

# Использование спутниковой информации для оценки запасов некоторых видов промысловых рыб северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей

Ю.Н. Тананаева – ВНИРО

В настоящее время дистанционное зондирование океана – одно из быстро развивающихся направлений исследований Земли. Спутниковая информация используется в различных областях человеческой деятельности. Она широко используется во многих научных исследованиях, и в том числе – в океанологических.

Для более глубокого изучения и понимания океанических процессов необходимы различные масштабы охвата океана и высокая периодичность обновления информации. Однако традиционные методы исследования океана с использованием научно-исследовательских судов и автономных буев не могут предоставить этого, что связано, прежде всего, с невозможностью охватить постоянными измерениями акваторию всего океана и даже малых его частей. Используя данные судовых съемок, океанологи не могли иметь полной картины пространственно-временной изменчивости океана.

Дистанционные методы исследования позволяют исследовать большое количество различных полей и характеристик Мирового океана. Это температура и соленость поверхности океана, морские течения, динамика водных масс, уровень и состояние поверхности моря, скорость и направление приводного ветра, концентрации хлорофилла и взвеси, различные характеристики ледового покрова и даже рельеф дна.

Температура поверхности океана (ТПО) является одним из важнейших океанологических параметров (рис. 1). Эта характеристика важна для понимания и отслеживания процессов взаимодействия океана и атмосферы; распределение ТПО характеризует интенсивность течений, апвеллингов и даунвеллингов. Термический режим поверхностного слоя играет большую роль в формировании гидрохимических условий биопродуктивности, он оказывает значительное влияние на жизненный цикл как начальных, так и конечных звеньев трофических цепей морских экосистем.

Поле температуры является одним из наиболее значимых полей для промысловой океанологии. Каждому виду рыб свойственны оптимальные температурные условия существования, разные на различных стадиях развития, которые наряду с концентрациями кормового планктона определяют районы и глубины наибольшей концентрации рыб. Температура влияет на созревание половых про-

дуктов рыб и, соответственно, на сроки и места нереста, на продолжительность эмбриогенеза, выживаемость личинок, развитие планктонной кормовой базы рыб, на их кормовую активность, обмен веществ и рост. Сильные скачкообразные изменения температуры могут приводить к гибели рыбы.

Субарктическая часть Тихого океана и прилегающие к ней дальневосточные моря обладают высокой биологической продуктивностью и имеют важное промысловое значение. Подобно другим высокоширотным океаническим акваториям, она характеризуется значительной сезонной и межгодовой изменчивостью абиотических факторов среды, которые, в свою очередь, оказывают влияние на биологические объекты. Одним из основных факторов является термический режим, который влияет как на вегетацию фитопланктона, так и на жизнедеятельность последующих звеньев трофической цепи.

Для проводимых в данной работе исследований термических и ледовых условий поверхностного слоя северо-западной части Тихого океана анализировались еженедельные карты ТПО и ледовые карты, полученные в лаборатории дистанционных исследований Мирового океана ВНИРО по спутниковым данным с 1994 по 2007 г.

По этим картам оценивались различные составляющие термического режима, такие как температурный ход (сезонный и межгодовой) различных районов северо-западной части Тихого океана; сроки начала, окончания и продолжительность сезонов (прогрев и охлаждение поверхностных вод); скорости прогрева и охлаждения; время нахождения морских акваторий подо льдом; площади, занимаемые морским льдом; сроки и скорость ледостава и таяния льда.

За начало теплого сезона года принималось время устойчивого перехода условно выбранной изотермы через какой-либо отрезок меридиана или параллели во время весенне-летнего прогрева. Окончанием сезона считался момент пересечения выбранного участка этой изотермой при ее движении в обратном направлении при охлаждении. Аналогично производились расчеты для холодного сезона года.

Скорости прогрева и охлаждения рассчитывались по времени (количество дней) перемещения какой-либо изотермы на определенном участке акватории или по количеству времени между по-

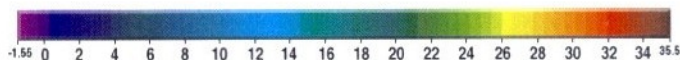
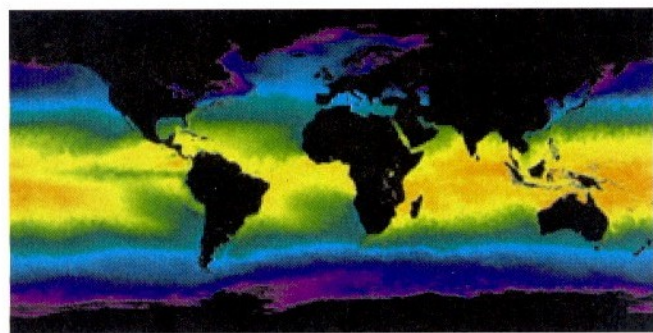


