

С.М. Гордеева, А.Д. Жарова

**ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА РЫБОПРОМЫСЛОВОЙ ОБСТАНОВКИ
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

S.M. Gordeeva, A.D. Zharova

**OPERATIONAL ASSESSMENT OF FISHERIES
IN THE SOUTHEAST PACIFIC**

На основе спутниковых альтиметрических данных и данных о температуре поверхности океана сделана попытка выявить зоны биологической продуктивности вод юго-восточной части Тихого океана, где могут ожидать промысловые скопления ставриды. Сопоставление с известными промысловыми зонами показало хорошее совпадение. Выявленные районы сопряжены с южным субтропическим фронтом и в основном определяются градиентами температуры поверхности океана.

Ключевые слова: спутниковые данные, юго-восточная часть Тихого океана, рыбопромысловый прогноз.

*On the basis of satellite altimetry data and data of sea surface temperature an attempt has been made to identify the areas of biological productivity in the Southeast Pacific area, where commercial concentrations of horse mackerel *Trachurus murphyi* can be expected. The comparison of the results to the known fishing areas in the Southeast Pacific showed good agreement. The identified areas are connected with the Southern Subtropical Front and are mainly driven by the sea surface temperature gradient.*

Keywords: satellite data, Southeast Pacific, fishing forecast.

Введение

Промысловый район юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО) еще с конца семидесятых годов прошлого века стал важным промысловым районом для Советского Союза благодаря своей высокой биологической продуктивности, которая обусловлена уникальными физико-географическими условиями в данной части Тихого океана. Однако с распадом Советского Союза и ухудшением экономической ситуации в стране в 1991 г. промысел в данном районе прекратился [3]. Тем не менее интерес к данному региону со стороны России сохраняется. В начале и в конце прошлого десятилетия Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) провел две экспедиции в ЮВТО, подтвердившие сохранение биологической продуктивности данного промыслового района [8].

В настоящее время наиболее актуальным подходом к прогнозированию промысловых скоплений рыбы можно считать использование спутниковых данных, поскольку это значительно упрощает рыбопромысловую разведку. По данной тематике известно несколько работ, например работа [5], в которой рассматривается применение спутниковых альтиметрических снимков для оценки промыслово-океанологической

обстановки в ЮВТО. В данной работе рассчитывались аномалии уровенной поверхности, получено поле синоптической динамической топографии, сопоставление которого с результатами контрольных тралений показало наибольшую концентрацию рыбных скоплений в районе динамических неоднородностей поверхности океана (меандры, вихри).

Еще одной работой по этой тематике является работа Мышерина [4], в которой описан алгоритм применения спутниковой информации для определения рыбопродуктивных зон Мирового океана. За основу работы взят известный факт о приуроченности промысловых скоплений рыб к термическим фронтам, а также учтены такие факторы, как кормовая база для рыбы и динамическая топография. Исходными данными в этой работе являлись температура поверхности океана (ТПО), уровенная поверхность океана, их градиенты и распределение хлорофилла.

В настоящей работе рассматривается метод прогнозирования, основанный на использовании спутниковых данных о температуре поверхности и уровне океана.

Исходные данные и методы исследования

За основу работы взят патент № 2495566 «Способ мониторинга и прогноза скоплений пелагических рыб-планктонофагов» [6]. Суть метода состоит в определении зон пересечения областей повышенных градиентов ТПО (по исходному методу — более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ на милю) с областями отклонений уровня от усредненной поверхности акватории (не более $\pm 5\text{ см}$) с нанесением этих областей на промысловые планшеты. В местах пересечения указанных характеристик ожидаются скопления рыб. В патенте предполагается использование информации о распределении ТПО из всевозможных источников, в том числе и спутниковых. Информация об отклонениях уровня — спутниковые альтиметрические данные. Дискретность по пространству не должна превышать 20 миль. Разработанные промысловые планшеты передаются рыболовческим судам, руководителям флотилий и судовладельцам. На основании этих планшетов капитаны судов могут выбирать районы акватории, наиболее перспективные в промысловом отношении.

