

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК 597.585.4.574.34

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ЯПОНСКОЙ КАМБАЛЫ
PSEUDOPLEURONECTES YOKOHAMAE В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ) И ФАКТОРЫ, ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

© 2013 г. А. Н. Вдовин, С. Ф. Соломатов, Ю. И. Зуенко

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток, 690050

Поступила в редакцию 03.09.2012 г.

Окончательный вариант получен 12.02.2013 г.

Исследована динамика численности японской камбалы в заливе Петра Великого с 1984 по 2011 гг. После периода высокой численности 1980–1990-х гг. произошла снижение запасов этого вида, и лишь в последние годы намечилось их восстановление. Урожайность поколений японской камбалы в значительной степени определяется нерестовым запасом, но зависит также от условий осеннего нагула молоди, индикатором которых является температура верхнего слоя промежуточных вод. Моделирование этих связей позволило оценить еще не вступившие в промысел поколения 2010–2011 гг. как высокоурожайные, что соответствует 20–30-летней цикличности в изменениях запаса японской камбалы.

Ключевые слова: камбала японская, *Pseudopleuronectes yokohamae*, залив Петра Великого, Японское море, динамика численности, урожайность поколений, нерестовый запас, апвеллинг, аномалии температуры, моделирование численности.

Японская камбала *Pseudopleuronectes yokohamae* относится к низкоборсальным субтропическим видам (Соколовский и др., 2011) и в заливе Петра Великого доминирует среди камбаловых *Pleuronectidae*, занимая первое-третье места в уловах камбал (Ким, 2002). По данным съемок, доля ее в донном ихтиоценозе колеблется от 3,0 до 14,0% (составляя в среднем за исследованный период 7,1%). Несмотря на ее значительную роль в донном ихтиоценозе и промысле, состояние запасов и динамика численности этого вида ранее предметно не рассматривались, хотя некоторые сведения о ее биологии с оценками колебаний обилия приводятся в научных публикациях (Ким, 2002; Иванкова, 2009 и др.).

Работа выполнена для восполнения этого пробела, ее задачи – исследование динамики численности японской камбалы и определение возможных причин изменений ее запасов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для оценки обилия японской камбалы использованы данные донных траловых съемок, выполненных в зал. Петра Великого на глубинах 5–300 м в период с 1984 по 2011 гг. (МРС-055, МРС-5005 (типа МРС-225), МРТК «Янтарь», РК МРТ «Лаукува») 21,0–23,2-метровыми донными тралами типа ДТ/ТВ с горизонтальным раскрытием 13 м, вооруженными мягким грунтропом. Траления проводили только в светлое время суток. Всего было выполнено 20 съемок

с общим количеством станций 2282, на которых промерено 33601 экз. японской камбалы.

Разбор уловов выполняли по принятым во ФГУП «ТИНРО-Центр» стандартным методикам исследований морских рыб (Борец, 1985). Для получения сравнимых данных о распределении рыб при разных скоростях траления уловы на час траления пересчитывали на плотность концентрации рыб:

$$Pn(w) = Cn(w) \times (1000000/q),$$

где $Pn(w)$ – удельная численность (биомасса), экз/км² (кг/км²); $Cn(w)$ – улов на час траления в численном (экз.) или весовом (кг) выражении; q – площадь облова тралом (м²) за часовое траление (Вдовин и др., 2009). Затем рассчитывали общую промысловую численность и промысловую биомассу рыб, используя метод зональных средних (Аксютин, 1968):

$$Bn(w) = Pn(w) \times S \times k,$$

где $Bn(w)$ – оценка запаса в штучном или весовом выражении, S – площадь обследованной акватории, k – коэффициент уловистости. При расчетах использовали как стандартный коэффициент уловистости, принятый для большинства видов камбал равным $k_{ст} = 0,5$ (Гаврилов и др., 1988), так и дифференцированные коэффициенты уловистости ($k_{диф}$) для этого вида, меняющиеся в зависимости от размеров и плотности концентраций рыб (Вдовин, 2000) (табл. 1). При использовании дифференцированных коэффициентов в связи с небольшими объемами для малых плотностей нулевые значения меняли на 0,01 (подробно методика расчета запасов с применением дифференцированных коэффициентов уловистости изложена в работе: Панченко, Вдовин, 2005).

