

Среда обитания
водных биологических ресурсов

Климатические факторы изменчивости
условий среды обитания промысловых биоресурсов
и функционирования морских экосистем

УДК 551.46:639.24

**Распределение промысловых скоплений ставриды
в южной части Тихого океана в связи с атмосферными процессами**

М.С. Федотов¹, П.С. Петкилёв²

¹ Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «КГТУ»),
г. Калининград

² Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
(ФГАОУ ВО «БФУ им. И. Канта»), г. Калининград

E-mail: 571214@mail.ru

Исследовано влияние крупномасштабных атмосферных процессов на распределение ставриды в южной части Тихого океана. Особенности распределения ставриды определялись по результатам работы промыслового флота, представленным в виде ежемесячных промысловых атласов. Параметры атмосферных процессов характеризовались рядами первых шести главных компонент разложения среднемесячных полей атмосферного давления по естественным ортогональным функциям. Методом множественного регрессионного анализа установлены статистически значимые связи между атмосферными процессами и распределением промысловых скоплений ставриды. Показано, что широтные смещения скоплений происходят с определёнными временными сдвигами после изменений в атмосферных процессах. Получены уравнения регрессии, определены вклады каждой из используемых в уравнениях главных компонент, установлены соответствующие сдвиги по времени. Результаты могут быть использованы для определения оптимальной расстановки промыслового флота путём прогнозирования широтных смещений наиболее плотных промысловых скоплений ставриды с заблаговременностью 1–4 месяца.

Ключевые слова: южная часть Тихого океана, атмосферные процессы, ставрида, распределение промысловых скоплений в акватории ареала.

ВВЕДЕНИЕ

С 1979 по 1991 гг. промысел ставриды в южной части Тихого океана велся круглогодично. Крупнотоннажные траулеры бывшего СССР, а также Кубы, ГДР, Польши вели лов ставриды на обширной акватории от 35 до 45° ю.ш. и от экономических зон Перу и Чили до 120° з.д. Численность добывающих судов составляла 70–80 ед., достигая в отдельные периоды 100 ед. Для обеспечения флотилии промысловых судов в районе постоянно находилось 5–7

оперативно-поисковых судов с научными группами и необходимым научным оборудованием на борту, задача которых состояла в обнаружении по океанологическим признакам резервных участков, занятых наиболее плотными скоплениями ставриды, и в определении их промыслового потенциала. Такая организация промысла позволяла оперативно давать рекомендации по перемещениям промыслового флота на всей акватории южной части Тихого океана в декадном, внутримесячном и внутригодовом

масштабах времени [Чернышков, Дерябин, 2008]. Все собранные в экспедициях научно-поисковых судов материалы по распределению и поведению промысловых скоплений ставриды в связи океанологическими и гидрометеорологическими условиями, а также результаты работы промыслового флота обобщались в виде ежемесячных промысловых атласов. Текстовые части и картографические материалы этих атласов, дополненные отчётами научно-исследовательских судов, содержат наиболее достоверную информацию по распределению и поведению промысловых скоплений в связи с океанологическими и гидрометеорологическими условиями [Промысловые атласы..., 1992].

На основе прямых наблюдений установлено, что главным фактором, вызывающим различия в распределении промысловых скоплений в конкретный год и месяц, является характер изменений мезомасштабной динамики вод: положение локальных фронтальных зон в верхнем слое океана и интенсивность генерации мезомасштабных вихрей в верхнем слое океана [Чурин, Бородин, Чернышков, 2014].

В свою очередь, особенности этих процессов определяются крупномасштабной динамикой атмосферы, которая описывается полями атмосферного давления над южной частью Тихого океана [Малинин, Гордеева, 2009].

Цель настоящей статьи состоит в выявлении зависимостей между параметрами динамики атмосферы и перемещениями скоплений ставриды промыслового характера. Полученные зависимости могут стать основой для научного обеспечения эффективного и стабильного промысла ставриды в южной части Тихого океана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для характеристики особенностей распределения промысловых скоплений ставриды были использованы материалы ежемесячных промысловых атласов по району ЮТО, которые оперативно составлялись по результатам поисковых работ и промысла с января 1979 г. по декабрь 1991 г. [Промысловые атласы..., 1992].

Для каждого месяца по картам атласа определялись максимальные и минимальные координаты нахождения промысловых скоплений ставриды, подтвержденные результатами работы

промыслового флота. Таким образом, были сформированы ряды среднемесячных средних координат положения промысловых скоплений в течение каждого месяца с 1979 по 1991 гг.