В настоящей работе изучается возможность применения методики патента [6] к оценке промысла ставриды в ЮВТО, рассматривается несколько модификаций данного метода. Во-первых, вместо аномалий уровенной поверхности используется динамическая топография (высота поверхности океана над геоидом, ВПО). Во-вторых, выдвигается гипотеза о скоплении ставриды в областях пересечения минимальных градиентов ВПО и повышенных градиентов ТПО. Данная гипотеза основана, в частности, на работе Д.А. Чурина [7], в которой изучалось распределение антарктического криля в областях мезомасштабных вихрей. Итогом его исследования явился вывод о наибольшем скоплении криля на перифериях вихря, где выявляются небольшие аномалии уровенной поверхности ($\pm 5\text{ см}$) и, соответственно, небольшой градиент ВПО.

Поясним более подробно ряд соображений, после которых была выдвинута гипотеза о скоплениях рыб в областях с небольшим градиентом уровня поверхности. В своей работе Д.А. Чурин [7] рассматривал криль, который хоть и может самостоятельно перемещаться, однако его размеры малы, и сопротивляться динамике вод он

не может. В связи с этим обнаружение больших скоплений криля на перифериях вихря можно объяснить тем, что он как бы «скатывается по склону» вихря и накапливается в областях, где нет больших градиентов уровня.

Рацион ставриды составляют разнообразные планктонные беспозвоночные — ракообразные, сифонофоры, моллюски, шетинкочелюстные, а из позвоночных — рыбы, их икра и личинки [1]. Все из перечисленного, кроме рыб, также как и криль, могут «скатываться» в области с небольшим градиентом уровня и там накапливаться, а ставрида способна подходить к местам этих скоплений. Условие повышенного градиента ТПО не может быть исключено ввиду того, что ее повышенные градиенты указывают на фронтальные разделы, а, как известно, это зоны высокой биологической продуктивности за счет образования вихрей, вертикальных циркуляционных ячеек в зоне фронта, в которых происходит поднятие биогенных элементов.

Для исследования был выбран участок ЮВТО в следующих границах: от 20 до 50° ю.ш. и от 75 до 100° з.д.

Исходными данными для работы послужили суточные значения температуры и высоты поверхности океана. Источником информации о ВПО послужили данные глобальной модели реанализа Global Ocean Physics Reanalysis GLORYS2V3, которая построена на базе океанской модели NEMO и ассимилирует данные альтиметрии и буев ARGO (http://marine.copernicus.eu/web/69-interactive-catalogue.php?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHYS_001_009) [9]. Данные о ВПО в модели представлены в метрах. Пространственное разрешение — 0,25° по долготе и 0,2° по широте. Значения ТПО взяты из модели OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) с шагом по сетке в 1/4° (<http://www.ncdc.noaa.gov/oisst>) [10].

Период исследования — с 30 сентября 2002 г. по 31 января 2003 г. — совпадает по времени с экспедицией АтлантНИРО в регионе ЮВТО [8]. Из общего массива данных выбирались значения за каждый 5-й день, в итоге производилась обработка 25 пентадных полей ТПО и ВПО.

По исходным данным рассчитывались пространственные градиенты ВПО и ТПО по следующей формуле [3]:

$$\frac{\Delta N}{\Delta L} = \sqrt{\left(\frac{\Delta N}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N}{\Delta y}\right)^2},$$

где N — характеристика, градиент которой рассчитывается; x, y, L — расстояния в меридиональном, широтном и трансфронтальном направлениях, соответственно, в милях; ΔN — перепад характеристики по соответствующему направлению.

Результаты и обсуждение

Первоначально рассматривалось среднее распределение градиентов ТПО за исследуемый период. На рис. 1, *a* представлено среднее распределение градиентов ТПО в рассматриваемой области, а на рис. 1, *b* — среднее многолетнее положение Южного субтропического фронта и его квантильный анализ [3]. Как видно из рисунка, зоны повышенных градиентов ТПО приурочены к Южному субтропическому фронту.