Для характеристики состояния среды в районе обитания молоди японской камбалы использовали модальные температуры основных водных масс: поверхностной прибрежной, поверхностной субарктической, глубоинной шельфовой и верхнего слоя (до глубины 200 м) промежуточной япономорской водной массы (Зуенко, 1998, 2008). Молодь японской камбалы обитает преимущественно в поверхностных водных массах, а термическое состояние пихедежапих водных масс косвенно характеризует динамические процессы на шельфе, такие как приливное перемешивание и апвеллинги. Многолетние изменения температуры водных масс прослежены по данным измерений на

Таблица 1. Коэффициенты уловистости (k) японской камбалы в зависимости от длины (L) и плотности концентраций (Pn)

Table 1. Coefficients of catchability for Japanese flounder in dependence on its body length (L) and density of distribution (Pn)

Pn , тыс. экз/км ²	L , см						
	5–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–35	>35
3<	0,01	0,04	0,08	0,21	0,25	0,26	0,07
3–8	0,01	0,04	0,08	0,21	0,3	0,41	0,21
>8	0,01	0,06	0,18	0,24	0,52	0,63	0,34

стандартном разрезе, расположенном к югу от Владивостока вдоль 132° в.д., между 43°00'–41°30' с.ш., со станциями через 10 миль и чаще. Разрез выполняется несколько раз в год. Для каждого года был восстановлен сезонный ход всех параметров, и с графиков сезонного хода сняты их значения на середины каждого месяца; таким образом, изменения среды характеризовались 48 многолетними рядами температуры воды.

Для количественного сравнения изменений запаса и других оценок обилия камбалы и параметров среды использовали корреляционный анализ. Значимость выявленных связей оценивали путем статистической проверки нулевой гипотезы с помощью распределения Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В траловых уловах отмечены особи японской камбалы размером от 8 до 49 см, преимущественно 15–42 см. При применении в расчетах стандартного коэффициента уловистости (0,5) лучше всего учитывались особи длиной 26–30 см, а при использовании дифференцированных коэффициентов – 21–25 см (рис. 1).

Следует указать, что в отдельных съемках (1984–1986 гг.) обеспеченность промерами была недостаточной, и в этом случае использовались $k_{\text{дифф}}$ только по градациям плотности, безотносительно размеров. Оценки обилия, рассчитанные с использованием дифференцированных коэффициентов уловистости, превышают таковые, полученные со стандартным коэффициентом уловистости, в 1,75 раза по биомассе и в 2,05 раза по численности, а также характеризуются меньшей дисперсией (для биомассы и численности, рассчитанных с использованием $k_{\text{дифф}}$, коэффициенты вариации составляют соответственно 53,2 и 78,1 %, а для биомассы и численности, рассчитанных при помощи $k_{\text{ст}}$ – 85,0 и 92,3 % соответственно). Эти

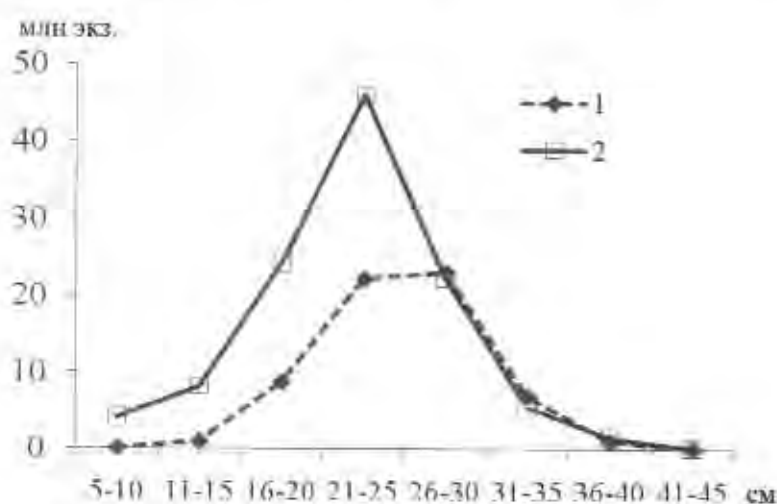


Рис. 1. Численность размерных групп японской камбалы в зал. Петра Великого, рассчитанная по съемке 1996 г. с использованием стандартного (1) и дифференцированных (2) коэффициентов уловистости.

