

УДК [639.22.053.1:597.556.13]:[528.837:629.783](265.5)

**ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ
СКОПЛЕНИЙ САЙРЫ ОТ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ
ДАНЫМ**

П.К. Козуб, Т.В. Белоненко

Санкт-Петербургский государственный университет, pkkozub07@gmail.com

Изучается влияние океанологических условий на формирование промысловых скоплений тихоокеанской сайры в Южно-Курильском районе северо-западной части Тихого океана. Показано, что промысловые скопления сайры соответствуют областям значений температуры поверхности океана (ТПО) от 10 до 15 °С, а также подтверждена приуроченность сайры к температурным фронтам. Выявлена приуроченность районов вылова сайры к областям отрицательных значений аномалий ТПО (от –2 до –0,5 °С) и циклоническим образованиям в поле уровня моря (динамическая топография в пределах от –0,21 до –0,08 м). Установлено, что благоприятными условиями для формирования промысловых скоплений тихоокеанской сайры служат области дивергенции полного потока.

Ключевые слова: сайра, Южно-Курильский район, спутниковые данные, динамическая топография, температура поверхности океана.

**DEPENDENCE OF PACIFIC SAURY FISHINGS
ON OCEANOGRAPHIC VARIABLES IN THE SOUTH KURIL AREA
BY SATELLITE DATA**

P.K. Kozub, T.V. Belonenko

St. Petersburg State University

The effect of oceanographic condition on formation of Pacific saury aggregations in South Kuril area in NW Pacific has been studied. The authors show that formation of saury aggregations corresponds to values of SST from 10 to 15 °C, also the relation between the saury aggregation density and temperature fronts was confirmed. A strong connection between saury fisheries and negative values of anomalies SST (from –2 to –0,5 °C) and cyclonic formations in the field of sea level (range of dynamic topography from –0,21 to –0,08 m) was revealed. It has been proved that divergence regions are represented to be favorable condition to make saury aggregations because of upwelling process.

Keywords: saury, South Kuril area, satellite data, dynamic topography, sea surface temperature.

Введение

Сайра принадлежит к субтропической умеренно тепловодной ихтиофауне и отсутствует как в холодных арктических водах, так и в тропической зоне. При естественных условиях по вертикали она не опускается ниже слоя термо- и пикноклина и находится в 10—30-метровом слое. При прогревании вод течения Куросио слой скачка заглубляется, и, соответственно, здесь косяки сайры наблюдаются на глубине 50 м и ниже [9]. Sullivan [15] исследовал воздействие температуры воды на перемещение рыб и их распределение и изучил роль рецепторного механизма центральной нервной системы рыбы в реакции на температуру воды.

Исходя из полученных результатов он сделал вывод о том, что рыба выбирает воду определенной температуры из-за влияния температуры на ее активность. Он также подчеркнул, что колебания температуры воды могут воздействовать на рыб как раздражители, регуляторы процессов метаболизма, а также как регуляторы физической активности. Рыбы могут определять температурные градиенты в воде, что позволяет им путем выбора вод с определенной температурой контролировать температуру своего тела. Температурные фронты представляют собой зоны наиболее благоприятных условия для миграции рыб [12].

Приуроченность сайры к океаническим фронтам была известна задолго до начала спутниковых исследований океана [4—6]. В мезомасштабе значительное воздействие на промысел сайры оказывает короткопериодная изменчивость положения гидрологических фронтальных зон, у которых задерживается рыба [9]. С развитием дистанционного зондирования Земли эта тема стала чаще обсуждаться в публикациях [2, 8, 10, 12].

Ученые по-разному оценивали оптимальную температуру для распространения сайры [6, 12]. В монографии В.Н. Филатова [9] указывается, что сайра может обитать в широком диапазоне температур — от 5,5 до 28,0 °С. При этом летом и осенью сайра нагуливается и образует скопления в благоприятных для нее поверхностных водах течений Ойясио и Камчатско-Курильском, включая их ветви, которые обычно прогреваются до 8—14 °С; а в зимне-весеннее время, когда у большей части популяции проходит период нереста, сайра располагается в субтропических водах течения Куроисио и смешанных водах течений Куроисио и Ойясио, температура которых в этот период составляет 16—21 °С. Такие значения температуры воды определяют наибольшую вероятность наличия сайровых косяков, состоящих из половозрелых и нерестящихся особей.

