

## ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК 639.2.053.1 (268.43)

### ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ ПОЯВЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУТАССУ И СКУМБРИИ В ОСНОВНЫХ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ РАЙОНАХ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ

© 2010 г. Е.В. Сентябов

*Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства  
и океанографии им. Н.М. Книповича, Мурманск 183038*

Поступила в редакцию 22.01.2009 г.

Окончательный вариант получен 30.11.2009 г.

В результате исследований влияния температуры поверхности океана на изменение сроков и путей нагульных миграций пелагических рыб построены модели, позволяющие с различной заблаговременностью прогнозировать распределение и сроки появления нагульной путассу и скумбрии в основных промысловых районах Норвежского моря. Представленные оценки методической точности, оправданности и эффективности разработанных моделей указывают на целесообразность их использования в рыбопромысловом прогнозировании.

*Ключевые слова:* Норвежское море, температура, путассу, скумбрия, прогноз.

## ВВЕДЕНИЕ

Путассу и скумбрия являются одними из самых массовых объектов промысла в Норвежском море, где проходят их нагульные миграции. Известно (Марти, 1980; Зиланов, 1984), что первые косяки рыб состоят из наиболее крупных и поэтому наиболее ценных в товарном отношении особей. В условиях тотального квотирования промысла путассу и скумбрии не только в пределах экономических и рыболовных зон прибрежных государств, но и в международных водах, особую актуальность приобретает возможность заблаговременного (более чем за 1 месяц) планирования сроков начала промысла этих объектов, а также рациональной расстановки флота, с целью наиболее эффективного выбора квот.

В Норвежском море промысел путассу отечественным флотом ведется в открытой части моря (ОЧНМ), рыболовной зоне Фарерских о-вов (ФРЗ) и экономической зоне Норвегии (НЭЗ). Промысел скумбрии разрешен в этих же районах за исключением НЭЗ.

Ранее в Полярном институте морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО) и в ряде других научных организаций были разработаны методы прогноза начала весеннего промысла (Кузнецов, Колпиков, 1981) и ориентации нагульных миграций путассу (Shevchenko et al., 1989), а также распределения нагульных скоплений скумбрии в Норвежском море (Чвилев, 1987; Жичкин и др., 1991; Морозова, 1996). Однако эти прогнозы имели либо недостаточную заблаговременность (менее 1 месяца), либо основывались на глубоководных океанографических наблюдениях, количество которых в последние годы резко уменьшилось. Поэтому к началу XXI века назрела необходимость разработки методов промыслового прогнозирования большой заблаговременности на основе более доступной информации. В настоящее время к такому виду информации относятся данные по температуре поверхности океана (ТПО), оперативно получаемые по сети Интернет с достаточной пространственной дискретностью.

Распределение и поведение как путассу, так и скумбрии, на протяжении всего годового цикла их развития зависят от изменений условий среды (Зиланов, 1984; Shevchenko et al., 1989; Eaton, 1983; Walsh, Martin, 1986). Естественно

предположить, что океанологические условия через кормовую базу и термодинамические свойства водных масс влияют на физиологическое состояние, поведение и распределение рыбы в период зимовальных миграций и на нерестилищах, создавая предпосылки к формированию определенного типа поведения этого вида в нагульный период (Monstad, 1989).

В результате осенне-зимней конвекции ТПО может объективно отражать тепловое состояние однородного слоя, распространяющегося в Норвежском море до глубин 200-300 м (Структура и изменчивость..., 1989), а в Северо-Восточной Атлантике до 400 м (Алексеев, 1994), т.е. в слое обитания путассу. Это дало возможность использовать ТПО для прогнозирования сроков появления нагульной путассу в том или ином промысловом районе (в апреле-июне) по предшествующим условиям ее обитания в осенне-зимний период.

Промысел скумбрии в Норвежском море начинается в июне-июле, и для составления прогнозов с заблаговременностью более месяца следует использовать данные о температурных условиях в зимне-весенний период. Предпочтительнее были бы и более ранние сроки представления прогнозов, основанных на анализе осенних условий среды, с заблаговременностью 5-7 месяцев. Однако наши расчеты показали, что подобные прогнозы без учета более поздних изменений поверхностной температуры приводят к значительным ошибкам. Поэтому для разработки методики прогнозирования использовались данные ТПО в феврале-апреле (соответственно заблаговременность прогнозов может составлять от 2 до 3 месяцев). В указанные зимне-весенние месяцы отмечается наиболее однородное по вертикали распределение температуры воды в деятельном 200-метровом слое (Структура и изменчивость..., 1989), поэтому температура воды на поверхности в этот период является репрезентативной характеристикой термического состояния этого слоя.

Основной целью настоящей работы является представление методики прогнозирования сроков появления и распределения путассу и скумбрии в основных промысловых районах Норвежского моря на основе использования данных по температуре поверхности океана. Наиболее значимыми для отечественного флота и доступными для реализации являются прогнозы следующих сроков:

- первого появления нагульной путассу в ФРЗ, НЭЗ и ОЧНМ;
- начала специализированного<sup>1</sup> промысла скумбрии в ФРЗ<sup>2</sup>;
- первого появления скумбрии в ОЧНМ;
- начала специализированного промысла скумбрии в ОЧНМ, а также прогноз пространственного распределения скумбрии в ОЧНМ.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В работе использована промысловая информация, включающая распределение судов на промысле пелагических рыб в Норвежском море, сроки появления путассу и скумбрии в различных промысловых районах (данные научно-исследовательских рейсов ПИНРО, международных экосистемных съемок, сведения с отечественных промысловых судов). При разработке прогностических

<sup>1</sup> При увеличении доли скумбрии в уловах свыше 50% ее промысел считается специализированным или массовым.

<sup>2</sup> Первые скопления скумбрии в ФРЗ появляются в период промысла путассу в качестве прилова, и прогноз сроков ее первого появления в этом районе не имеет существенного значения.