Fig. 1. Abundance of size groups of Japanese flounder in Peter the Great Bay calculated from the data of trawl survey obtained in 1996 with using the standard (1) and the differential (2) coefficients of catchability.

различия обусловлены лучшей учитываемостью мелкоразмерных групп камбалы при использовании дифференцированных коэффициентов и за счёт этого – большей инерционностью в изменчивости оценок запаса.

Вместе с тем крупномасштабные тенденции в динамике тех и других оценок весьма схожи и заключаются в резком сокращении величины учтенного запаса японской камбалы в конце 1990-х–начале 2000-х гг. с наметившимся в последнее время новым подъёмом (рис. 2). Максимальный запас отмечен в 1991–1996 гг., а минимальный – в 2006 г., т.е. период снижения запаса длился 10–15 лет. Можно предположить, что изменения запаса происходят циклически, с периодом 20–30 лет.

Динамика запасов определяется изменениями урожайности поколений. За индекс урожайности поколений принята численность размерной группы 21–25 см, рассчитанная при использовании $k_{инфр}$, считая, что большая часть особей этой длины представлена в возрасте 3+. К сожалению, публикаций по росту японской камбалы в северо-западной части Японского моря нет. Известно только, что созревает она в возрасте 3 лет при длине 20 см (Соколовский и др., 2011) и что длине японской камбалы 22–24 см соответствует возраст 3+ (Ким, 2002). Для более крупных рыб идентификация возраста по длине затруднительна, а рыбы размером менее 20 см представлены в уловах в меньшем количестве, таким образом, численность размерной группы 21–25 см является наиболее удобным индикатором урожайности поколений. Значения этого индекса отнесены к годам рождения поколений, т.е. сдвинуты на три года от года поимки этой размерной группы.

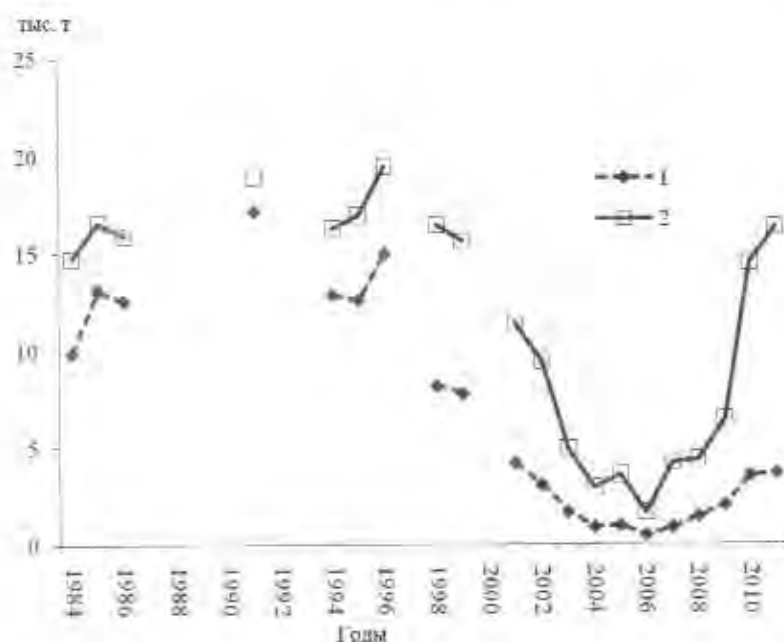


Рис. 2. Динамика биомассы японской камбалы в съемках зал. Петра Великого, рассчитанных с помощью $k_{срм}$ (1) и $k_{инфр}$ (2).