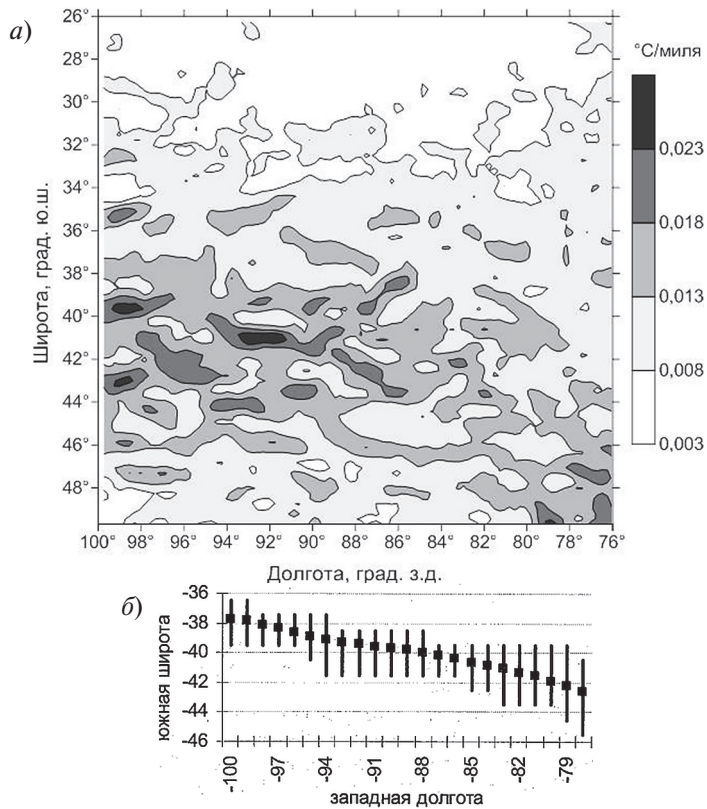


Рис. 1. Среднее за период с 30 сентября 2002 г. по 31 января 2003 г. распределение пространственного градиента ТПО (а) и среднемноголетнее положение и квантильный анализ Южного субтропического фронта (б) по [3]

В соответствии с методикой патента [6] для каждого пятого дня из общего объема данных строились промысловые планшеты — карты с областями пересечения распределений различных промысловых характеристик. Суть данных карт в том, что в областях пересечения двух характеристик, выделенных в определенном диапазоне значений, ожидаются скопления промысловых видов рыб, в частности перуанской ставриды.

Вариант промысловых планшетов № 1. На карты наносились области повышенных градиентов ТПО (более 0,02 °C/миля) и ВПО в пределах ± 5 см. Пример данной карты приведен на рис. 2.

При визуальной оценке планшетов этого типа за весь период исследований можно выделить довольно много зон, где отмечается пересечение требуемых по методу характеристик. В целом такие зоны наблюдаются в полосе от 35 до 45° ю. ш. Отмечается смещение как зон повышенных градиентов ТПО, так и зон ВПО (в пределах ± 5 см) на юг к середине лета южного полушария.