На основе массива среднемесячных полей атмосферного давления по району южной части Тихого океана были сформированы ряды коэффициентов разложения полей по естественным ортогональным функциям с использованием метода главных компонент [Малинин, 2008].

Метод главных компонент (МГК) состоит в представлении поля атмосферного давления в виде набора ортогональных функций, называемых главными компонентами, которые эффективно описывают структурные закономерности, присущие пространственно-временной изменчивости динамики атмосферы в исследуемом районе. В результате такого разложения происходит разделение исходной матрицы данных по атмосферному давлению на независимые составляющие. Этот метод обладает максимальной по сравнению с другими схемами разложения скоростью сходимости [Малинин, Гордеева, 2009]. Для выявления связей между особенностями распределения промысловых скоплений и параметрами динамики атмосферы использовался регрессионный анализ.

Метод множественного регрессионного анализа широко используется для решения задач промысловой океанологии как наиболее простой метод анализа многомерных массивов натуральных данных [Малинин, 2008; Федотов, Чернышков, 2015].

В общем случае любую регрессионную зависимость можно представить в следующем виде:

$$y = f(b_i, x_j^i), \quad i = \overline{1, k}; \quad j = \overline{1, m},$$

где: y — зависимая переменная (функция отклика); x — независимая переменная (фактор); i — степень уравнения регрессии; j — число независимых переменных.

Модель множественной линейной регрессии (МЛР) при этом имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j + e_j$$

где: e_j — вектор остатков (ошибок), которые не описываются уравнением регрессии.

Для построения эффективной модели МЛР необходимо выполнение следующих условий:

1. Ошибки МЛР должны иметь нулевое среднее;
2. Ошибки должны быть независимы (некоррелированы) с факторами и функцией отклика;
3. Должно быть отсутствие мультиколлинеарности между независимыми переменными;
4. Желательно (необязательно) нормальное распределение остатков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием массива среднемесячных полей приводного атмосферного давления над акваторией, ограниченной параллелями 20° и 60° ю.ш. и меридианами 70° и 170° з.д. с января 1979 г. по декабрь 1991 г. был выполнен расчёт главных компонент. Для дальнейшего использования в регрессионном анализе были взяты первые 6 главных компонент, которые в сумме описывают 86% дисперсии поля атмосферного давления.

Первая главная компонента описывает среднюю дисперсию поля. По карте распределения факторных нагрузок (рис. 1) можно заключить, что исследуемый район находится под воздействием квазистационарного антициклона. Вторая и третья главные компоненты описывают зональный и меридиональный переносы, соответственно. Остальные три компоненты представ-

ляют вклады атмосферных переносов по траекториям, описываемым кривыми второго порядка.

Предположение о том, что изменчивость поля атмосферного давления отражается на распределении скоплений ставриды не сразу, а с некоторым сдвигом во времени, стало одной из основных предпосылок данной работы. В связи с этим множественный регрессионный анализ был выполнен с учётом «запаздывания» влияния изменчивости атмосферного поля на изменения средних координат групп успешно работающего промыслового флота, которые ассоциировались с положением наиболее плотных скоплений ставриды. Для оценки «запаздывания» влияния атмосферного давления на распределение промысла рассчитывались коэффициенты корреляции между рядами среднемесячных широт и долгот положения групп флота и рядами главных компонент поля атмосферного давления.

Для каждой из главных компонент определялся сдвиг по времени (лаг), на котором коэффициент корреляции с параметром промысла достигал максимума. На основе полученных лагов временной ряд каждой главной компоненты сдвигался относительно временного ряда параметра промысла.

Полученные после сдвигов по времени ряды подвергались процедуре множественного регрессионного анализа. Регрессионный анализ проводился с использованием первых шести