Fig. 2. Dynamics of the Japanese flounder biomass in Peter the Great Bay assessed with using $k_{срм}$ (1) и $k_{инфр}$ (2).

Для оценки зависимости динамики запаса японской камбалы от биотических и абиотических факторов были восстановлены пропуски в ряду урожайности поколений для 1987–2008 гг., обусловленные тем, что траловые съёмки выполнялись не ежегодно (17 раз за 22-летний период исследований с 1990 по 2011 гг.). Процедура восстановления численности размерных групп по данным о размерном составе в смежные годы подробно описана нами ранее (Вдовин, 2011). Суть ее состоит в возможности интерполяции численности особей длиной 21–25 см (подразумеваемая, что это возрастная группа 3+) по численности последующих размерных групп 26–30, 31–35, 36–40, 41–45 и 46–50 см (подразумеваемая, что это последующие возрастные группы) с использованием экспоненциальной функции. Эта возможность основывается на свойстве экспоненциального убывания численности рыб с возрастом (Риккер, 1979). Коэффициенты детерминации такого убывания экспоненциальной функцией составляют 0,59–0,99 для разных последовательностей лет. Таким образом, если численность поколения в возрасте 3+ не удавалось определить в каком-либо году прямым учётом, она оценивалась по данным съёмки, выполненным в последующие годы. Результаты различных способов расчета весьма сопоставимы – коэффициент корреляции между значениями, полученными по данным съёмки, и значениями восстановленной численности составляет 0,95.

Динамика индекса урожайности поколений весьма схожа с динамикой нерестового запаса (рис. 3), за величину которого принята суммарная численность особей крупнее 20 см (для заполнения пропусков в ряду наблюдений также использовались восстановленные данные о численности). Линейная корреляция между этими показателями довольно высока и для всего периода исследований в целом характеризуется $r = +0,75$. Однако она обусловлена их положительной связью в

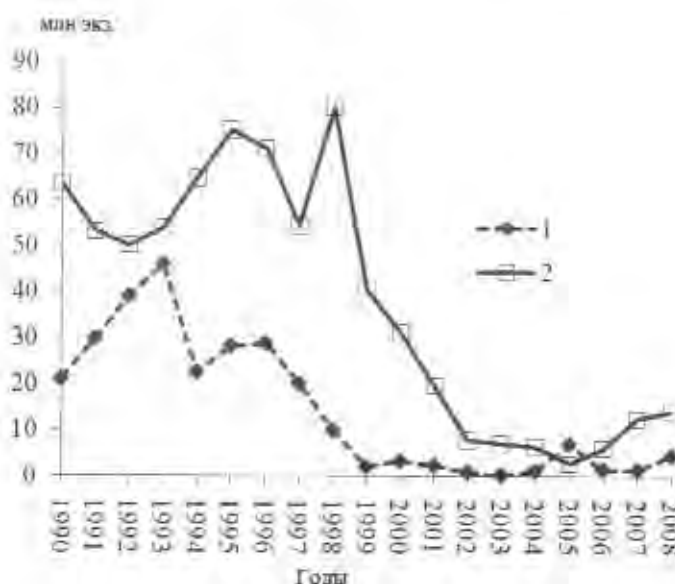


Рис. 3. Динамика индекса урожайности поколений (1) и нерестового запаса (2) японской камбалы залива Петра Великого в 1990–2008 гг.

Fig. 3. Dynamics of the year-class strength (1) and spawning stock (2) of Japanese flounder in Peter the Great Bay in 1990–2008.

период понижения запасов, а в периоды относительно стабильного запаса, как высокого, так и низкого, зависимость между нерестовым запасом и урожайностью поколений – слабая и даже отрицательная (табл. 2).

Зависимость индекса урожайности поколений (УП) от величины нерестового запаса (НЗ) близка к линейной и может быть аппроксимирована функцией:

$$УП = 0,38 НЗ - 0,38.$$

Коэффициент детерминации этой модели составил 0,48, т.е. колебания нерестового запаса обуславливают почти половину дисперсии ряда индекса урожайности поколений. Однако поколения ряда лет имеют значительные отклонения от этой зависимости в большую или меньшую сторону, не связанные с состоянием родительского стада. Вероятно, эти отклонения обусловлены влиянием условий среды, по крайней мере, отчасти.