В начале 2000-х годов была обнаружена приуроченность сайры к пограничным зонам неоднородностей в поле уровня моря, причем более вероятно наличие скоплений сайры в областях с наименьшими аномалиями уровня [7]. Эти участки совпадали с положением гидрологических фронтов, однако не все гидрологические фронты соответствовали наименьшим значениям аномалий уровня моря. Сравнение альтиметрической информации с ИК изображениями позволило сделать вывод о том, что уровень моря является более показательным предиктором океанографических условий, чем температура поверхности воды, потому что он является интегральным показателем процессов во всей толще океана, дает описание фронтальных зон, вихрей, зон даунвеллинга и апвеллинга, а также прямо связан с изменчивостью атмосферных условий. Неоднородности уровня океана отражают структурные океанологические образования, глубина которых составляет десятки и сотни метров и которые не всегда можно обнаружить на ИК изображениях, а максимальная продуктивность лова сайры отмечалась в антициклонических областях (положительные аномалии уровня моря), на их склонах, в областях, где дивергенция полного потока была близка к нулю [7].

Используя спутниковые изображения поля температуры поверхности моря (SST) и данные о вылове рыбы, авторы [11, 14] показали, что холодные потоки или холодные нити вокруг теплого вихря либо ринга становятся маршрутами миграции сайры в направлении от Ойясио до нерестилища, расположенного южнее.

В свою очередь, теплые потоки становятся важными маршрутами для северной миграции рыб в зону кормления в субарктическом регионе.

Большинство исследований, посвященных тихоокеанской сайры, опираются на данные *in situ*, спутниковые наблюдения и данные по динамике численности сайры, определяемые по вылову рыбы в промысловый сезон. В настоящей работе рассматривается зависимость промысловых скоплений сайры от океанологических условий, характеризуемых данными дистанционного зондирования (ТПО, аномалии ТПО, динамическая топография и скорость изменения уровня моря, рассчитанная по динамической топографии) в Южно-Курильском промысловом районе (ЮКР) в период сентябрь — октябрь 2001 г.

Используемые данные

В исследовании использовались продукты сервиса *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS)¹ по следующим переменным: температура поверхности океана (ТПО) и динамическая топография (ДТ). Поля значений ТПО были извлечены из продукта SST_GLO_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_011. Входными данными для продукта являются данные вторичной обработки массивов данных спутниковых радиометров (A)ATSR и AVHRR Pathfinder, а также данных *in situ* базы данных ICOADS (суда и буи). Продукт содержит ежедневные данные анализа значений ТПО, свободные от суточной изменчивости, уровня L4 с разрешением регулярной сетки $0,05 \times 0,05^\circ$. Для работы со значениями ДТ был выбран продукт GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-025. Данный продукт покрывает период с 1993 по 2015 г. и доступен для пользователей в виде среднесуточных значений полей с пространственным разрешением $0,25^\circ$ по широте и долготе.

Информация о распределении флота, занятого промыслом тихоокеанской сайры в период сентябрь — октябрь 2001 г., получена по промысловым планшетам [1, 9].

Результаты

Авторами проанализированы данные для каждой даты за рассматриваемый период и построены карты пространственного распределения этих характеристик, на которые нанесено распределение флота, занятого промыслом сайры. Ниже перечисляются общие закономерности, полученные при комплексном анализе этих данных.

Из рис. 1 видно, что промысловые скопления сайры соответствуют областям значений ТПО в диапазоне от 10 до 15 °С, а также выражена приуроченность сайры к температурным фронтам. Этот результат не является новым и соответствует известным описаниям [9]. Однако везде указывается более широкий температурный диапазон: от 10 до 18 °С. Также следует обратить внимание на то, что сайровый флот находится на юго-западной периферии холодного течения Ойясио, а большинство судов располагалось вдоль изотерм 11—13 °С, преимущественно с холодной стороны.

Приуроченность зон, благоприятных для вылова скоплений сайры, к юго-западной периферии Ойясио более ярко проявляется при анализе распределения

¹ <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>

аномалий ТПО (рис. 2), в результате которого были выявлены следующие закономерности: места вылова тихоокеанской сайры и образование промысловых скоплений сайры в исследуемый промежуток времени относятся преимущественно к областям отрицательных аномалий ТПО. Хотя значения ТПО колеблются в диапазоне от -3 до $+1$ °С, положительные аномалии отмечаются крайне редко. Так, изолиния аномалии $+1$ °С отмечается всего один раз за месяц (см. рис. 2 б), представляя собой не концентрацию судов, а положение всего одного судна. Если исключить такие редкие случаи, то можно сказать, что наиболее комфортные условия для обитания сайры определяются аномалиями ТПО в пределах от -2 до $-0,5$ °С для всего рассматриваемого периода. Образование областей отрицательных аномалий ТПО, очевидно, связано с мезомасштабными вихрями, когда