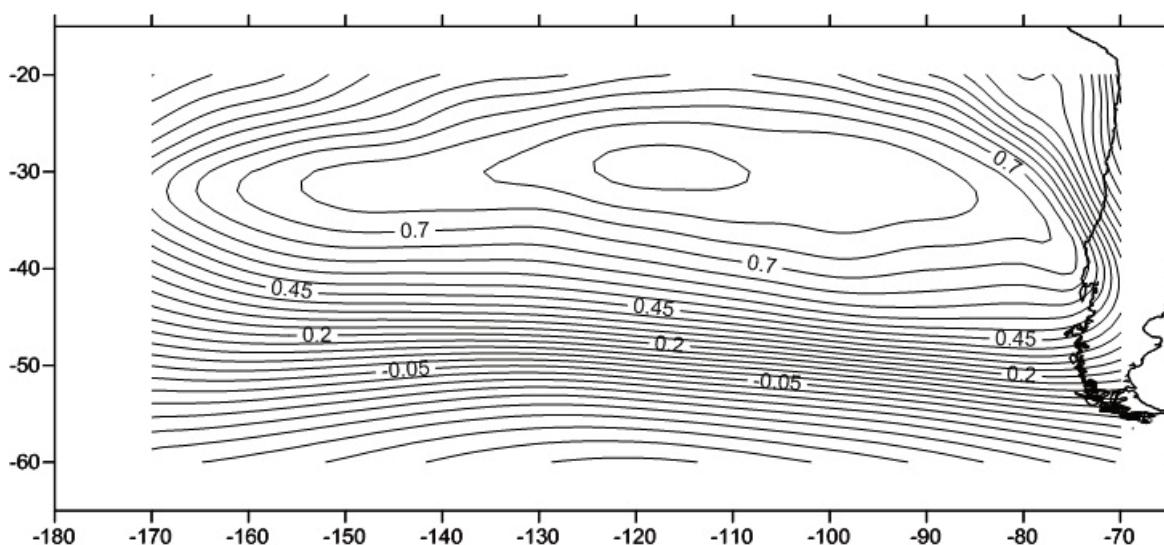


Рис. 1. Факторные нагрузки первой главной компоненты

главных компонент поля атмосферного давления, использовавшихся в качестве предикторов. В случае выявления незначимых предикторов уравнение регрессии строилось заново с их исключением из рассмотрения. В качестве предикторов использовались среднемесячные широты и долготы участков успешной работы промыслового флота.

Для оценки качества получаемых статистических моделей линейной регрессии использовались: коэффициент множественной корреляции (R), скорректированный R^2 (R^2_{adj}), критерий Фишера (F) на уровне значимости $\alpha = 0,05$. Значимость полученных коэффициентов регрессии оценивалась также для $\alpha = 0,05$. Анализ остатков включал оценку их среднего, корреляций с предикторами и результатом регрессии, оценку нормальности распределения на основе критерия Шапиро-Уилка.

Для прогнозирования ожидаемой минимальной широты расположения наиболее плотных промысловых скоплений промысла (в градусах широты) уравнение имеет вид:

$$Y = 37.503 - 0.49 \times X_1 - 0.753 \times X_2 + 0.651 \times X_3 + 0.35 \times X_4,$$

где: X_1 — первая главная компонента с нулевым сдвигом, X_2 — вторая главная компонента со сдвигом 4 месяца, X_3 — третья главная компонента со сдвигом 4 месяца, X_4 — четвертая главная компонента со сдвигом 3 месяца (рис. 2). Стандартная ошибка для коэффициентов уравнения регрессии при переменных

X_{1-4} составляет 0,17, а для свободного члена её значение равно 0,16.

Для данной модели рассчитанный $F = 15,76$ значительно превышает табличное значение $F_{\text{табл}}$ ($F_{\text{табл}} \approx 3,92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения.

Наблюдавшиеся в сентябре 1984 и марта 1987 гг. значительные отклонения фактических значений от расчётных, вероятно, были обусловлены организационно-экономическими причинами (нехватка транспортных судов для снабжения топливом и выгрузки рыбопродукции). Это, безусловно, сказалось на качестве модели, однако было принято решение не проводить сглаживание рядов, поскольку задачей данной работы было определить возможность использования реальной временной изменчивости поля атмосферного давления для прогнозирования реально наблюдавшихся показателей промысла. Анализ остатков в уравнениях регрессии показал их равенство нулю, а присутствие выбросов не позволило эффективно оценить их нормальность и некоррелированность.

Полученный результат показывает, что построенное уравнение регрессии позволяет описывать и прогнозировать минимальную широту промысла на качественном уровне.

Для максимальной широты промысла (рис. 3) было получено уравнение регрессии с тремя предикторами:

$$Y = 42.89 - 1.01 \times X_2 + 0.823 \times X_4 + 0.329 \times X_6,$$



Рис. 2. Фактические и полученные расчётные значения минимальной широты промысла с января 1979 по январь 1992 гг.

где: X_2 — вторая главная компонента со сдвигом 4 месяца, X_4 — четвертая главная компонента со сдвигом 3 месяца, X_6 — шестая главная компонента без сдвига. Стандартная ошибка для свободного члена и коэффициентов уравнения регрессии при переменных $X_{2,4,6}$ составляет 0,15.