Чтобы оценить вклад влияния изменений условий среды независимо от влияния численности родительского стада, использовано отношение УП/НЗ, иногда называемое «индексом эффективности воспроизводства» (Зуенко, 2011), аналогичное широко распространенному индексу RPS (recruitment per stock), равному отношению численности пополнения к нерестовому запасу. В исследованный период этот индекс менялся в широких пределах – от 0,02 до 0,8 (рис. 4). При сравнении этих изменений с изменениями различных показателей среды значимая связь обнаружена только с изменениями осенних температур в верхнем слое промежуточных вод. Заметим, что этот параметр не отражает термическое состояние поверхностных вод, в которых обитают сеголетки японской камбалы. Однако он является косвенным показателем интенсивности осеннего апвеллинга: чем сильнее апвеллинг, тем ниже температура в верхнем слое промежуточных вод вблизи шельфа. Поскольку связь положительная, очевидно, что осенние апвеллинги не благоприятствуют выживанию сеголеток японской камбалы.

Примечательно, что выявленное значимое влияние условий среды на формирование численности пополнения происходит не на ранних стадиях онтогенеза. Обычно считается, что рыбы наиболее подвержены воздействию факторов среды в раннем онтогенезе (Кушинг, 1979 и многие другие). Однако известны и другие примеры. В частности, японскими учеными отмечено, что численность сеголеток дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* в период от личинки, перешедшей на внешнее питание, до годовика меняется настолько

Таблица 2. Коэффициенты линейной корреляции (r) между индексом урожайности поколений и величиной нерестового запаса японской камбалы в разные периоды

Table 2. Coefficients of linear correlation (r) between the year-class strength and the spawning of Japanese flounder in certain years