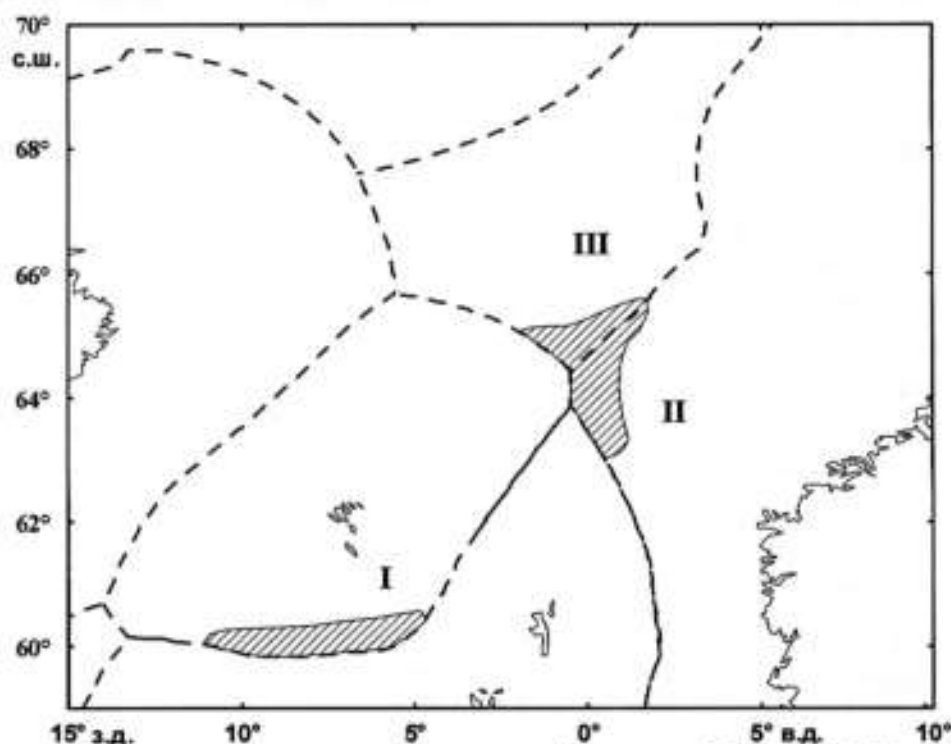
моделей были использованы данные за период от начала массового промысла путассу и скумбрии по 2000 г.

В таблице 1 представлены обобщенные данные о сроках первого появления путассу в Норвежском море: в ФРЗ, НЭЗ и ОЧНМ (рис. 1) за период с 1982 г., когда начался полномасштабный промысел этого объекта, по 2000 г. В ФРЗ путассу появлялась в среднем после 22 апреля, в НЭЗ и ОЧНМ после 17 мая и 22 июня соответственно, т.е. на 25 и 60 суток позднее. Наименьшая изменчивость в сроках выходов путассу отмечалась в ФРЗ, наибольшая – в ОЧНМ.

**Таблица 1.** Статистические показатели сроков появления нагульной путассу в промысловых районах Норвежского моря (1982-2000 гг.)

**Table 1.** Statistical indicators of terms for blue whiting appearance in the fishing areas of the Norwegian Sea (1982-2000).

Район	Средняя дата	Крайние сроки	Амплитуда, сутки	Среднеквадратическое отклонение, сутки
ФРЗ	22 апреля	7 апреля - 28 апреля	21	6
НЭЗ	17 мая	26 апреля - 7 июня	43	13
ОЧНМ	22 июня	20 мая - 28 июля	69	16



**Рис. 1.** Участки первого появления нагульных скоплений путассу в ФРЗ (I), НЭЗ (II) и ОЧНМ (III).

**Fig. 1.** Areas of blue whiting first appearance in the FEEZ (I), NEEZ (II) and OPNS (III).

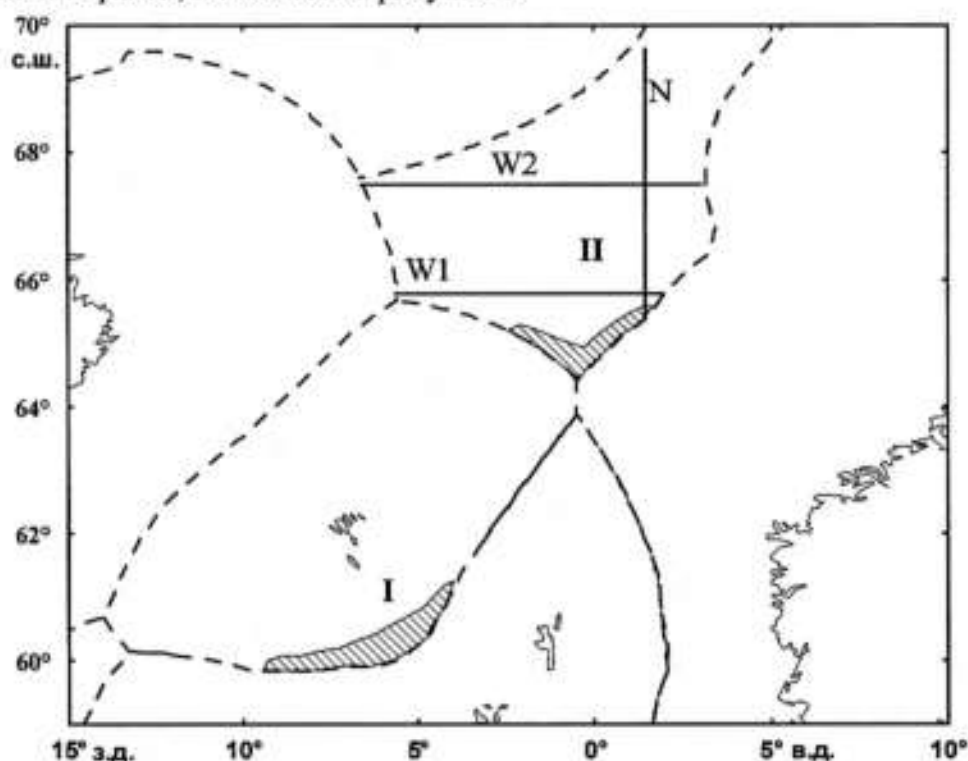
Для оценки межгодовой изменчивости нагульной миграции скумбрии использована информация (1985-2000 гг.) о датах начала специализированного промысла скумбрии в ФРЗ, первого появления скумбрии и начала ее специализированного промысла в ОЧНМ, полученная из судовых донесений и данным научно-исследовательских рейсов ПИНРО. Как видно из таблицы 2, промысел в ФРЗ и ОЧНМ начинается в июне-июле, межгодовая изменчивость сроков начала массового промысла скумбрии в ФРЗ и ОЧНМ, и сроков ее первого появления в ОЧНМ достигает 2-3 недель.

**Таблица 2.** Показатели сроков первого появления (Н) и начала массового промысла (М) скумбрии в промысловых районах Норвежского моря в 1985-2000 гг.

**Table 2.** Indicators of terms for the first appearance (Н) and for the beginning of commercial fishery (М) of mackerel in the fishing areas of the Norwegian Sea (1985-2000).