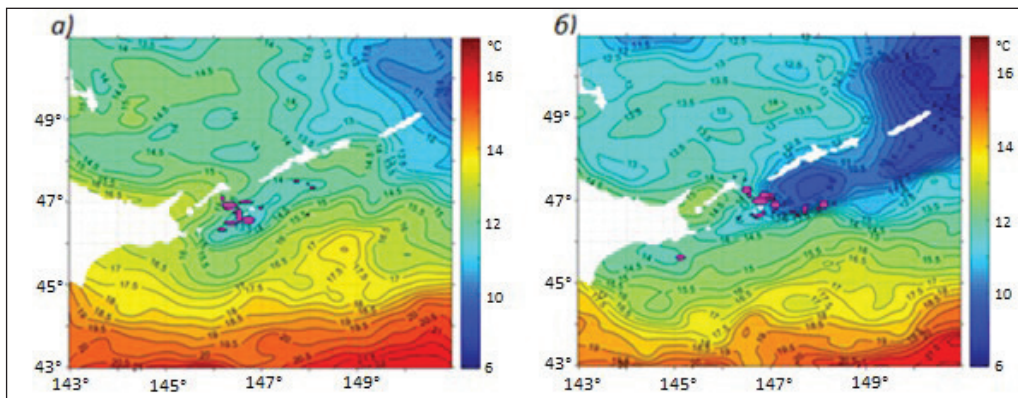


Рис. 1. Распределение ТПО (°С) в Южно-Курильском промысловом районе по данным за 17 сентября (а) и 24 сентября 2001 г. (б).

Овалами (здесь и далее) показано расположение промыслового флота на эти даты.

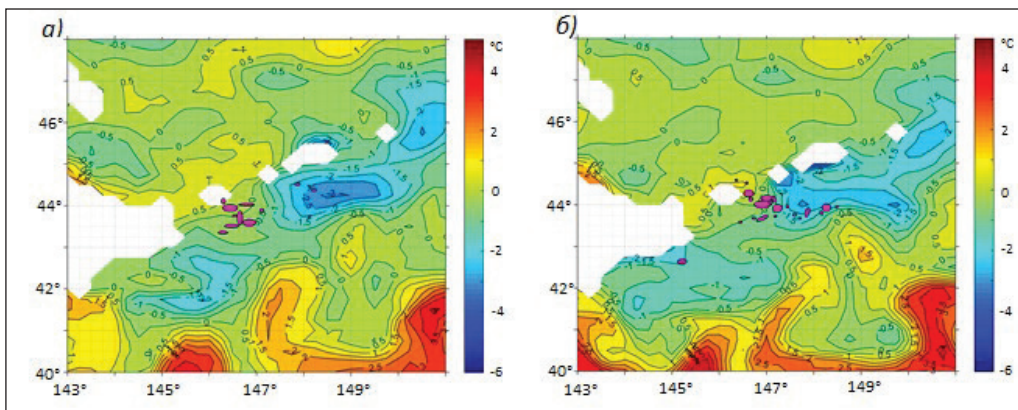


Рис. 2. Аномалии ТПО (°С) в Южно-Курильском промысловом районе и распределение промыслового флота по данным за 17 сентября (а) и 24 сентября (б) 2001 г.

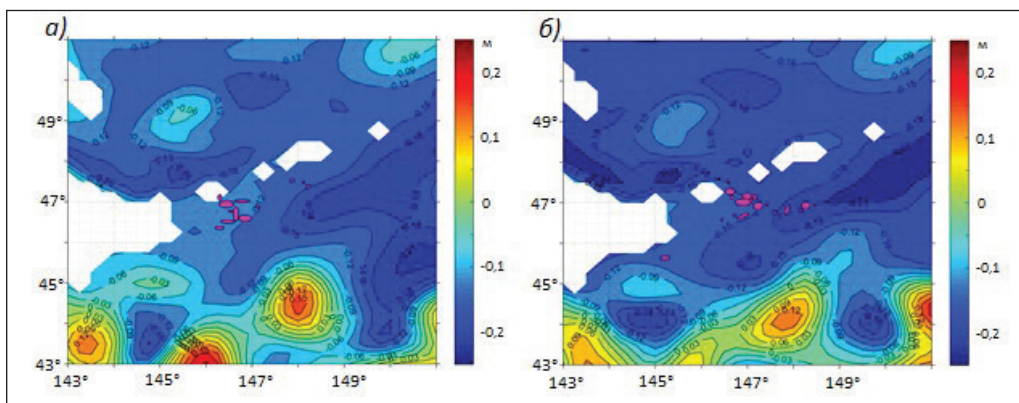


Рис. 3. Динамическая топография (м) в Южно-Курильском промысловом районе и распределение промыслового флота по данным за 17 сентября (а) и 24 сентября (б) 2001 г.

