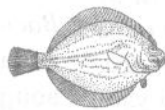


УДК 639.2.055:597.587.9

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПРОМЫСЛА ЖЕЛТОПЕРОЙ КАМБАЛЫ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ

А. О. Золотов



В работе предпринята попытка проанализировать возможность регулирования промысла желтоперой камбалы юго-западной части Берингова моря с использованием двух критериев: получение наибольшего валового улова для заданного временного интервала и поддержание биомассы нерестовой части популяции на оптимальном для воспроизводства уровне. На основе многолетней биологической информации, собранной специалистами КамчатНИРО в период научно-промысловых рейсов в 1952–2006 гг., и данных промысловой статистики об уловах желтоперой камбалы в западной части Берингова моря, выполнен расчет ее численности и биомассы на период 2007–2035 гг. в отсутствии промысла и при его различных режимах. В результате проведенного анализа выделен оптимальный уровень эксплуатации запаса желтоперой камбалы Карагинского и Олюторского заливов западной части Берингова моря, который, при современном состоянии популяции, позволит ежегодно вылавливать до 4,7–5,0 тыс. т этого вида.

*A. O. Zolotov.* Simulation of the optimal regime of fishing yellow-fin sole in the west part of the Bering Sea // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers. Vol. 11. Petropavlovsk-Kamchatski: KamchatNIRO. 2008. P. 100–104.

Trial analysis of the possibility to regulate fishing of yellow-fin sole in the west part of Kamchatka has undertaken. Two criteria have used: obtaining the maximal gross catch for given time interval and providing the biomass of the spawning part of population to ensure the optimal level of production.

On the base of statistical biological data collected by scientists of KamchatNIRO for many years during the scientific-commercial cruises for 1952–2006 and of commercial statistic data on the catches of yellow-fin sole in the west part of the Bering Sea the abundance and the biomass have simulated for the period 2007–2035 under the terms of no fishing or its' different regimes. Optimal exploitation level for yellow-fin sole of Karaginsky and Olutorsky Gulfs (the west part of the Bering Sea) has figured out as a result of the analysis made. The level should provide the annual catch up to 4.7–5.0 thousand tons under the current state of the population.

Определение параметров регулирования промысла, позволяющих, наряду с сохранением численности популяций промысловых рыб, обеспечивать максимальные уловы, остается одной из наиболее важных задач современной рыбохозяйственной науки.

В настоящий момент наибольшее распространение имеет практика ограничения промыслового изъятия на основе концепции общего допустимого улова (ОДУ). При этом чаще всего ОДУ определяется как доля промыслового или нерестового запаса, которую, без ущерба для популяции, можно выловить в течение календарного года.

Процедура расчета этой доли изъятия на практике, чаще всего, сводится к двум подходам: либо используется методика, основанная на репродуктивной изменчивости популяций промысловых рыб, предложенная Е.М. Малкиным (1999), либо ОДУ определяют, исходя из представлений о «максимально уравновешенном улове» (MSY) (Бабаян, 2000). Причем первый подход получил широкое распространение лишь в последние годы и привлекает специалистов простотой в использовании, поскольку для расчета ОДУ необходим лишь один параметр — возраст массового полового созревания.

Второй — традиционен и используется давно. Отметим также, что хотя оба этих метода достаточно критикуемы (Кузнецов, Кузнецова, 2002; Кузнецов, 2006), однозначного решения проблемы, которое позволило бы уменьшить влияние неопределенностей при расчете величин запаса и ОДУ и, тем самым, свести к минимуму вероятность отрицательных последствий для популяций промысловых рыб, пока не предложено.

В настоящей работе анализируется возможность регулирования промысла желтоперой камбалы юго-западной части Берингова моря с использованием двух критериев: получение наибольшего валового улова для заданного временного интервала (как некий аналог MSY) и поддержание биомассы нерестовой части популяции на оптимальном для воспроизводства уровне. Ранее этот подход для указанной популяции в печати не обсуждался.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы биологическая информация и данные промысловой статистики об уловах желтоперой камбалы в западной части Берингова

моря за период 1952–2006 гг., собранные специалистами КамчатНИРО в период научно-промысловых рейсов.

Ретроспективная оценка численности и биомассы желтоперой камбалы выполнена методом ВПА, на основании которой по модели Рикера (1979) была рассчитана зависимость «запас–пополнение»:

$$R = P \cdot e^{0.411 \cdot \left(1 - \frac{P}{64.76}\right)}, \quad (1)$$

здесь  $R$  — число потомков в возрасте 4 года,  $P$  — количество производителей в нерестовом запасе.

Изменение численности поколений камбалы при прогнозировании определялось по формуле:

$$N_{a+1, y+1} = N_{a, y} \cdot e^{-Z_{a, y}}, \quad (2)$$

здесь  $Z_{a, y} = F_{a, y} + M_{a, y}$  — мгновенный коэффициент общей смертности;  $a, y$  — индексы возрастной группы и года промысла соответственно.