Район	Средняя дата	Крайние сроки	Амплитуда, сутки	Стандартное отклонение, сутки
ФРЗ (М)	14 июня	8 июня - 25 июня	17	6
ОЧНМ (Н)	22 июня	18 июня - 1 июля	13	4
ОЧНМ (М)	2 июля	20 июня - 10 июля	20	5

Пространственное распределение рыбы в ОЧНМ оценивалось географическим положением западной и северной границ промысловых уловов скумбрии в июле – как месяце наиболее активного промысла. НЭЗ ограничивает акваторию промысла скумбрии с востока. Западная граница распределения промысловых скоплений скумбрии устанавливалась на двух широтных галсах вдоль  $65^{\circ}45'$  с.ш. и вдоль  $67^{\circ}30'$  с.ш., оптимально отражающих ее межгодовую изменчивость. В качестве показателя западной границы бралась долгота на галсе, западнее которой месячный вылов в статистическом квадрате  $1^{\circ}$  по долготе и  $0,5^{\circ}$  по широте оказывался по данным отечественных судов менее 10 т. Эта же величина вылова принималась и в качестве критерия для определения северной границы распределения скумбрии в ОЧНМ. Районы появления скумбрии в ФРЗ и ОЧНМ, а также положение галсов, используемых для оценки пространственного распределения рыбы, показаны на рисунке 2.



**Рис. 2.** Участки первого появления скумбрии (заштрихованные области) в ФРЗ (I) и ОЧНМ (II) и положение галсов для оценки западной (W1 и W2) и северной (N) границ распределения промысловых скоплений скумбрии в ОЧНМ в июле.

**Fig. 2.** Areas of mackerel first appearance (hatched areas) in the FEEZ (I), OPNS (II) and sections for the estimation of the western (W1 and W2) and northern (N) borders of fisheries concentrations of mackerel in the OPNS in July.



В июле, в период наиболее интенсивного промысла в ОЧНМ, скумбрия обычно облавливается от границ НЭЗ до  $4^{\circ}00' - 1^{\circ}30'$  з.д. на различных участках, варьируя от года к году в пределах  $3^{\circ}30' - 5^{\circ}00'$  по долготе (табл. 3). Северная граница промысла в ОЧНМ в среднем проходит по  $68^{\circ}$  с.ш., достигая в отдельные годы  $71^{\circ}$  с.ш. Таким образом, межгодовые изменения западной границы промысловых концентраций скумбрии достигают 120 морских миль, северной – 240 миль.

**Таблица 3.** Показатели западной и северной границ распределения промысловых концентраций скумбрии в июле в ОЧНМ.

**Table 3.** Indicators of the western and northern borders of mackerel fisheries concentrations in OPNS in July.

Параметр	Среднее положение	Крайние положения	Амплитуда	Стандартное отклонение
Западная граница по $65^{\circ}45'$ с.ш.	$4^{\circ}00'$ з.д.	$5^{\circ}30'$ з.д. – $2^{\circ}00'$ з.д.	$3^{\circ}30'$	$1^{\circ}30'$
Западная граница по $67^{\circ}30'$ с.ш.	$1^{\circ}30'$ з.д.	$4^{\circ}$ з.д. – $1^{\circ}$ в.д.	$5^{\circ}00'$	$2^{\circ}30'$
Северная граница	$68^{\circ}00'$ с.ш.	$67^{\circ}00'$ с.ш. – $71^{\circ}00'$ с.ш.	$4^{\circ}00'$	$1^{\circ}00'$

В качестве океанографической информации использовались наиболее доступные на настоящий момент, оперативно получаемые данные по среднемесячной температуре поверхности океана в узлах 2-градусной регулярной сетки на акватории Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна, находящиеся на сервере Колумбийского Университета и Института международных исследований по прогнозированию климата из информационных массивов Национального климатического центра данных Национальной океанической и атмосферной администрации США (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCDC/ERSST/>).

Для оценки связи абиотических и промысловых параметров использовались методы корреляционного и линейного регрессионного анализа, неоднократно применявшихся для анализа метеорологических и океанографических зависимостей (Брукс, Карузерс, 1963; Малинин, Гордеева, 2003).

Основные статистические показатели точности прогностических моделей, а также оценки их методической оправданности и эффективности рассчитывались согласно Инструкции (1965). Проверка моделей проводилась на независимом материале 2001-2008 гг., т.е. на данных, не используемых при расчете этих моделей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе вычислялись коэффициенты корреляции между сроками появления путассу и скумбрии в том или ином районе и ТПО в каждом узле регулярной сетки. После чего на картах изокоррелят выбирались области с наибольшими статистически-значимыми коэффициентами с учетом экспертной оценки реальности полученных связей.

Статистический анализ связи сроков появления путассу в ФРЗ, НЭЗ и ОЧНМ в период нагульных миграций с ТПО позволил выделить несколько информативных зон, тепловое состояние вод в которых в осенне-зимний период может обуславливать сроки и направление нагульной миграции путассу в весенне-летние месяцы. Информативные зоны сгруппированы по трем локальным районам: Норвежское море, область распространения Северо-Атлантического течения (САТ) и район нерестилищ путассу к западу от Британских о-вов (рис. 3).

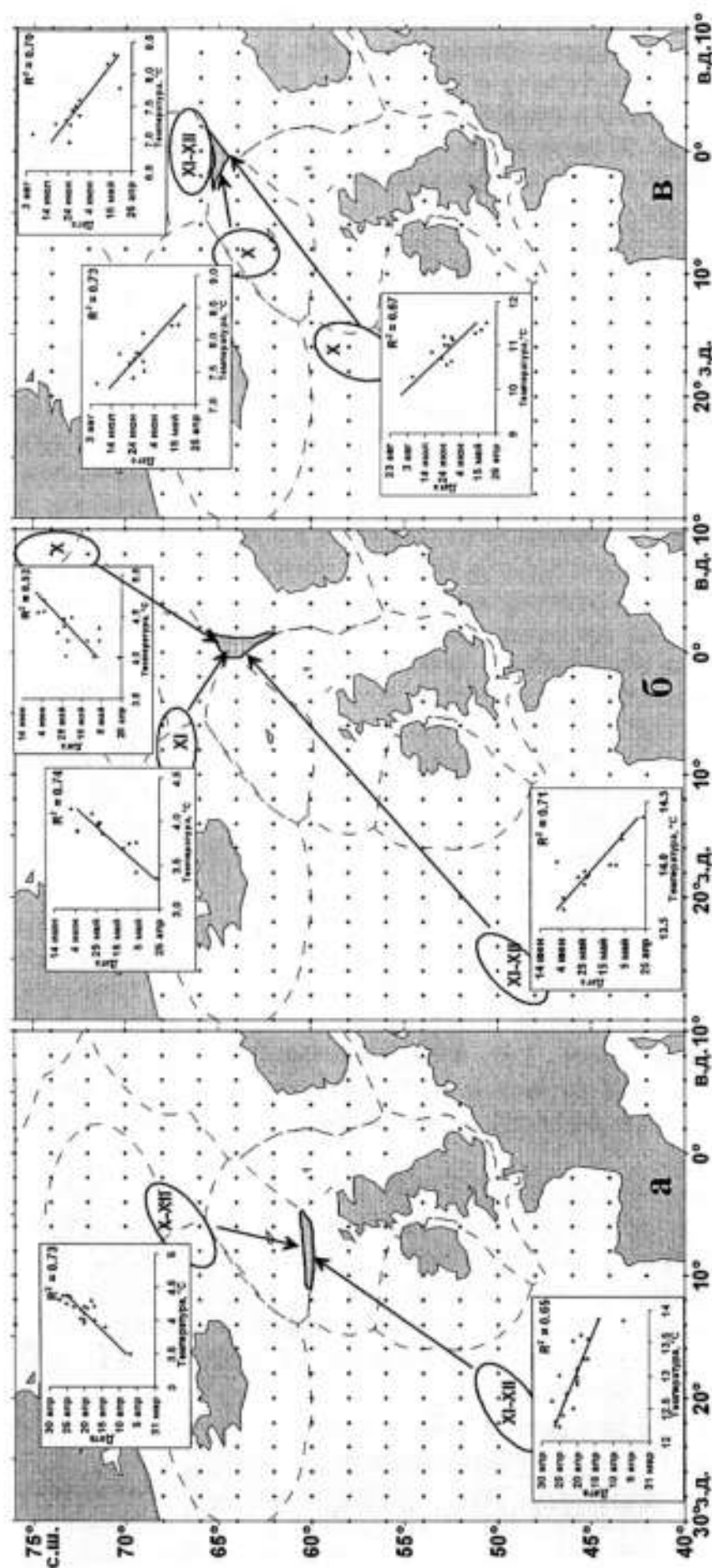


Рис. 3. Положение информативных областей в поле ТПО, данные из которых использованы для расчетов сроков появления путассу в ФРЗ (а), НЭЗ (б) и ОЧНМ (в). Точками показаны узлы 2-градусной сетки, в информативных областях указаны месяцы выбора ТПО, на графиках представлен характер статистической связи между температурой и сроками появления путассу.

Fig. 3. Informative areas in the SST field, data from which are used for calculation of blue whiting appearance terms in the FEEZ (a), NEEZ (b) and OPNS (v). Dots show centers of 2-degrees net. In the informative areas the months of SST selection are shown. In the graphics characteristics of the relation between temperature and blue whiting appearance terms are represented.

Тепловое состояние поверхностных вод на акватории Норвежского моря в различном временном и пространственном масштабе формирует до 70-73% изменчивости сроков появления путассу в ФРЗ, НЭЗ и ОЧНМ, что на графиках рисунка 3 характеризует множественный коэффициент детерминации  $R^2$ . Не менее важной является информация об изменениях температуры вод Основной ветви САТ и атлантических вод в районе к западу от Британских о-вов, описывающих 65-70% дисперсии рассматриваемых показателей. Рассмотрим главные особенности термических условий формирования многолетних изменений сроков появления путассу в каждом из районов ее промысла в Норвежском море.

Изменения сроков появления посленерестовой путассу в ФРЗ могут обуславливаться термическими условиями в ноябре-декабре предшествующего года в районе Полярного фронта в южной части Норвежского моря ( $R^2=0,73$ ) и в зоне действия атлантических вод САТ ( $R^2=0,65$ ). Характер статистической связи ТПО в области распространения САТ со сроками появления путассу в ФРЗ отрицательный, а температуры воды в районе взаимодействия теплых и холодных вод в Норвежском море – положительный (рис. 3а). Это можно объяснить тем, что повышенный уровень тепла в атлантических водах ведет к более раннему нересту в районах банок Поркьюпайн и Роколл, более быстрому наступлению биологической весны и, соответственно, более раннему началу миграции путассу в Норвежское море. Этому же способствуют холодные зимы в зоне Полярного фронта на юге Норвежского моря, которые обеспечивают активное конвективное перемешивание вод и, следовательно, повышение содержания растворенного кислорода и биогенов в промежуточных слоях моря, что создает благоприятные термодинамические и кормовые условия для последующего формирования здесь устойчивых плотных скоплений нагуливающейся путассу. Пониженный уровень теплосодержания вод САТ и теплая зима на юге Норвежского моря приводят к более позднему появлению посленерестующей путассу в ФРЗ и менее благоприятным условиям ее промысла в этом районе в весенний период.

Сроки появления нагульной путассу в НЭЗ также могут быть обусловлены изменениями ТПО в зимний период в потоке САТ ( $R^2=0,71$ ) и в области Полярного фронта в Норвежском море ( $R^2=0,74$ ) (рис. 3б). Механизмы влияния термических условий в выбранных информативных зонах на сроки выхода путассу в НЭЗ аналогичны рассмотренным выше для ФРЗ. Некоторый вклад ( $R^2=0,52$ ) в изменчивость сроков появления путассу в НЭЗ также вносит осеннее тепловое состояние поверхностных вод Западной ветви Норвежского течения на путях возвратных миграций рыбы.

Повышенное теплосодержание атлантических вод в потоках САТ, Фарерского и Норвежского течений в предшествующий осенне-зимний период способствует более раннему появлению путассу в ОЧНМ в весенние месяцы (рис. 3в).

На основе выявленных зависимостей были рассчитаны линейные регрессионные уравнения, включающие значения ТПО в информативных областях. В частности для расчета даты начала первого появления путассу в ФРЗ ( $Y_1$ ), НЭЗ ( $Y_2$ ) и ОЧНМ ( $Y_3$ ) уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 274,98 - 4,29N_{\text{САТ}} - 4,1D_{\text{ПФ}} - 12,28D_{\text{ПФ}}, \\ Y_2 &= 832,44 - 62,62N_{\text{САТ}} + 2,56D_{\text{САТ}} - 42,83N_{\text{ПФ}} - 0,62O_{\text{ЗВН}}, \\ Y_3 &= 369,73 - 24,4O_{\text{САТ}} + 21,25O_{\text{ФТ}} - 68,68N_{\text{НТ}} + 58,69D_{\text{НТ}}, \end{aligned}$$



где О, N и D – месяц выбора значений ТПО (соответственно, октябрь, ноябрь и декабрь), а нижние индексы указывают на положение информативных областей, описанных в тексте и показанных на рисунке 3: САТ – воды Северо-Атлантического течения, ПФ – зона Полярного фронта в Норвежском море, ЗВН – Западная ветвь Норвежского течения, ФТ – воды Фарерского течения, НТ – воды Норвежского течения в открытой части Норвежского моря.

Множественный коэффициент детерминации ( $R^2$ ) моделей на материале 1982-2000 гг. (19 лет) для сроков появления путассу в ФРЗ составил 0,80, в НЭЗ и ОЧНМ – 0,82 (табл. 4). Результаты оценки методической точности, оправдываемости и эффективности физико-статистических моделей прогноза сроков появления путассу в районах ФРЗ, НЭЗ и ОЧНМ указывают на целесообразность использования этих моделей в краткосрочном рыбопромысловом прогнозировании с заблаговременностью 2-4 месяца. Методическая оправдываемость прогнозов составила для этих районов соответственно 88, 86 и 92%, а эффективность их применения по отношению к климатическим прогнозам превысила 25%.

**Таблица 4.** Основные показатели точности и оправдываемости прогноза сроков первых появлений путассу в ФРЗ и НЭЗ в период 1982-2000 гг.

**Table 4.** The main indicators of accuracy and reliability of forecast for terms of blue whiting first appearance in the FEEZ, NEEZ and OPNS in 1982-2000.

Показатель	ФРЗ (Y2)	НЭЗ (Y3)	ОЧНМ
Длина ряда, лет	18	14	13
Средние сроки первых появлений	22.04	17.05	22.06
Крайняя дата выдачи прогноза	05.02	05.02	05.02
Заблаговременность, месяцев	2-3	3	4
Допустимая ошибка ( $0,8 \sigma$ ), сутки	$\pm 4$	$\pm 10$	$\pm 12$
$R^2$ модели	0,80	0,82	0,82
Методическая оправдываемость, %	88	86	92
Климатическая оправдываемость, %	63	50	53
Эффективность метода, %	25	36	39

Проверка полученных прогностических уравнений на данных 2001-2008 гг. также показала их хорошую оправдываемость (рис. 4). В частности на 80-85% оправдались прогнозы даты первого появления путассу в ФРЗ и в ОЧНМ. К сожалению, после 1995 г. отечественный флот ведет промысел путассу в НЭЗ крайне нерегулярно, что в основном, обусловлено экономическими причинами. Однако, в годы ведения промысла в этом районе сроки выхода путассу в НЭЗ полностью соответствовали прогнозируемым.

Статистический анализ связи рассматриваемых показателей нагульной миграции скумбрии в летние месяцы и ТПО в районах Северо-Восточной Атлантики (СВА) и Норвежского моря в зимне-весенний период также позволил установить наиболее информативные зоны, тепловое состояние вод в которых способствует формированию последующего летнего распределения скумбрии в Норвежском море. В целом эти зоны географически приурочены к основным потокам системы теплых течений СВА и Норвежского моря. В районе СВА выявлены две информативные зоны: в области распространения САТ, а также в районе нерестилищ скумбрии к северо-западу от Британских островов. На акватории Норвежского моря информативные зоны приурочены к потокам Норвежского и Восточно-Исландского течений (рис. 5).



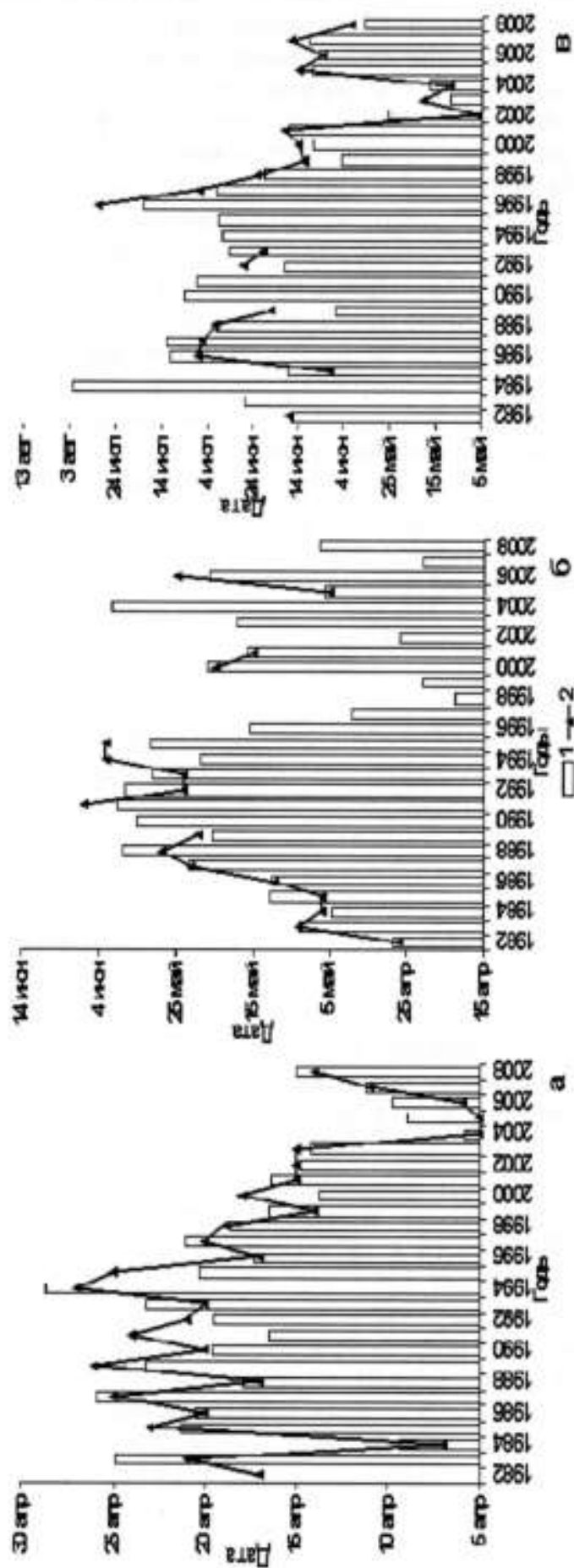


Рис. 4. Рассчитанные (1) и фактические (2) значения сроков первого появления половозрелой путассу в ФРЗ (а), НЭЗ (б) и ОЧНМ (в) в 1982-2008 г.

Fig. 4. Calculated (1) and observed (2) dates of blue whiting first appearance: in the FEEZ (а), NEEZ (б) and OPNS (в) in 1982-2008.

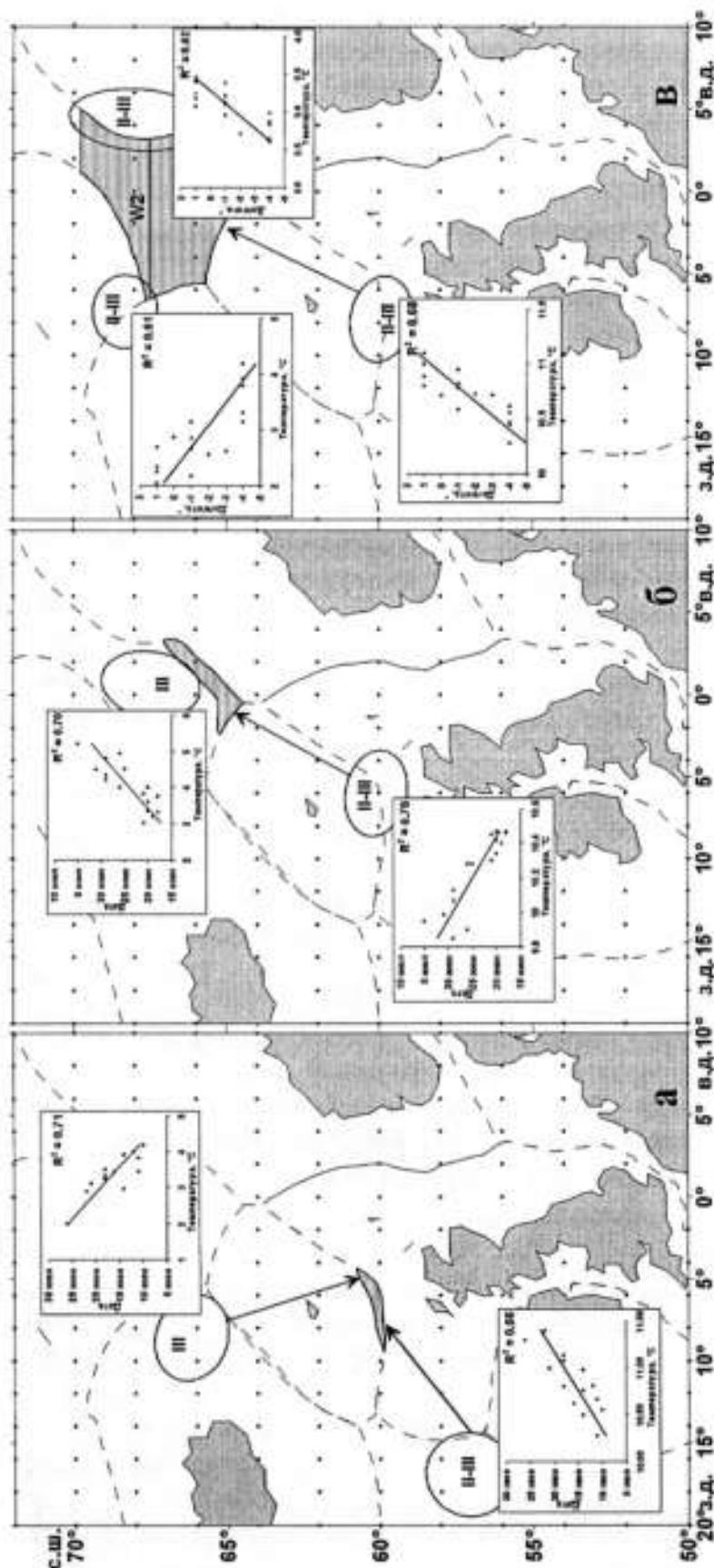


Рис. 5. Положение информативных областей в поле ТПО, данные из которых использованы для расчетов сроков начала специпромысла скумбрии в ФРЗ (а), первого появления (б) и западной границы распределения скумбрии (в) в ОЧНМ. Точками показаны узлы 2-градусной сетки, в информативных областях указаны месяцы выбора ТПО, на графиках представлен характер статистической связи между температурой и параметрами промысла скумбрии.

Fig. 5. Informative areas in the SST field, data from which are used for calculation of mackerel commercial fishery beginning terms in the FEEZ (a), the first appearance areas in the OPNS (б) and western border of mackerel distributions in the OPNS (в). Dots show centers of 2-degrees net. In the informative areas the months of SST selection are shown. In the graphics characteristics of the relation between SST and mackerel fishery indicators are represented.

На изменение сроков начала массовых миграций скумбрии в ФРЗ (в июне), наиболее заметное влияние оказывают особенности температурного режима вод в весенний период (февраль-март) в двух информативных зонах: в водах Северо-Атлантического и Восточно-Исландского течений (рис. 5а). Тепловое состояние вод в каждой из этих зон описывает от 65 до 70% изменчивости сроков начала массового промысла скумбрии в ФРЗ.

Характер связи сроков появления скумбрии в ФРЗ с температурой атлантических вод САТ и субполярных восточно-исландских вод имеют противоположные знаки: для вод САТ – положительный, для вод Восточно-Исландского течения – отрицательный. В годы с повышенной температурой вод САТ наблюдается более позднее начало массовых миграций скумбрии в ФРЗ, так как при этом происходит западное и восточное смещение скоплений скумбрии по сравнению с «нормальными» в гидрологическом отношении годами. Часть крупной половозрелой скумбрии мигрирует западнее Фарерских островов, а часть проходит южнее ФРЗ – в рыболовной зоне Великобритании. В этом случае промысловые концентрации скумбрии в ФРЗ обнаруживаются часто не на южной границе зоны, а в более северных районах и в более поздние сроки. Повышенная же температура восточно-исландских вод может являться индикатором сокращения площади холодных вод в южной части Норвежского моря. Это, в свою очередь, ведет к более ранней биологической весне и развитию кормовой базы, и, как следствие, к более раннему началу массовых подходов скумбрии в ФРЗ и далее на север в Норвежское море.

Сроки первого появления скумбрии в ОЧНМ (июнь) во многом определяются термическими условиями в районе к западу от Британских о-вов в период, предшествующий ее нересту (февраль-март), а также температурным фоном вод открытой части Норвежского моря (март-апрель). Как видно из рисунка 5б, характер связь сроков выхода скумбрии в ОЧНМ с температурой воды в районе Британских о-вов отрицательный, в районе Норвежского моря – положительный. Повышенный температурный фон в районе нереста скумбрии ведет к более раннему началу нагульных миграций рыбы и, соответственно, к более ранним ее подходам в ОЧНМ. Повышенный же тепловой фон вод открытой части моря, являясь индикатором общего потепления вод системы ветвей Норвежского течения, способствует восточной ориентации нагульной миграции скумбрии и выходу ее в открытую часть Норвежского моря севернее и позднее, чем обычно.

Сроки начала массовых подходов скумбрии в ОЧНМ (июнь-июль) и, соответственно, начала спецпромысла этого объекта, статистически достоверно зависят от изменений температуры воды в области распространения Восточно-Исландского течения и в районе разветвления САТ у южной границы Норвежского моря. Эти температурные изменения описывают около 70% дисперсии прогнозируемого параметра.