отрицательные аномалии ТПО соответствуют циклоническим вихрям (положительные — антициклоническим).

Карты пространственного распределения динамической топографии (рис. 3) не отразили сформировавшихся выраженных вихревых структур в местах локализации флота, что, очевидно, связано с недостаточным пространственным разрешением альтиметрических данных. Кроме того, альтиметрические данные в прибрежных областях часто, вообще, нерепрезентативны для оценки уровня океана, что обусловлено не только техническими особенностями получения этих данных, но и влиянием топографии, а также характерными для прибрежной зоны приливными течениями, которые не учитываются используемыми при получении этих данных приливными моделями [13, 16]. Тем не менее альтиметрические данные показали приуроченность промысловых скоплений сайры к областям с циклоническим понижением динамической топографии: в сентябре 2001 г. все промысловые скопления сайры находились в областях с отрицательными значениями динамической топографии в диапазоне от $-0,21$ до $-0,08$ м.

Для определения зон дивергенции и конвергенции авторами были картированы значения скорости изменения уровня океана $\partial\xi/\partial t$ (с шагом по времени одни сутки), которые в каждой точке сетки связаны с дивергенцией полного потока обрванной зависимостью по следующей формуле: $\frac{\partial\xi}{\partial t} = -\text{div}(\vec{v}H)$, где ξ — уровень океана, представленный динамической топографией; $(\vec{v}H)$ — полный поток.

Проанализировав полученные распределения, можно утверждать, что в сентябре 2001 г. промысел сайры производился преимущественно в областях, для которых характерны отрицательные значения скорости изменения уровня океана $\partial\xi/\partial t$ в диапазоне от $-1,6$ до $1,2$ см/сут (рис. 4). В нашем исследовании вывод, сделанный в работе Старицына и др. (2004), о приуроченности промысловых скоплений

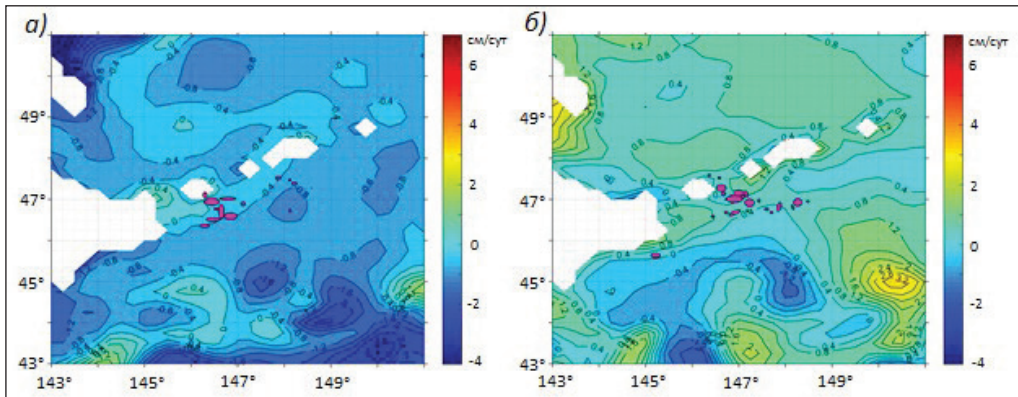


Рис. 4. Скорость изменения уровня моря (м) в Южно-Курильском промысловом районе и распределение сайрового флота по данным за 17 сентября (а) и 24 сентября (б) 2001 г.

сайры к зонам дивергенции, близкой к нулю, не подтвердился. Таким образом, совместный анализ спутниковых данных и промысловых планшетов за сентябрь 2001 г. показал, что промысловые районы сайры преимущественно относились к областям дивергенции полных потоков $\text{div}(\vec{V}H) > 0$, так как в этих зонах на поверхность поднимаются богатые планктоном глубинные воды, что создает благоприятные условия для скопления планктофагов. Это подтверждает вывод о том, что скопления рыб-планктофагов приурочены не к зонам конвергенции, а к зонам дивергенции вод [3].