Для данной модели рассчитанный $F = 29,78$ значительно превышает табличное значение $F_{\text{табл.}}$ ($F_{\text{табл.}} \approx 3,92$), что говорит о статистической значимости полученного уравнения. При этом модель характеризуется более высоким, по сравнению с предыдущим уравнением, $R^2_{\text{adj}} = 0,35$.

Анализ остатков этой модели также показал их нормальное распределение, некоррели-

рованность с предикторами, а также равенство нулю их среднего.

Таким образом, построенное уравнение регрессии позволяет описывать и прогнозировать максимальную широту промысла на качественном уровне.

Для максимальной долготы промысла были взяты ряды среднемесячных параметров с 1985 г., т.к. с этого времени начались ежегодные сезонные перемещения промыслового флота на запад района (рис. 4). Результаты регрессии показали, что основное влияние на распределение флота оказывает вторая главная компонента. При увеличении её значения промысел вёлся в восточной части района, а при уменьшении флот сдвигался на запад.



Рис. 3. Фактические и полученные расчётные значения максимальной географической широты промысла

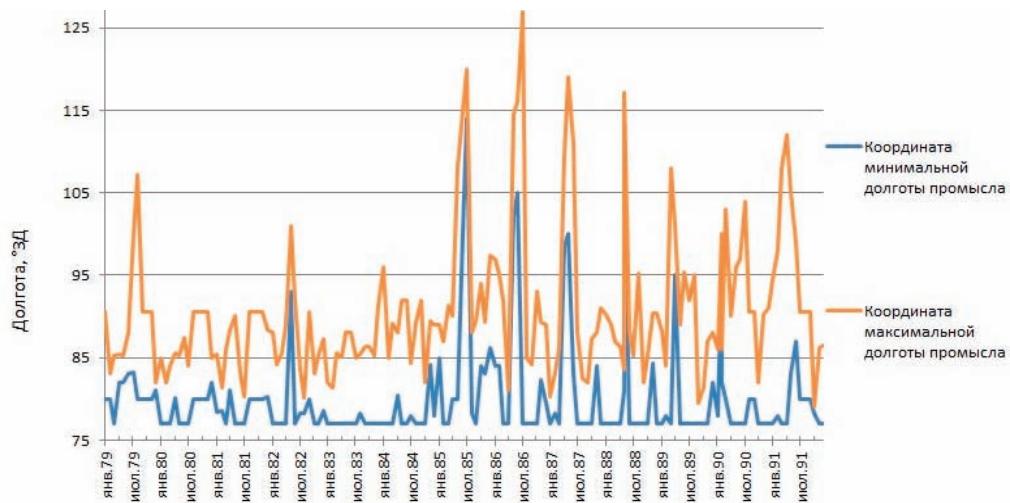


Рис. 4. Распределение промысла по долготе

$$Y = 93.5 - 4.73 \times X_2,$$

где X_2 — вторая главная компонента со сдвигом 3 месяца.

Для данной модели рассчитанный $F = 12,38$ значительно превышает табличное значение $F_{\text{табл.}} \approx 3,92$, что говорит о статистической значимости полученного уравнения. При этом модель характеризуется относительно низким $R^2_{\text{adj}} = 0,31$, что свидетельствует о низкой доле объясненной дисперсии прогнозируемого ряда.

Таким образом, использование регрессионного анализа для прогнозирования перемещения промысловых скоплений в широтном направлении показало слабую эффективность моделей ($R^2_{\text{adj}} = 0,07$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты регрессионного анализа показали возможность прогнозирования смещений промысловых скоплений в северном и южном направлениях. Примечательным является набор предикторов для минимальной и максимальной широты расположения наиболее плотных скоплений ставриды. Минимальная широта (северная граница распространения плотных промысловых скоплений) зависит от первых четырёх главных компонент, т.е. зависит как от «среднего поля», так и от характера зонального и меридионального переносов, иными словами, определяется изменчивостью квазистационарного антициклона. Максимальная же широта имеет другой набор предикторов — вторую, четвёртую и шестую главные компоненты, что указывает на доминирующую роль зонального переноса и, возможно, локальных факторов в её распределении.

Изменения долгот промысла (перемещение промысловых скоплений в направлениях восток—запад и запад—восток) описываются моделью на определения тенденций ожидаемых смещений.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для прогноза смещений скоплений ставриды в северном и южном направлениях.