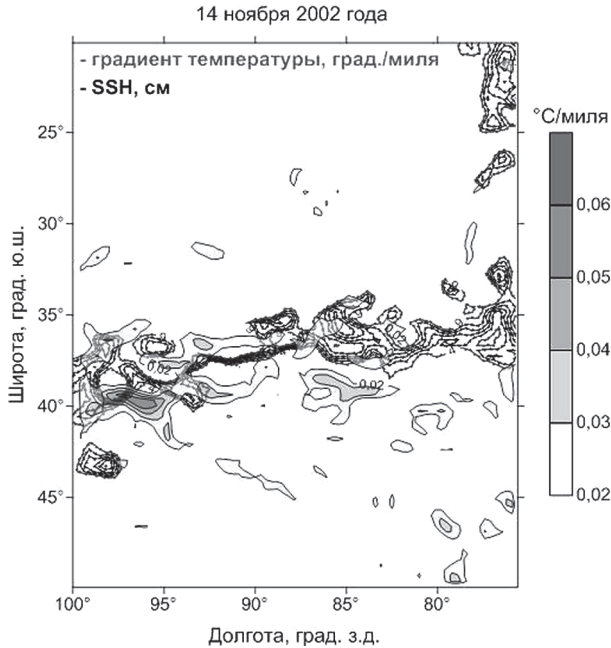


Рис. 2. Пример промыслового планшета на 14 ноября 2002 г. Черные линии — ВПО в пределах ± 5 см; серая градиентная заливка — области повышенных градиентов ТПО, $^{\circ}\text{C}/\text{миля}$

Для выявления области, где наиболее часто следует ожидать скоплений перуанской ставриды, в одноградусной сетке было рассчитано число совпадений следующих условий: градиент ТПО в пределах от 0,02 до 0,06 $^{\circ}\text{C}/\text{миля}$ и ВПО в пределах ± 5 см. Результаты представлены в виде карты (рис. 3), на которой величина точек пропорциональна числу совпадений. Максимально возможная повторяемость равна 25 случаям.

При рассмотрении карты (см. рис. 3) выделяются три области. Две из них лежат в полосе 39–45° ю.ш., а по долготе располагаются от 80° и почти до 100° з.д. Третья, и самая маленькая из всех, смещена немного южнее: в район 42–47° ю.ш. и по долготе — между 75–79° з.д., в этой области наименьшее число повторений требуемых условий. Максимум повторений наблюдается в самой западной области и достигает 23 случаев из 25 (90–95° з.д.). В целом можно сказать, что область, где с наибольшей вероятностью ожидаются скопления рыб, лежит в пределах следующих координат: 40–45° ю.ш. и 85–100° з.д. Карта была сопоставлена с ареалом обитания ставриды [2] и выявлено, что выделенные на рис. 3 области попадают в этот ареал.

Также для оценки достоверности результатов использовались данные о выловах АтлантНИРО в 80-х гг. прошлого столетия из диплома И.Ю. Митина (РГГМУ, 2007). При рассмотрении пространственного распределения количества выловов четырехлетней и пятилетней перуанской ставриды в период с 1980 по 1991 г. выявлено, что наибольший вылов рыбы в целом приходится на район 35–45° ю.ш. и 80–105° з.д.,

а максимум — на квадрат с координатами 40–45° ю.ш. и 80–90° з.д. Это совпадает в своем широтном распределении с областью пересечения минимальных ВПО и повышенных градиентов ТПО, выделенной на рис. 3.

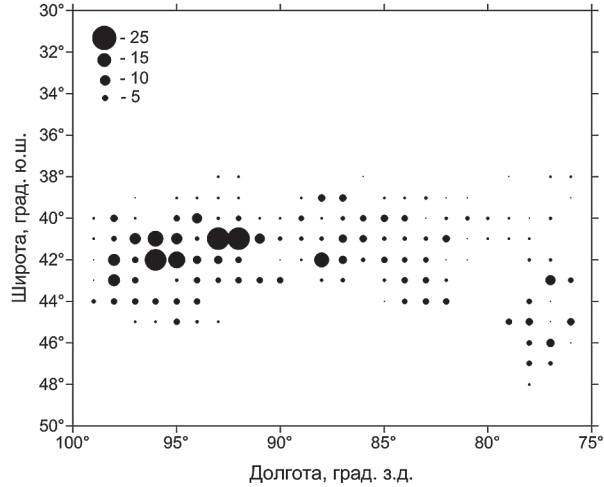


Рис. 3. Повторяемость (количество случаев) совпадения условий градиент ТПО в пределах 0,02–0,06 °С/миля и значений ВПО меньше ± 5 см. Величина точек пропорциональна повторяемости

Однако по долготе область экстремальных градиентов смещена на запад. Такое расхождение можно объяснить прежде всего тем, что данные выловов АтлантНИРО охватывают другой период времени, в данной работе рассматривается состояние вод почти на 12 лет позже, за это время в данном регионе могли измениться различные гидрологические характеристики. Так, известно, что для Южного субтропического фронта в его восточной части межгодовая изменчивость в положении достигает 5° широте [3]. Поэтому по данным за 1980–1991 гг. можно только примерно оценить, насколько успешен прогноз скопления рыб в зоне, выделяющейся на рис. 3.