Период, гг.	r
1990–1994	-0,51
1995–2003	+0,88
2004–2008	-0,65

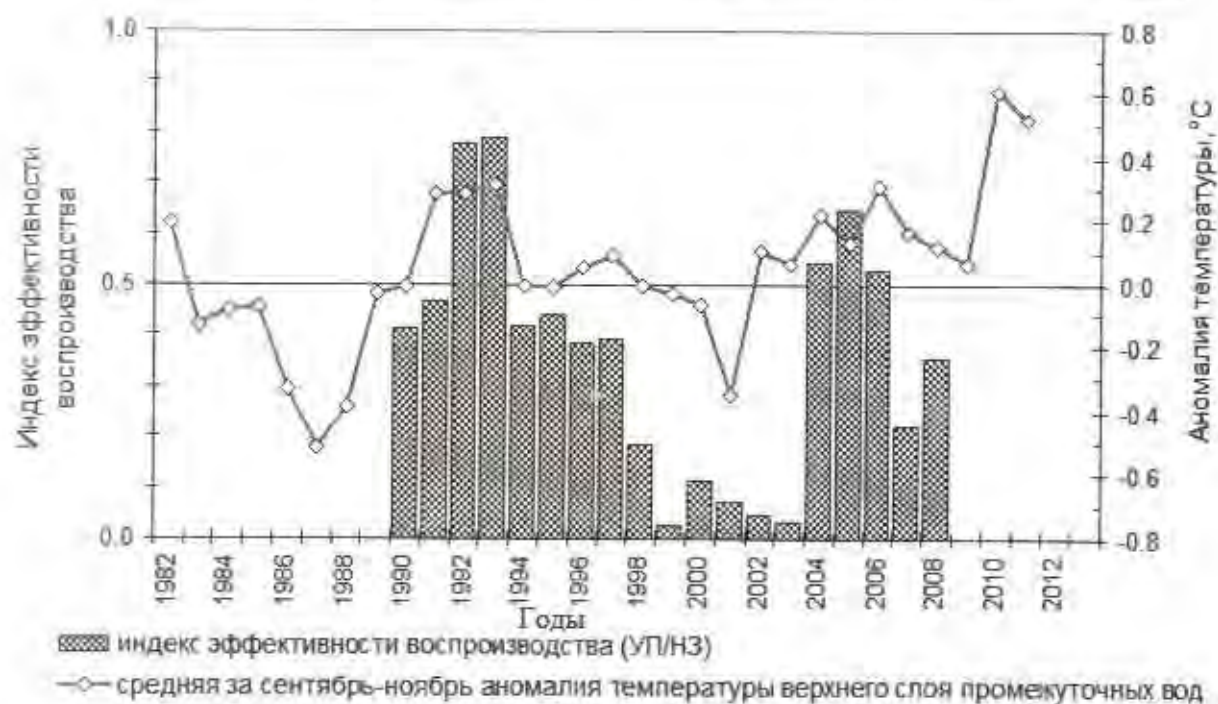


Рис. 4. Межгодовые изменения индекса эффективности воспроизводства японской камбалы (1990–2008) и средних аномалий температуры верхнего слоя промежуточных вод на стандартном разрезе по 132° в.д. в сентябре–ноябре.

Fig. 4. Year-to-year changes of the reproduction efficiency index for Japanese flounder (1990–2008) and the temperature anomaly in the upper Intermediate Water at the standard section along 132° E averaged for September–November.

резко, что связь между численностью постличинок и годовиков отсутствует, в то время как межгодовые изменения обилия икры, предличинок и постличинок сардины происходят приблизительно синхронно (Watanabe et al., 1995).

Чем же плохи условия апвеллинга для молоди японской камбалы? Молодь этого вида, в отличие от других видов камбал, постоянно обитает в поверхностной водной массе в тех районах, где она распространяется до дна моря (Вдовин, Зуенко, 1997). В конце лета эта зона весьма широка и достигает в среднем 50-метровой изобаты. Но в случае развития апвеллинга она стремительно сокращается до узкой прибрежной полосы, ограниченной изобатой 10–15 м (Зуенко, 2008). Стремясь удержаться в поверхностной водной массе (в начале осени еще очень теплой), японская камбала совершает предзимовальную миграцию к берегу. Насколько зависит интенсивность миграции к берегу от развития апвеллинга, пока трудно сказать. Однако осенью в заливе Петра Великого не раз наблюдалось массовое, неожиданное для рыбаков-любителей, появление у берега японской камбалы (вместе с другими видами камбал, которые впоследствии отходили зимовать на большие глубины). Плотные осенние скопления камбал на мелководье обычно сохраняются до трех-четырех дней. Вероятно, резкое и быстрое сокращение нагульного ареала молоди японской камбалы не способствует ее эффективному нагулу, который особенно важен для подготовки этого вида к зимовке в суровых условиях прибрежной зоны.

Обнаруженная зависимость формирования численности поколений японской камбалы от осенних условий среды существенно слабее, чем его зависимость от состояния нерестового запаса, по учёт совместного влияния этих факторов позволил создать мультипликативную модель урожайности поколений камбалы с весьма высоким уровнем детерминации ($r^2 = 0,79$) вида:

$$УП = [a \times \exp(bT)] \times НЗ,$$

где T – средняя за сентябрь–ноябрь аномалия температуры верхнего слоя промежуточных вод, а a и b – эмпирические коэффициенты (рис. 5). Эта модель может быть применена для расчёта численности уже родившихся, но пока не учитываемых траловыми съёмками поколений японской камбалы, что дает основу для прогнозирования ее промыслового запаса с заблаговременностью один-два года.

Данная модель позволяет предположить, что в 2010–2011 гг. на основе умеренного нерестового запаса сформировались высокоурожайные поколения японской камбалы (см. рис. 5), оценить вклад которых в учитываемый запас путем прямого учета мы сможем не раньше 2013 г. Эти годы отличались в Приморье задержкой развития зимнего муссона, слабыми апвеллингами и повышенными температурами в верхнем слое промежуточных вод, что дает основание ожидать высокую выживаемость сеголесток японской камбалы.