Заключение

В работе проанализированы основные океанологические характеристики, а также зависимость расположения промысловых участков в Южно-Курильском промысловом районе от распределения этих характеристик. Были сделаны следующие выводы.

1. Вылов сайры в сентябре 2001 г. происходил исключительно в районах, расположенных преимущественно на юго-западной периферии стрежня течения Ойясио.

2. Основные места вылова в Южно-Курильском промысловом районе в сентябре 2001 г. соответствовали отрицательным аномалиям ТПО, составлявшим от -2 до $-0,5$ °С. Приуроченность мест вылова сайры к отрицательным аномалиям ТПО может служить основным критерием для промысловой разведки в указанный период.

3. Для районов лова были характерны отрицательные значения динамической топографии, которые составили от $-0,21$ до $-0,08$ м. Приуроченности мест вылова сайры к областям нулевых значений динамической топографии не наблюдалось.

4. Промысел сайры в сентябре 2001 г. производился в областях, где скорость изменения уровня моря изменялась от $-1,6$ до $1,2$ см/сут. Вывод о приуроченности

промысловых скоплений к зонам дивергенции, близкой к нулю, сделанный в исследовании Старицына и др. (2004), не подтвердился.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00452 и 17-05-00034.

Список литературы

1. Атлас суточных и пентадных карт распределения поверхностной температуры и скоплений тихоокеанской сайры в период нагула у Курильских островов. — Владивосток, ТИНРО-Центр, 2002.
2. Булатов Н.В., Самко Е.В., Цыпышева И.Л. Океанологические образования, благоприятные для концентрации пелагических рыб по инфракрасным данным ИСЗ NOAA // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, т. 2. С. 49—61.
3. Зуенко Ю.И. Промысловая океанология Японского моря. — Владивосток, ТИНРО-Центр, 2007. 227 с.
4. Левасту Т., Хела И. Промысловая океанография. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. 298 с.
5. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. Том I. Изменчивость факторов среды обитания. — СПб.: изд-во РГГМУ, 2009. 279 с.
6. Новиков Ю.В. Условия образования промысловых скоплений сайры // Труды ВНИРО. 1966. Т. 60. С. 143—149.
7. Старицын Д.К., Филатов В.Н., Фукс В.Р. Основы использования спутниковой альтиметрической информации для оценки условий формирования промысловых скоплений сайры // Известия ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 398—408.
8. Устинова Е.И., Филатов В.Н., Кашиштер А.В. Мониторинг гидрометеорологических условий Южно-Курильского района в период сайровой путины 2005 г. // Вопросы промысловой океанологии. 2007. Вып. 4, № 1. С. 28—50.
9. Филатов В.Н. Миграции и формирование скоплений массовых пелагических гидробионтов (на примере тихоокеанской сайры). — Ростов-на-Дону, 2015. 168 с.
10. Фукс В.Р., Белоненко Т.В. Проблемы использования спутниковой информации о концентрации хлорофилла для оценки биотических условий промысла нагульной рыбы // Вопросы промысловой океанологии. 2006. Вып. 3. С. 241—263.
11. Hirai M. On an application of infrared remote sensing techniques to the fisheries oceanography-analysis of the fine structure in saury fishing grounds using infrared images obtained from the NOAA-6 Satellite // Sora to Umi. 1985. 7. P. 1—10.
12. Huang W.B., Lo N.C.H., Chiu T.S., Chen C.S. Geographical distribution and abundance of Pacific saury, *Cololabis saira* (Brevoort) (Scomberesocidae). Fishing stocks in the Northwestern Pacific in relation to sea temperatures // Zoological Studies. 2007. 46(6). P. 705—716.
13. Marcos M., Pascual A., Pujol I. Improved satellite altimeter mapped sea level anomalies in the Mediterranean Sea: A comparison with tide gauges // Advances in Space Research. 2015. 56(4).
14. Saitoh S., Kosaka S., Iisaka J. Satellite infrared observations of Kuroshio warm-core rings and their application to study Pacific saury migration // Deep-Sea Research. 1986. 33. P. 1601—1615.
15. Sullivan C.M. Temperature receptions and responses in fish // J. Fish. Res. Bd. Canada. 1954. V. 11. No. 2. P. 153—170.
16. Volkov D.L., Larnicol G., Dorandeu J. Improving the quality of satellite altimetry data over continental shelves // J. Geophys. Res.: Oceans. 2007. 112 (C6). P. 596—604.