Распределение коэффициентов промысловой смертности по возрастным группам, при прогнозировании численности и биомассы желтоперой камбалы «вперед», было определено как среднее за период 1952–2006 гг.

Входные параметры расчетов представлены в табл. 1, величины пополнения в 2008–2010 гг. были рассчитаны по соотношению (1), исходя из численности нерестового запаса в 2004–2006 гг., и составили соответственно: 81,831, 84,826 и 84,538 млн особей.

Расчет годового вылова камбалы при разной интенсивности промысла и биомассы нерестового запаса составлен на период с 2007 до 2035 гг. В работе использованы пакеты программ “VPA version 3.2”, EXCEL, SURFER.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Краткая история промысла

Начало полномасштабного промыслового освоения камбал Карагинского и Олюторского заливов относится к середине 1950-х годов. Максимальный вылов пришелся на 1958–1959 гг., когда было добыто 32,0 и 20,0 тыс. т, причем вылов основного промыслового вида — желтоперой камбалы — оценивался в 16,3 и 10,3 тыс. т, соответственно (рис. 1).

Основной целью промысла на тот период являлся, по-видимому, максимальный вылов, поэтому не удивительно, что в результате активной нерегулируемой эксплуатации нагрузка на популяцию оказалась чрезмерной, что сразу отразилось на величине годовых уловов. В 1960–1961 гг. добыча сократилась до 0,1–0,2 тыс. т, при том что поиск промысловых скоплений осуществлялся практически круглогодично, в том числе и в обычных местах зимовки.

В 1960–1970-х годах среднегодовой вылов желтоперой камбалы Карагинского и Олюторского заливов составлял 4,7 тыс. т, что на фоне неблагоприятного состояния ресурсов, видимо, являлось существенной промысловой нагрузкой. Поэтому восстановление численности популяции желтоперой камбалы протекало достаточно медленно.

К середине 1990-х годов биомасса промыслового запаса существенно увеличилась и оценивалась на уровне 45–55 тыс. т. Улов желтоперой камбалы в этот период изменялся от 2,5 тыс. т (1994 г.) до 9,1 тыс. т (1998 г.). В последние годы наблюдается очередное снижение численности и биомассы запаса, что требует взвешенного подхода при выборе режима эксплуатации популяции.

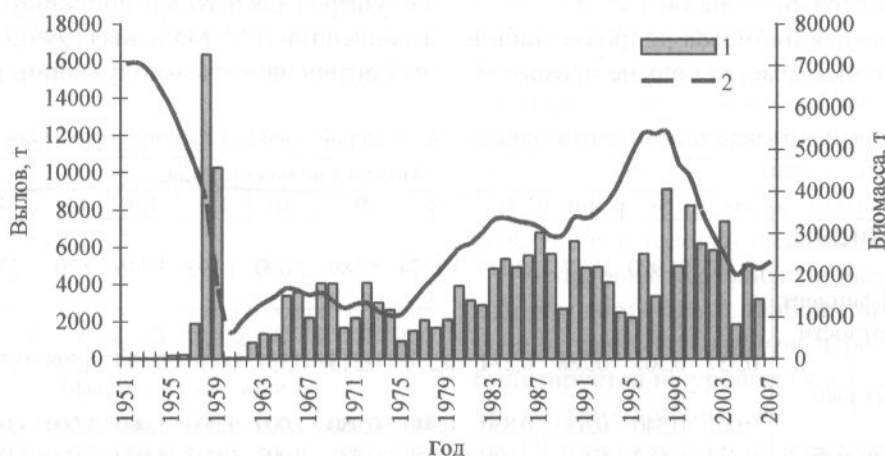


Рис. 1. Вылов (1) и динамика промыслового запаса (2) желтоперой камбалы западной части Берингова моря

### Моделирование динамики запаса в условиях отсутствия промысла

Расчет численности и биомассы желтоперой камбалы на период 2007–2035 гг. производили на основании соотношений (1, 2) и входных данных, представленных в табл. 1 при нулевой промысловой смертности.

Вообще говоря, известно, что усредненные зависимости «запас–пополнение» не отражают истинных взаимосвязей между родителями и потомками в популяции (Хилборн, Уолтерс, 2001) и отклонений в реальных величинах пополнения при одной и той же биомассе нерестового запаса. В некоторых случаях, при моделировании динамики численности сильнофлуктуирующих запасов, в расчеты, основанные на кривых воспроизводства, вводятся поправки, позволяющие уменьшить неопределенность, связанную с влиянием условий среды (Ковалев, Коржев, 2002).