Если этот прогноз оправдается, то поколения 2010–2011 гг. станут основой учитываемого запаса в течение нескольких лет после 2013 г., так как самыми массовыми возрастными группами в уловах японской камбалы являются особи в воз-

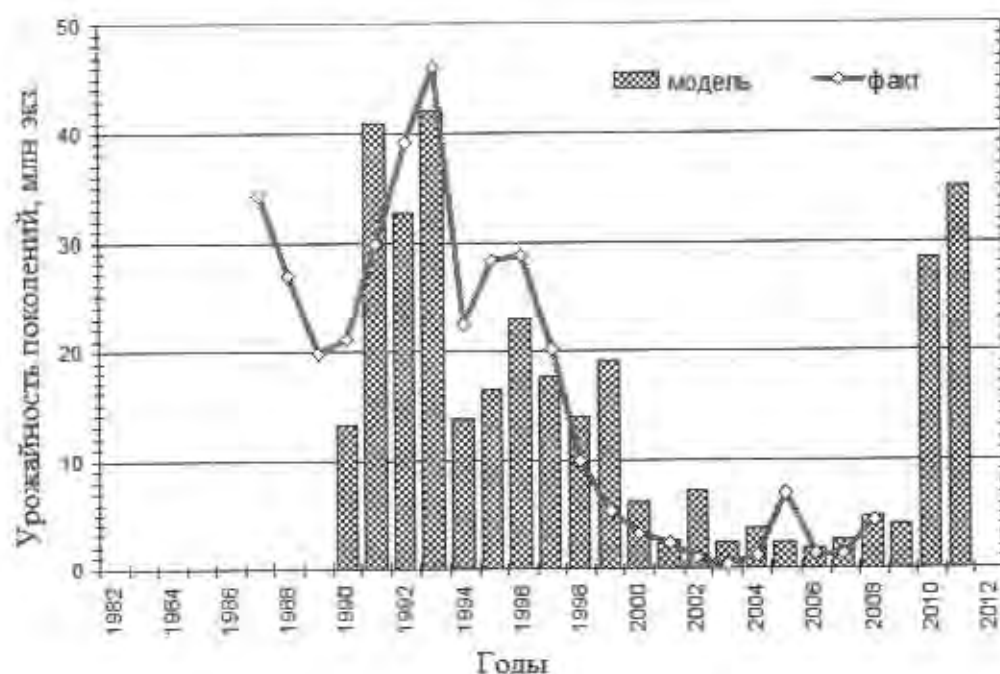


Рис. 5. Межгодовые изменения рассчитанного по данным траловых съёмок и по модели (с 1990 г. при $a = 0,26$, $b = 3,20$) индекса урожайности поколений японской камбалы в зал. Петра Великого.
Fig. 5. Dynamics of the year-class strength for Japanese flounder in Peter the Great Bay calculated on the data of trawl surveys and modeled with $a = 0.26$; $b = 3.20$.

расте 3–5 лет (Ким, 2002). Это обеспечит высокий уровень запасов этого вида в 2013–2016 гг. Такой прогноз вполне соответствует обнаруженной 20–30-летней цикличности динамики запаса японской камбалы, согласно которой в течение 10–15 лет после минимального уровня запаса, наблюдавшегося в 2006 г., т.е. по меньшей мере до 2016 г., следует ожидать тенденции к росту популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Урожайность поколений японской камбалы в значительной степени определяется динамикой ее нерестового запаса. Линейная корреляция между этими показателями довольно высока и для всего периода исследований в целом характеризуется значением $r = +0,75$. Однако она обусловлена их положительной связью в периоды резкого изменения запаса, а в периоды относительной стабильности запаса, как на высоком, так и на низком уровне, зависимость между нерестовым запасом и урожайностью поколений слабая и даже отрицательная.

Отклонения урожайности поколений от значений, обусловленных состоянием нерестового запаса, зависят от состояния среды, а именно связаны с изменениями осенних температур в верхнем слое промежуточных вод. Предполагается, что данный фактор является индикатором развития апвеллинга, неблагоприятного для предзимовального нагула молоди камбалы, поскольку апвеллинг приводит к сокращению ее нагульного ареала.

Совместное влияние состояния нерестового запаса и среды обитания молоди на формирование численности поколений японской камбалы аппроксимировано мультипликативной моделью с детерминацией $r^2 = 0,79$. Результаты моделирования позволяют предположить, что в 2010–2011 гг. сформировались высокоурожайные поколения японской камбалы, которые обеспечат высокий уровень ее запасов в 2013–2016 гг. Такой прогноз вполне соответствует 20–30-летней цикличности в изменениях запаса этого вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксюткина Э. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищ. пром-сть, 1968. 289 с.
- Борец Л. А. Состав и биомасса донных рыб на шельфе Охотского моря // Биология моря. 1985. № 4. С. 54–65.
- Вдовин А. Н. Динамика уловистости рыб донным тралом в зависимости от размерного состава и плотности скоплений // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 137–148.
- Вдовин А. Н. О возможности корректировки размерного и возрастного состава траловых уловов рыб // Рыб. хоз-во. 2011. № 6. С. 55–57.
- Вдовин А. Н., Зуенко Ю. И. Вертикальная зональность и экологические группировки рыб залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. 1997. Т. 122. С. 152–177.
- Вдовин А. Н., Мизюркин М. А., Пак А. В. Возможности использования бимграла для прямых учетов гидробионтов // Вопр. рыболовства. 2009. Т. 10. № 1(37). С. 150–160.
- Гаврилов Г. М., Пуликарёва Н. Ф., Стрельцов М. С. Состав и биомасса донных и придонных рыб экономической зоны СССР Японского моря // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО, 1988. С. 37–55.

Зуенко Ю. И. Элементы структуры вод Японского моря // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 123. С. 262–290.

Зуенко Ю. И. Промысловая океанология Японского моря. Владивосток: ТИНРО, 2008, 228 с.

Зуенко Ю. И. Межгодовые изменения районов и сроков массового нереста сардины-иваси в Японском море и их значение для воспроизводства сардины // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 87–106.

Иванкова З. Г. Динамика численности основных промысловых видов камбал залива Петра Великого // Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. «Морские прибрежные экосистемы». Владивосток: ТИНРО, 2009. С. 30–36.

Ким Л. Н. Некоторые данные по биологии японской камбалы Уссурийского залива // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 1038–1054.

Кушинг Д. Х. Морская экология и рыболовство. М.: Пищ. пром-сть, 1979. 288 с.

Панченко В. В., Вдовин А. Н. Динамика численности снежного керчака *Myoxocephalus brandti* (Cottidae) в заливе Петра Великого (Японское море) // Вопр. ихтиологии. 2005. Т. 45. № 3. С. 389–394.

Риккер У. Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1979. 408 с.

Соколовский А. С., Соколовская Т. Г., Яковлев Ю. М. Рыбы залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 2011. 431 с.

Watanabe Y., Zenitani H., Kimura R. Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. 1995. V. 52. № 8. P. 1609–1616.

DYNAMICS OF JAPANESE FLOUNDER *PSEUDOPLEURONECTES YOKOHAMAE* IN PETER THE GREAT BAY (JAPAN SEA)

© 2013 y. A. N. Vdovin, S. F. Solomatov, Yu. I. Zuenko

Pacific Research Fisheries Centre, Vladivostok, 690950

Dynamics of Japanese flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* abundance in Peter the Great Bay (Japan Sea) is analyzed from 1984 to 2011. The stock of this species was high in 1980–1990s, then sharply declined, and just recently began to recover. Strength of the flounder year-classes was considerably determined by its spawning stock, but depended also on environments of pre-wintering feeding of yearlings described by temperature in the upper layer of the Intermediate water in autumn. Using the reproductive model, the generations of 2010–2011 are estimated as strong ones, that corresponds to 2–3-decades cyclicity in dynamics of the Japanese flounder population.

Keywords: Japanese flounder, *Pseudopleuronectes yokohamae*, Peter the Great Bay, Japan Sea, dynamics of abundance, year-class strength, spawning stock, upwelling, anomalies of temperature, fish population modeling.