Рис. 1. Распределение температуры поверхности океана (ТПО, °С)

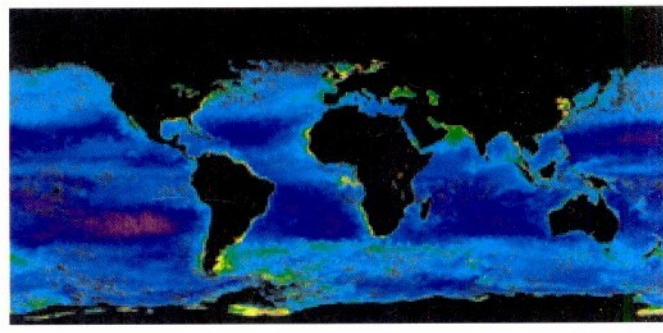


Рис. 2. Содержание хлорофилла-А в поверхностном слое Мирового океана, мг/м³

ледовательными пересечениями одного и того же места различными изотермами [Богданов М.А., Тананаева Ю.Н. Особенности межгодовой изменчивости смены холодного и теплого сезонов года и их продолжительности в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях// Арктика и Антарктика. М.: Наука, 2007. Вып. 5 (39). С. 110–111].

На основе карт распределения температуры поверхности океана был выделен ряд особенностей термического режима поверхностно-слоя северо-западной части Тихого океана.

Так, осеннее охлаждение поверхностных вод исследуемой акватории начинается с северо-запада и идет в юго-восточном направлении. Прогрев идет с юго-востока, а по мере повышения температуры – еще и с северо-запада, точнее, от восточного побережья Камчатки (за счет прогрева материка). Этим, в свою очередь, обусловлены значительные различия сроков прогрева и охлаждения на разных долготах на одной и той же широте.

Сроки и скорость прогрева и охлаждения зависят от географических координат и сильно меняются год от года. Это очень важно, так как от сроков и скорости прогрева зависят сроки нерестовых миграций горбуши. Охлаждение же, наряду со многими другими факторами, определяет сроки миграций горбуши к району зимовки.

Продолжительность теплых и холодных сезонов на рассматриваемой акватории имеет значительную межгодовую изменчивость. В отдельные годы продолжительность теплых и холодных периодов отличалась от средней больше чем на месяц.

Межгодовые изменения времени начала сезона (теплого и холодного) противоположны по знаку межгодовым изменениям его продолжительности, т.е. чем раньше начинается сезон в текущем году, тем продолжительнее он будет, и наоборот (рис. 3). Эта особенность в большей степени свойственна преобладающему по длительности сезону (в данном случае – холодному). Это позволяет со значительной заблаговременностью предвидеть окончание текущего сезона.

Также имеет место обратная связь продолжительности теплых и холодных сезонов года. Как правило, за годом с относительно большой продолжительностью сезона (теплого или холодного) следует год с меньшей его продолжительностью.

Продолжительность ледового покрова в дальневосточных морях и северо-западной части Тихого океана подчиняется тем же закономерностям (межгодовая изменчивость начала ледостава и продолжительность ледового покрова идут с обратным знаком) и может прогнозироваться в зависимости от времени начала ледостава в текущем году.

От зимних температурных условий зависит интенсивность конвективного перемешивания, обогащающего верхние слои биогенными веществами, необходимыми для вегетации фитопланктона (а он является начальным звеном трофической цепи).

Распределение фитопланктона оценивалось на основе спутниковых данных о распределении хлорофилла-А ( $\text{мг/м}^3$ ), полученных со спутника NASA (рис. 2). В работе использованы еженедельные, ежемесячные и сезонные карты хлорофилла за 1998 – 2007 гг., размещенные на Интернет-сайте NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/>).

Спутниковая информация о распределении хлорофилла хороша своей одновременностью и высоким разрешением, но имеет и недостатки. Основной из них состоит в том, что концентрации хлорофилла фиксируются только на поверхностном слое, а нижний максимум хлорофилла над термоклинном не виден. Т.е. наиболее точная оценка весеннего пика цветения, когда цветение идет в тонком верхнем распресненном слое, и информация о зимнем распределении хлорофилла-А, когда сезонный пикноклин отсутствует, в силу интенсивного ветрового перемешивания.

Но, несмотря на это, данные о распределении хлорофилла, полученные путем спутниковой съемки, являются вполне приемлемой информацией о продукционных процессах поверхностного слоя океана.

В пределах исследуемой акватории находятся районы зимовки ряда тихоокеанских лососей [Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.; Коновалов С.М. Лососи в северной части Тихого океана// Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука, 1986. С. 118–135]. