

ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕРЕСТОВОЙ БИОМАССЫ КАМБАЛ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

Ю. П. Дьяков

*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский*

A LONG-TERM FORECAST OF THE DYNAMICS OF FLATFISH SPAWNING STOCK BIOMASS IN THE EASTERN OKHOTSK SEA

Yu. P. Dyakov

*Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
(KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky*

К массовым камбалам, имеющим то или иное промысловое значение и обитающим в пределах западнокамчатского шельфа, можно отнести пять видов: желтоперую *Limanda aspera* (Pallas), четырехбугорчатую *Pleuronectes quadrituberculatus* (Pallas), сахалинскую *Limanda sakhalinensis* (Hubbs), хоботную *Myxopsetta proboscidea* (Gilbert) и палтусовидную *Hippoglossoides elassodon* (Jordan et Gilbert).

Регулярная оценка запасов перечисленных видов ведется с начала 1960-х гг. посредством траловой съемки. Материалом для исследований послужили результаты летних учетных съемок с 1963 по 2011 г. На основе моделирования динамики биомассы нерестовой части популяций камбал предпринята попытка составления ее долгосрочного прогноза.

Моделирование и последующие прогнозы основаны на анализе временных рядов и на следующих предпосылках.

1. Существуют определенные закономерности и тенденции в динамике биомассы популяции в сложившемся диапазоне условий среды.

2. Такие же или близкие условия среды сохраняются в течение периода, на который дается прогноз.

В многолетней динамике численности и биомассы популяций или комплекса популяций можно выделить две основные составляющие: общий многолетний тренд и колебания относительно этого тренда. Для исследования тренда динамики нерестовой биомассы камбал использовали регрессионный анализ, а межгодовых ее колебаний – периодограммный анализ. Для нерестовой биомассы камбал свойственны сложные гармонические колебания относительно нелинейных трендов.

Характеризуя нерестовую биомассу, необходимо отметить, что

у отдельных популяций она изменяется относительно больше, чем суммарная биомасса пяти видов (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты вариации нерестовой биомассы западнокамчатских камбал в течение периода исследований

| Виды камбал | Коэффициенты вариации (%) |
|--------------------|---------------------------|
| Желтоперая | 90.8 |
| Четырехбугорчатая | 117.7 |
| Сахалинская | 102.0 |
| Хоботная | 113.7 |
| Палтусовидная | 107.7 |
| Суммарная биомасса | 81.3 |

Это может свидетельствовать о том, что стабилизация репродуктивной биомассы экологически близких и совместно обитающих видов осуществляется, в первую очередь, на уровне их комплекса, а потом уже на уровне отдельных популяций. В пользу такой точки зрения может говорить и то, что осциллирующий характер колебаний **суммарной биомассы** после определенного периода переходит во флуктуирующий, т. е. экспоненциальный рост сменяется логистическим.

Модели динамики биомассы западнокамчатских камбал построены на основании комплекса периодических и непериодических функций. В качестве непериодических составляющих использованы экспоненциальная: $Y = ae^{bx}$ и логистическая (аналитическое уравнение Ферхюльста): $Y = N / (1 + 10^{a+bx}) + C$ функции (Лакин, 1980), а периодической: $Y = C_0 + C_i \sin(\omega t + \Theta) + \dots$ $C_n \sin(\omega t + \Theta)$ (Руднев, Палий, 1964). Аналитические модели выглядят следующим образом:

– для желтоперой камбалы:

$$B_i = 96,6 + 27,8243 \sin(1,0178t_i + 69,7815) - 17,47 \sin(0,6130t_i - 21,6057) + 33,3491 \sin(0,4378t_i - 25,5553) - 141,35e^{-0,1129t_i};$$

– для четырехбугорчатой камбалы:

$$B_i = 29,7 + 15,0045 \sin(1,6647t_i + 27,6896) + 13,5117 \sin(1,0463t_i + 75,0755) + 16,4635 \sin(0,6607t_i + 60,2147) + 0,3219e^{0,0859t_i};$$

– для сахалинской камбалы:

$$B_i = 72,6 + 36,8662 \sin(1,6127t_i + 22,8091) + 38,7696 \sin(0,8957t_i - 40,7563) + 15,9128 \sin(0,7105t_i - 4,3207) + 37,8938 \sin(0,5835t_i + 9,6727) + 268 / [1 + 10^{(1,5837 - 0,0366t_i)}] + 1,2;$$

– для хоботной камбалы:

$$B_i = 16,5 + 11,5616 \sin(1,1269t_i + 78,1559) + 10,7488 \sin(0,6391t_i - 32,7135) + 15,3049 \sin(0,5467t_i - 22,4544) + 3,7628 e^{0,0377t_i};$$

– для палтусовидной камбалы:

$$B_i = 37,5 + 9,3822 \sin(2,0198t_i + 4,9713) + 26,3765 \sin(0,9062t_i - 8,8221) + 9,0826 \sin(0,5363t_i + 36,0803) + 168,6 / [1 + 10^{(3,4016 - 0,0713t_i)}] + 1,8;$$

где B_i – нерестовая биомасса, тыс. т, t_i – порядковый номер года, начиная с 0 – 1963 г., 1 – 1964 г., 62 – 2025.

Построенными моделями прогнозируется возрастание среднегодовалого уровня биомассы, главным образом, у сахалинской камбалы (максимальные величины прогнозируются в середине 2010-х и середине 2020-х гг., а минимальные – в начале 2020-х гг.) и у палтусовидной камбалы (максимальные величины ожидаются во второй половине 2010-х и середине 2020-х гг., а минимальные – в начале и конце 2010-х гг.). Модель не показывает существенного роста нерестовой биомассы желтоперой камбалы. Ожидается, что она будет колебаться около среднего, достигнутого в последние десятилетия, уровня. Биомассы четырехбугорчатой и хоботной камбал достигнут максимума в конце 2010-х гг., затем, в начале 2020-х гг., резко снизятся с последующим подъемом.

Модель суммарной нерестовой биомассы популяций камбал в аналитическом виде выглядит следующим образом:

$$B_i = [252,9 + 128,4954 \sin(1,6126t_i + 23,1408) + 95,4865 \sin(0,8826t_i - 33,8467) + 117,9519 \sin(0,7235t_i + 2,2559) + 93,6290 \sin(0,4833t_i - 27,3708) + 0,4016 * e^{0,1617t_i}] * \alpha_i + [252,9 + 113,4793 \sin(1,8031t_i + 20,6812) + 137,5656 \sin(0,8916t_i) + 163,0104 \sin(0,6737t_i) + 59,2089 \sin(0,4552t_i) + 722,5 / [1 + 10^{(2,8090 - 0,0533t_i)}] + 37,3] * \beta_i;$$

где B_i – нерестовая биомасса, тыс. т;

t_i – порядковый номер года, начиная с 0 – 1963 г., 1 – 1964 г., 62 – 2025.

α_i и β_i – двоичные коды (α_i равна 1 – в период 1963–1999 гг. и 0 – в период 2000–2025 гг. β_i равна 0 – в период 1963–1999 гг. и 1 – в период 2000–2025 гг.).

В графическом виде данная модель показана на рисунке.

Модель прогнозирует значительное снижение суммарной биомассы во второй половине 2010-х и резкий ее подъем с последующим падением в первой половине 2020-х гг.

Необходимо отметить, что прогноз динамики суммарной биомассы камбал плохо совпадает либо не совпадает совсем с ее ожидаемыми изменениями у отдельных видов. Вызвано это, по всей видимости, особенностями варьирования межвидового соотношения в общей биомассе рассматриваемого комплекса камбал.

Сделана оценка точности описания соответствующими моделями



Эмпирические и модельные значения суммарной нерестовой биомассы западнокамчатских камбал

учтенной при съемках биомассы отдельных популяций и ее суммарной величины (табл. 2).

Таблица 2. Средние отклонения (в %) смоделированных значений нерестовой биомассы камбал от учтенных в процессе траловых съемок величин в периоды популяционного роста

| Виды камбал | Желтоперая | Четырехбугорчатая | Сахалинская | Хоботная | Палтусовидная | Сумма модельных значений | Модель суммарной биомассы |
|----------------|------------|-------------------|-------------|----------|---------------|--------------------------|---------------------------|
| Отклонения (%) | 24.3 | 73.7 | 161.2 | 124.0 | 37.6 | 41.3 | 28.3 |

Судя по величине отклонений модельных значений от фактических данных, при помощи моделей наиболее удовлетворительно интерпретируется динамика нерестовой биомассы желтоперой камбалы и суммарная нерестовая биомасса всех исследуемых видов. Нужно отметить, что желтоперая камбала занимает ведущее место по биомассе среди других камбал в восточной части Охотского моря. Несколько хуже поддается моделированию изменчивость нерестовой биомассы палтусовидной камбалы, основные концентрации которой располагаются отдельно от других видов на более значительных глубинах. Моделирование остальных видов

камбал показало существенно худшие результаты. При перспективном прогнозировании единая модель суммарной биомассы камбал гораздо предпочтительнее суммирования модельных значений для каждого вида.

ЛИТЕРАТУРА

Лакин Г. Ф. 1980. Биометрия. – М. : Высшая школа. – 292 с.

Руднев К. М., Палий Н. Ф. 1964. Океанографические методы в рыбопромысловых исследованиях. – Калининград : АтлантНИРО. – 110 с.