При анализе связи распределения промысловых концентраций скумбрии в ОЧНМ в июле с ТПО в зимне-весенний период были выявлены три наиболее информативные зоны, расположенные на юге моря (зона действия САТ), в зоне действия Восточной ветви Норвежского течения, а также в Восточно-Исландского течения на западе моря (рис. 5в). При этом знак связи типа «среда-организм» для температуры атлантических вод – положительный, а для теплового состояния холодных восточно-исландских вод – отрицательный. Так, с одной стороны повышенное теплосодержание атлантических вод Северо-Атлантического и

Норвежского течений способствует восточной ориентации нагульной миграции скумбрии, а с другой – повышенный температурный фон на западе моря в водах Восточно-Исландского течения является хорошим информационным индикатором западного и северного смещения границ нагульного ареала скумбрии в открытой части моря. На рисунке 5в для примера показано положение информативных областей и представлен характер связи температуры в них с изменениями западной границы распределения скумбрии на галсе по  $67^{\circ}30'$  с.ш. (W2). В целом же ТПО в выбранных информативных областях на 60-80% аппроксимируют пространственное положение западных и северных границ распространения промысловых концентраций скумбрии в ОЧНМ.

На основе выявленных зависимостей были рассчитаны линейные регрессионные уравнения, включающие значения ТПО в информативных областях. Внешний вид этих уравнений для каждого из прогнозируемых параметров в целом схож с уравнениями, рассчитанными для сроков появления путассу в Норвежском море. Отличия составляют лишь обозначения положения информативных областей и месяцев выбора ТПО в них.

Результаты оценки методической точности, оправдываемости и эффективности моделей прогноза сроков и районов летней нагульной миграции скумбрии в Норвежском море (табл. 5), рассчитанных на материале 1985-2000 гг. указывают на целесообразность использования этих моделей в рыбопромысловом прогнозировании. Общий прогноз представляется в апреле. Методическая оправдываемость прогноза сроков первых подходов скумбрии в ОЧНМ с заблаговременностью 2-3 месяца составила 85%, сроков начала массового промысла в ФРЗ и ОЧНМ с заблаговременностью 2-3 месяца – соответственно 95 и 87%, положения западных и северных границ ареала скумбрии в ОЧНМ с заблаговременностью 3 месяца – 75-83%. Эффективность применения описываемых моделей по отношению к климатическим прогнозам составила от 23 до 67%.

**Таблица 5.** Основные показатели точности и оправдываемости прогноза сроков первых появлений скумбрии в ОЧНМ (Z2), начала массового промысла скумбрии в ФРЗ (Z1) и ОЧНМ (Z3), положения западной (W) и северной (N) границ распределения промысловых концентраций скумбрии в ОЧНМ в 1985-2000 гг.

**Table 5.** The main indicators of accuracy and reliability of the forecast for terms of mackerel first appearance in the OPNS (Z1), beginning of commercial fishery in the FEEZ (Z1), OPNS (Z3), position of the western (W) and northern (N) borders of mackerel fisheries concentrations in the OPNS in 1982-2000.

Показатели	Z1	Z2	Z3	W1 галс по $65^{\circ}45'$ с.ш.	W2 галс по $67^{\circ}30'$ с.ш.	N
Длина ряда, лет	15	16	16	16	16	16
Средние сроки появления	15.06	23.06	03.07	15.07	15.07	15.07
Дата выдачи прогноза	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04
Заблаговременность, месяцев	2	2-3	2-3	3	3	3
Допуст. ошибка (0,8 $\sigma$ ), сутки	$\pm 4$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 1^{\circ}30'$	$\pm 2^{\circ}$	$\pm 1^{\circ}$
Допуст. ошибка (0,8 $\sigma$ ), градусы						
R <sup>2</sup> модели	0,84	0,61	0,70	0,93	0,61	0,59
Методич. оправдываемость, %	100	83	92	100	92	80
Климатич. оправдываемость, %	50	50	67	33	33	57
Эффективность метода, %	50	33	25	67	59	23



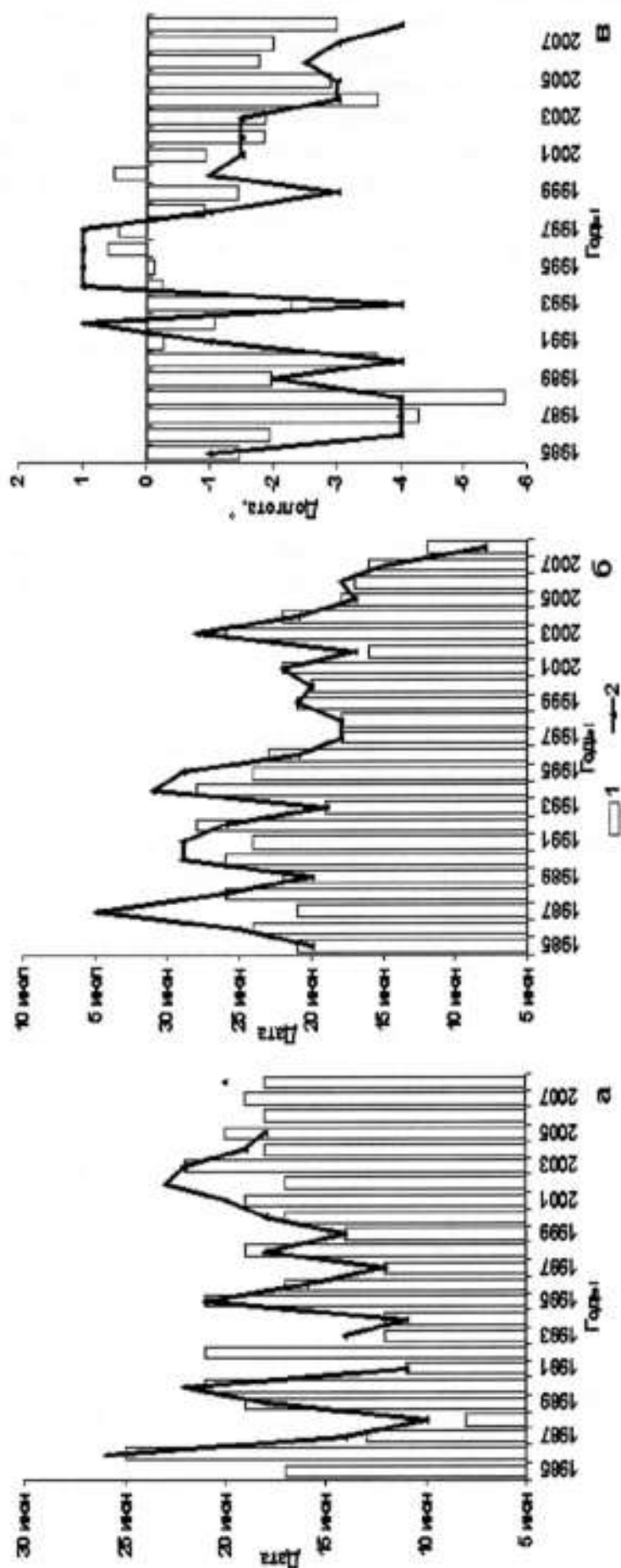


Рис. 6. Рассчитанные (1) и фактические (2) значения сроков начала специнромысла скумбрии в ФРЗ (а), первого появления рыбы в ОЧНМ (б) и положения западной границы распределения промысловых концентраций в ОЧНМ в июле (в) 1985-2008 гг.