Сопоставление района экстремальных градиентов и области выловов в экспедиции АтлантНИРО в 2002–2003 гг. [8] не принесло положительных результатов, поскольку в ходе экспедиции была исследована лишь небольшая область в пределах рассматриваемого в данной работе района, а именно в полосе от 38 до 40° ю.ш., соответственно, и нет данных по вылову южнее 40° ю.ш.

Вариант промысловых планшетов № 2. В этом случае строились промысловые планшеты по значениям градиентов ТПО и ВПО. Так же, как и для варианта № 1, выделялись области градиентов ТПО от 0,02 °С/миля и более, а градиенты ВПО рассматривались в пределах от 0 до 0,1 см/милю. При рассмотрении всего объема карт было выявлено, что районы с повышенным градиентом ТПО в основном совпадают с участками акватории, где градиент ВПО минимален. Для того чтобы выявить эти области, так же как и для варианта № 1, в одноградусной сетке было

рассчитано число совпадений этих условий. Результаты вычислений представлены на рис. 4 в виде карты.

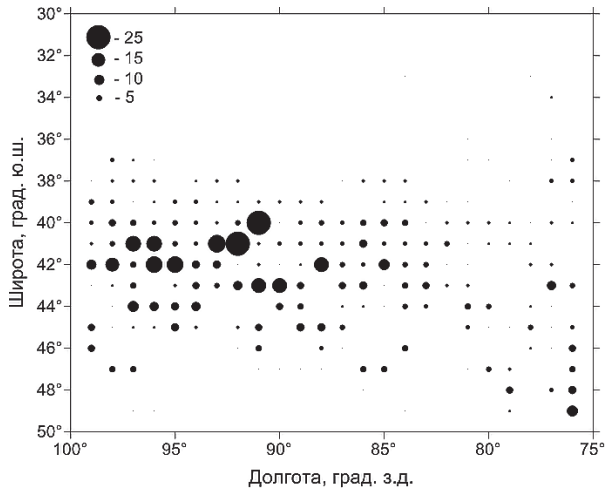


Рис. 4. Повторяемость (количество случаев) совпадения условий градиент ТПО в пределах 0,02–0,06 °С/миля и градиент ВПО меньше 0,1 см/миля. Величина точек пропорциональна повторяемости

На рис. 4 выделяется область в полосе между 38° и 44° ю.ш., где наиболее часто одновременно наблюдались минимальный градиент ВПО и повышенный градиент ТПО. Наибольшая повторяемость совпадений приходится на широту 40–42° ю.ш. и долготу 90–93° з.д. Если сравнить рис. 4 и рис. 3, то можно отметить их схожесть: максимум повторяемости располагается в квадрате 90–97° з.д. и 40–44° ю.ш., вся область вытянута вдоль параллели. Кроме того видно, что малый градиент ВПО в целом по акватории чаще совпадает с большим градиентом ТПО и в двух одноградусных квадратах с центрами 40° ю.ш. 91° з.д. и 41° ю.ш. 92° з.д. это совпадение имеет 100 % вероятность. Если сопоставить рис. 4 с ареалом обитания перуанской ставриды [2], то видно, что выделяемая зона попадает в этот ареал.

Заключение

На основе существующего патента прогнозирования скоплений рыб-планктонофагов [6] были рассмотрены два варианта составления прогностических промысловых планшетов для ЮВТО. В первом варианте использование критериев патента показало его применимость, как для другого промыслового объекта, так и для других гидрологических условий. Во втором варианте выявлено, что максимальные градиенты ТПО во многих случаях сопряжены с минимальными градиентами уровня океана, вследствие чего можно сделать вывод, что потенциально богатые промысловые зоны океана наряду с термическими фронтами могут определяться областями малых градиентов уровня.

Сравнение промысловых планшетов с имеющимися данными о выловах подтвердило перспективность применения данных методов для оперативного рыбопромыслового прогнозирования в ЮВТО.

Основной перспективой дальнейшего исследования видится оценка вклада распределения ВПО и ее градиентов в выделение перспективных для промысла зон, а также выявление связи скоплений ставриды с распределением мезомасштабных океанских вихрей.

Литература

1. *Виноградов В.И., Архипов А.Г., Козлов Д.А.* Питание перуанской ставриды *Trachurus symmetricus murphyi* и перуанской скумбрии *Scomber japonicus peruanus* в юго-восточной части Тихого океана [Электронный ресурс] // Калинингр. гос. тех. ун-т. Электронный журнал «KSTU NEWS». 2013. № 28. — С. 49–69. — URL: http://www.kgtu.ru/en/research/magazine/2013_28/
2. *Елизаров А.А., Гречина А.С., Котенев Б.Н., Кузнецов А.Н.* Перуанская ставрида *Trachurus symmetricus murphyi* в открытых водах южной части Тихого океана // *Вопр. ихтиологии*. 1992. Вып. 6. — С. 61–65.
3. *Малинин В.Н., Гордеева С.М.* Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. Т. 1. Изменчивость факторов среды обитания. — СПб.: РГГМУ, 2009. — 278 с.
4. *Мышерин В.А.* Алгоритм внедрения высокоградиентных зон Мирового океана, обладающих повышенной биологической продуктивностью // *Вест. Балт. фед. ун-та им. И. Канта*. 2014. Вып. 10. — С. 169–173.
5. *Сирота А.М., Лебедев С.А., Тимохин Е.Н., Чернышов П.П.* Использование спутниковой альтиметрии для диагноза промыслово-океанологических условий в Атлантическом и юго-восточной части Тихого океанов. — Калининград: АтлантНИРО, 2004. — С. 68.
6. *Старицын Д.К., Устинова Е.И., Филатов В.Н., Еремин Ю.В., Балло А.В.* Способ мониторинга и прогноза мест скопления пелагических рыб-планктонофагов: патент № 2495566 [Электронный ресурс] // Роспатент: информационно-поисковая система/ ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности. — URL: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2495566&TypeFile=html
7. *Чурин Д.А.* Мезомасштабная динамика вод Антарктической части Атлантики и ее влияние на распределение криля: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.28 [Электронный ресурс] // *Балт. фед. ун-т им. И. Канта*. 2016. — URL: <https://www.kantiana.ru/upload/iblock/0e4/dissertatsiya-churin-d.a..pdf>
8. *Чухлебов Г.Е., Каширин К.В., Чернышков П.П.* Научно-поисковая экспедиция НИС «Атлантида» в юго-восточную часть Тихого океана // *Рыбное хоз*. 2004. № 2. — С. 18–23.
9. *Parent L., Ferry N., Barnier B., Garric G., Bricaud C., Testut C.-E., Le Galloudec O., Lellouche J.-M., Greiner E., Drevillon M., Rémy E., Molines J.-M.* GLOBAL Eddy-Permitting Ocean Reanalyses and Simulations of the period 1992 to present [Electronic resource] // Sixth WMO Symposium on Data Assimilation NOAA Center for Weather and Climate Prediction / Univ of Maryland, College Park, USA, 7–11 October 2013. — URL: http://das6.umd.edu/program/Daily/slides/9.3-Parent_Laurent.pdf
10. *Reynolds R.W., Smith T.M., Liu C., Chelton D.B., Casey K.S., Schlax M.G.* Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature // *Journal of Climate*, 2007, vol. 20, p. 5473–5496. — DOI:10.1175/JCLI-D-14-00293.1.