Однако для камбал, характерной особенностью биологии которых является как раз большая стабильность урожайности поколений и тесная связь между величиной пополнения и численностью родителей (Борец, 1997), видимо, можно в первом приближении непосредственно использовать кривые воспроизводства Рикера для моделирования динамики запаса.

Как можно видеть, если зависимость «запас–пополнение» для желтоперой камбалы Карагинского и Олюторского заливов действительно близка к кривой, описываемой соотношением (1), то в условиях отсутствия промысла популяция начинает достаточно быстро наращивать свою численность, и в течение 10-летнего периода ее биомасса практически удваивается (рис. 2). После этого начинают сказываться плотностные факторы, темпы прироста резко замедляются, и к 2035 г. промысловый запас стабилизируется на уровне 53 тыс. т, а нерестовый — на 60 тыс. т.

То, что расчетная биомасса репродуктивной части популяции оказывается больше промысло-

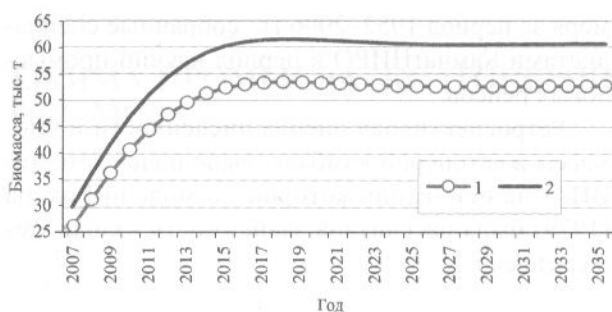


Рис. 2. Прогнозируемая биомасса промысловой (1) и нерестовой (2) части популяции желтоперой камбалы за западной части Берингова моря в условиях отсутствия промысла

вой, не является ошибкой и не должно вводить в заблуждение. Половина самцов созревает в возрасте 4,6 года при длине 21,4 см; у самок эти показатели составляют 7,7 года и 28,5 см. При длине 25 см или менее в среднем около 90% самцов и 20% самок являются половозрелыми и составляют около половины нерестовой части популяции. С другой стороны, согласно существующим в настоящий момент Правилам регулирования, в промысловый запас входят рыбы длиной от 25 см (по АС) и более. Поэтому нерестовый запас желтоперой камбалы северо-востока Камчатки больше промыслового.

Примечателен и тот факт, что при отсутствии эксплуатации расчетная промысловая биомасса стабилизируется на уровне, очень близком к тому, который фактически наблюдался в середине 1950-х годов до начала масштабного промысла камбал в Олюторском и Карагинском заливах (рис. 1).

### Моделирование динамики запаса при различных уровнях эксплуатации

Если при регулировании промысла под ОДУ понимается доля запаса, которую можно изъять без ущерба для него, как постулируется, например, в концепции Е.М. Малкина (1999), то это означает, что интенсивность эксплуатации, при любом со-

Таблица 1. Параметры для расчета численности и биомассы желтоперой камбалы Карагинского и Олюторского заливов

	Возраст на начало года												
	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+	16+
Численность на 01.01.2007, ВПА, тыс. экз.	81 583	55 920	35 774	22 117	12 474	5 189	2 690	1 792	1 246	670	234	78	31
Мгновенный коэффициент естественной смертности М, 1/год	0,357	0,301	0,288	0,274	0,274	0,315	0,357	0,416	0,494	0,598	0,734	0,916	0,916
Доля промысловых рыб, АС > 25 см, %	0,001	0,340	0,650	0,830	0,940	0,980	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Доля половозрелых рыб, %	0,234	0,582	0,828	0,920	0,958	0,981	0,992	0,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Средняя масса, кг	0,132	0,178	0,227	0,279	0,333	0,390	0,449	0,510	0,573	0,638	0,705	0,773	0,842

стоянии популяции, предполагается одинаковой. Хотя очевидно, что при низком уровне запаса промысловая нагрузка на него должна быть меньшей, по сравнению с периодами высокого и среднего уровня.

Рассчитаем численность и биомассу желтоперой камбалы Карагинского и Олюторского заливов при различных уровнях промысловой нагрузки ( $U$  — коэффициент эксплуатации) для периода 2007–2035 гг. При этом будем фиксировать суммарный вылов —  $C$ , а также величину, на которой стабилизируется биомасса производителей —  $B$ , по окончании прогнозного периода.

Как можно видеть (рис. 3), максимальный улов желтоперой камбалы может быть достигнут при постоянной промысловой нагрузке  $U = 0,4$ , и составит 162,3 тыс. т, или в терминах среднегодового вылова — 5,6 тыс. т. При дальнейшем наращивании режима эксплуатации происходит постепенное снижение аккумулированного вылова, поскольку пополнение полностью не восполняет убыль от промысла.

