арктической трески // *Вопр. рыболовства*. 2006. Т. 7. № 2 (26). С. 251–266.

*Сентябов Е.В., Трофимов А.Г.* Динамика гидрометеорологических условий в Северной Атлантике и Западной Арктике в эпоху глобальных климатических изменений // *Тр. ВНИРО*. 2024. Т. 196. С. 179–192. doi: 10.36038/2307-3497-2024-196-179-192.

*Третьяк В.Л.* Методические рекомендации по регулированию одновидового промысла (на примере аркто-норвежской трески). Мурманск: ПИНРО, 1987. 37 с.

*Трофимов А.Г.* Изменчивость и тренды ледовитости Баренцева моря и Арктики в 1979–2022 гг. // *Тр. ВНИРО*. 2024. Т. 197. С. 101–120. doi: 10.36038/2307-3497-2024-197-101-120.

*ICES 2003.* Study Group on Biological Reference Points for Northeast Arctic Cod. Svanhovd, Norway 13–17 January 2003. ICES CM 2003/ACFM:11.

*ICES 2016.* Report of the second workshop on Management Plan Evaluation on Northeast Arctic cod and haddock and Barents Sea capelin (WKNEAMP-2), 25–28 January 2016, Kirkenes, Norway. ICES CM 2016/ACOM:47. 76 pp.

*Kovalev Yu.* Working document 31/ICES. 2021. Benchmark Workshop for Barents Sea and Faroese Stocks (WKBARFAR 2021). ICES Scientific Reports. 3:21. 205 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7920>.

JNR-AFWG. Joint Russian-Norwegian Arctic Fisheries Working Group (JRN-AFWG)

Report 2024. 2024 305 p. <https://www.hi.no/hi/nettrapper/imir-pinro-2024-7>.

**ABOUT OPTIMIZATION OF THE HARVEST CONTROL  
RULE (HCR) FOR NORTH-EAST ARCTIC COD**

© 2025 г. Yu.A. Kovalev<sup>1</sup>, D.A. Vasilyev<sup>2</sup>

*1– Polar brunch State Science Center of the «VNIRO, Russia, Murmansk, 183038*

*2 – State Science Center of the «VNIRO, Russia, Moscow 183038*

The harvest control rule for northeast Arctic cod has been clarified. It is shown that the transition from a linear reduction in recommended fishing mortality as a function of spawning stock biomass at spawning stock biomass values below  $B_{pa}$  to a reduction according to an S-shaped function leads to advantages over the current HCR and can be recommended as an alternative.

*Keywords:* northeast Arctic cod, harvest control rule.