Fig. 6. Calculated (1) and observed (2) dates of mackerel commercial fishery beginning in the FEEZ (а), mackerel first appearance in the OPNS (б) and position of the western border of mackerel fisheries concentrations in the OPNS in July (в) in 1982-2008.

На рисунке 6 представлены графики фактических и рассчитанных величин прогнозируемых параметров, в частности дат начала массового промысла скумбрии в ФРЗ, первых появлений рыбы в ОЧНМ и положения западной границы распределения промысловых концентраций скумбрии в ОЧНМ на галсе по  $67^{\circ}30'$  с.ш. как на данных, используемых при разработке моделей, так и на независимом материале 2001-2008 гг. При этом за последние 8 лет оправдываемость прогнозов по всем вышеуказанным параметрам составила от 80 до 85%.

С 2002 г. и по настоящее время методика прогнозирования сроков появления путассу и скумбрии в основных промысловых районах Норвежского моря успешно используется в практике промыслового прогнозирования ПИНРО.

Использование в качестве предикторов величины промыслового запаса путассу и скумбрии, возрастной структуры выявило весьма незначительную корреляционную связь с прогнозируемыми показателями (коэффициенты корреляции менее 0,3-0,4 при длине рядов 12-14 лет). С другой стороны, важным аргументом невозможности использования этих показателей в качестве предикторов, по нашему мнению, является то, что при ежегодном пересчете величины запасов пелагических рыб Рабочими группами ИКЕС (Международного Совета по изучению моря, International Council for the Exploration of the Sea, ICES) численность и биомасса по возрастным группам значительно варьирует год от года для одних и тех же поколений (Сентябов, Бочков, 2001).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате исследования связей типа «среда-организм» на основе учета влияния термических условий в районах обитания рыбы на предшествующих этапах ее годового жизненного цикл (зимовка, нерест и на путях преднерестовых миграций) разработана методика прогнозирования сроков первого появления путассу и скумбрии в основных промысловых районах Норвежского моря, приуроченных к рыболовным и экономическим зонам прибрежных государств и распределения промысловых скоплений скумбрии на акватории открытой части моря с использованием температуры поверхности воды. Результаты оценки методической точности, оправдываемости и эффективности прогностических моделей на независимом материале, а также многолетнее их применение в рыбопромысловом прогнозировании на независимых данных указывает на устойчивость полученных зависимостей. Практическая значимость полученных промысловых прогнозов заключается в их использовании для заблаговременного планирования сроков начала промысла этих объектов, а также рациональной расстановки флота с целью наиболее эффективного выбора квот.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В. *Натурные исследования крупномасштабной изменчивости в океане*. Л.: Гидрометеониздат, 1994. 112. с.
- Брукс К., Карузерс Н. *Применение статистических методов в метеорологии*. Л.: Гидрометеониздат, 1963. 416 с.
- Жичкин А.П., Жданов А.С., Иванов А.П. *Влияние гидрометеорологических условий на распределение нагульных скоплений скумбрии в Норвежском море // Методы расчета и прогноза гидрометеорологических процессов в промысловых районах*. Л.: Изд-во ЛГМИ, 1991. Вып. 112. С. 60-67.
- Зиланов В.К. *Путассу Северной Атлантики*. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 160 с.

Инструкция по оценке качества и оправдываемости морских гидрологических прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1965. 88 с.

Кузнецов В.Н., Колпиков Ю.Е. Прогнозирование сроков начала весеннего промысла путассу в Северо-Восточной Атлантике // Рыбное хозяйство. 1981. Вып. 11. С. 36-37.

Марти Ю.Ю. Миграции морских рыб. М.: Пищевая промышленность, 1980. 248 с.

Малинин В.Н., Гордеева С.М. Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик (на примере Северо-Европейского бассейна). Мурманск: ПИНРО, 2003. 164 с.

Морозова Г.Н. Гидрологические аспекты прогнозирования промысла скумбрии // Рыбное хозяйство. 1996. Вып. 6. С. 39-42.

Сентябов Е.В., Бочков Ю.А. Методика прогнозирования сроков появления и распределения скумбрии и путассу в промысловых районах Северо-Восточной Атлантики и Норвежского моря. Мурманск: ПИНРО, 2001. 26 с.

Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 128 с.

Чвилев С.В. Поиск промысловых скоплений скумбрии в Норвежском море по распределению температуры воды. Сб. науч. тр. ЛГМИ. 1987. Вып. 99. С. 65-68.

Eaton D.R. Sead in the North East Atlantic // Laboratory leaflet: Lowestoft. 1983. №56. 20 p.

Monstad T. Distribution and growth of blue whiting in the North-East Atlantic in 1980-1988 // Proceedings of the Fourth Soviet-Norwegian Symposium, Bergen, 12-16 June 1989. Pp. 5-39.

Shevchenko A.V., Isaev N.A., Belikov S.V. Some peculiarities of blue whiting migrations in the Northeast Atlantic in 1978-1988 in relation to stock composition and hydrographic conditions // Proceedings of the Fourth Soviet-Norwegian Symposium, Bergen, 12-16 June 1989. Pp. 341-352.

Walsh M., Martin J.H. Recent Changes in the distribution and migrations of the western mackerel stock in relation to hydrographic changes // ICES CM, 1986/ H:17. 9 p.

## OCEANOGRAPHIC BASIS FOR THE FORECASTING OF BLUE WHITING AND MACKEREL APPEARANCE TERMS AND DISTRIBUTION IN THE MAIN FISHING AREAS OF THE NORWEGIAN SEA

© 2010 y. E.V. Sentyabov

*Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Murmansk*  
Based on the results of the researches of effect of a sea surface temperature on change of terms and the routes of pelagic fish feeding migrations the prognostic models, allowing to forecast blue whiting and mackerel distribution and dates of the appearance in the different fishing areas of the Norwegian Sea, with a various advance degrees, have been calculated. The results of an estimation of methodical accuracy, reliability and efficiency of the developed models show the expediency to use them in fish forecasting.

*Key words:* the Norwegian Sea, temperature, blue whiting, mackerel, forecast.