Прогноз смещений промысловых скоплений в широтных направлениях возможен только на качественном уровне. Использование в качестве предикторов дополнительных параметров (например, вихревая активность полей уровнянной поверхности океана, получаемая по резуль-

татам альтиметрических измерений) может существенно повысить качество моделей, что станет следующим этапом исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят главного научного сотрудника ФГБНУ «АтлантНИРО» П.П. Чернышкова за постановку задачи и постоянную поддержку работы и сотрудников лаборатории промысловой океанологии ФГБНУ «АтлантНИРО», за полезные обсуждения результатов работы на всех стадиях её выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

- Малинин В.Н. 2008. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: ГОУ ВПО «РГГМУ». 408 с.
- Малинин В.Н., Гордеева С.М. 2009. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана: монография, СПб.: ГОУ ВПО «РГГМУ». 280 с.
- Промысловые атласы по району юго-восточной части Тихого океана за 1979—1991 гг. 1992. Калининград: Запрыбпромразведка, 1992. 84 с.
- Федотов М.С., Чернышков П.П. 2015. Влияние океанологических процессов на распределение ставриды в южной части Тихого океана // Труды III Балтийского морского форума «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». С. 53—56.
- Чернышков П.П., Дерябин Н.Н. 2008. 30 лет со времени открытия и освоения ресурсов пелагических рыб в южной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. № 5. С. 30—33.
- Чурин Д.А., Бородин Е.В., Чернышков П.П. 2014. Научное обеспечение возобновления российского промысла в Антарктической части Атлантики и южной части Тихого океана / Рыбное хозяйство. № 5. С. 57—62.

REFERENCES

- Malinin V.N. 2008. Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoi informacii. SPb.: RGGMU. 408 s.
- Malinin V.N., Gordeeva S.M. 2009. Promyslovaya okeanologiya yuzhno-vostochnoj chasti Tihogo okeana: monogr. Fisheries oceanology of the South-Eastern Pacific: monogr. SPb.: GOU VPO «RGGU». 280 s.
- Promyslovyye atlasy po rayonu yugo-vostochnoy chasti Tihogo okeana za 1979—1991 gg. 1992. Kaliningrad: Zaprybpromrazvedka, 1992. 84 s.
- Fedotov M.S., Chernyshkov P.P. 2015. Vliyanie okeanologicheskikh processov na raspredelenie stavridy v yuzhnoj chasti Tihogo okeana [The influence of oceanological processes on the distribution of jack mack-erel in the South Pacific] // Trudy III Baltijskij morskoy forum «Vodnye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoemov». S. 53—56.
- Chernyshkov P.P., Deryabin N.N. 2008. 30 let so vremenemi otkrytiya i osvoeniya resursov pelagicheskikh ryb v yuzhnoj chasti Tihogo okeana [30 years since the disco-

very and development of pelagic fish resources in the South Pacific] // Rybnoe hozyajstvo. № 5. S. 30–33.
Churin D.A., Borodin E.V., Chernyshkov P.P. 2014.
Nauchnoe obespechenie vozobnovleniya rossiskogo pro-

mysla v Antarkticheskoy chasti Atlantiki i yuzhnoj chasti Tihogo okeana [Scientific support for the resumption of Russian fishing in the Antarctic Atlantic and the South Pacific] // Rybnoe hozyajstvo. № 5. S. 57–62.

*Поступила в редакцию 04.09.2017 г.
Принята после рецензии 03.10.2017 г.*

The distribution of fisheries concentrations of jack mackerel in south Pacific due to the atmospheric processes

M.S. Fedotov¹, P.S. Petkilev²

¹Kaliningrad State Technical University (FSBEI HPE «KSTY»), Kaliningrad

²Immanuil Kant Baltic Federal University (IKBFU), Kaliningrad

The impact of large-scale atmospheric processes on the distribution of horse mackerel in the southwestern part of Pacific ocean was investigated. The features of the distribution of horse mackerel were determined by the results of the work of the fishing fleet, presented in the form of monthly fishing atlases. Parameters of atmospheric processes were characterized by series of the first six main components of the features of the monthly atmospheric pressure fields by natural orthogonal functions. The method of multiple regression analysis established statistically significant relationships between atmospheric processes and the distribution of commercial aggregations of horse mackerel. It is shown that latitudinal displacements of aggregations occur with certain time shifts after changes in atmospheric processes. The regression equations are obtained, the contributions of each of the key components used in the equations are determined, the corresponding time shifts are established. The results can be used to determine the optimal arrangement of the fishing fleet by predicting the latitudinal displacements of the most commercial aggregations of horse mackerel with a lead time of 1–4 months.

Keywords: southern Pacific, atmospheric processes, horse mackerel, distribution of the aggregations in the area.