Таким образом, превышение уровня изъятия  $U = 0,4$  нецелесообразно при использовании долговременной стратегии на максимальный суммарный вылов. Отметим также, что уровень среднегодовых уловов свыше 5,0 тыс. т может быть достигнут в весьма широком диапазоне значений  $U$ : от 0,22 до 0,76. Иначе говоря, при незначительных отличиях в валовом вылове, уровень промысловой нагрузки может быть существенно различен. Очевидно, что оптимальное значение  $U$  должно находиться в интервале от 0,2 до 0,4, однако использование только одного ориентира управления — максимального вылова на определенном временном интервале — не позволяет осуществить более точный выбор этого параметра.

Рассмотрим, как ведет себя нерестовый запас желтоперой камбалы при увеличении промысловой нагрузки. Как можно видеть (рис. 4), значение, на котором по истечении моделируе-



Рис. 3. Моделирование суммарного вылова желтоперой камбалы западной части Берингова моря за период 2007–2035 гг. при различных режимах эксплуатации



Рис. 4. Моделирование уровня стабилизации нерестовой биомассы желтоперой камбалы западной части Берингова моря за период 2007–2035 гг. при различных режимах эксплуатации. 1 — оптимальная биомасса  $B_{tr} = 30,4$  тыс. т; 2 — биомасса, соответствующая максимально возможному среднегодовому улову  $B = 14,6$  тыс. т; 3 — критический уровень  $B_{min} = 9,8$  тыс. т

мого периода стабилизируется биомасса производителей, по мере возрастания  $U$  быстро уменьшается.

По современным представлениям о динамике численности этой популяции, оптимальной величиной нерестовой биомассы, при которой наблюдалось наибольшее пополнение, является  $B_{tr} = 30,4$  тыс. т. Этот уровень может быть достигнут, если коэффициент эксплуатации составляет всего лишь 0,18. Отметим, что это значение очень близко к таковому, определяемому для желтоперой камбалы на основании концепции Е.М. Малкина, согласно которой при возрасте массового созревания самок в популяции — 7 лет — допускается изъятие не более 18,6% промыслового запаса.

Критическим значением, по достижении которого промысел желтоперой камбалы в Карагинском и Олюторском заливах необходимо полностью прекращать, считается  $B_{min} = 9,8$  тыс. т. Эта величина оправданна и с экономической точки зрения, такой уровень производителей наблюдался в 1960–1961 гг., после существенного перелома в предыдущие несколько лет. Напомним, что вылов для этих лет, при значительном количестве промысловых усилий, составил лишь 0,1–0,2 тыс. т. Указанное значение может быть достигнуто, если коэффициент годовой эксплуатации составит 0,54.

Если принять за ориентир значение  $U = 0,4$ , при котором достигается наибольший среднегодовой улов, то при такой нагрузке нерестовый запас стабилизируется на уровне 14,6 тыс. т, т. е. величине, достаточно близкой к критическим значениям. Обычно в таких случаях рекомендуется снижать промысловую нагрузку на популяцию.

Исходя из результатов проведенного анализа, следует заключить, что оптимальным уровнем эксплуатации запаса желтоперой камбалы Каргинского и Олюторского заливов является годовое изъятие, равное 0,18–0,22 от промыслового запаса. При современном состоянии популяции, такой режим позволит вылавливать до 4,7–5,0 тыс. т этого вида, а с учетом его доли в снорреводных уловах (72%) — до 6,5–6,9 тыс. т всех камбал в год. При этом величина нерестового запаса будет оставаться в пределах, близких к оптимальной: 30,4–26,4 тыс. т, что обеспечит воспроизводство, необходимое для поддержания популяции в стабильном состоянии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). Анализ и рекомендации по применению. М.: ВНИРО, 192 с.
- Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-центр, 217 с.
- Золотов А.О. 2008. Особенности размерно-возрастной структуры, линейного роста и полового созревания желтоперой камбалы *Limanda aspera* Pallas (1814) юго-западной части Берингова моря // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 152. С. 99–113.
- Ковалев Ю.А., Коржев В.А. 2002. Модель регулирования промысла лофотено-баренцевоморской трески // Вопр. рыболовства. Т. 3. № 2 (10). С. 264–276.
- Кузнецов В.В. Система регулирования рыбного промысла на основе синтеза различных подходов // Вопр. рыболовства. 2006. Т. 7. № 2 (26). С. 208–221.
- Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н. 2002. О методологических основах определения допустимого улова // Рыб. хоз-во. № 1. С. 30–32.
- Малкин Е.М. 1999. Репродуктивная и численная изменчивость промысловых популяций рыб. М.: ВНИРО, 146 с.
- Рикер У.Е. 1979. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть, 408 с.
- Хилборн Р., Уолтерс К. 2001. Количественные методы оценки рыбных запасов. Выбор, динамика и неопределенность // Пер. с англ. В.П. Максименко; Под ред. В.С. Левина. Санкт-Петербург: Политехника, 228 с.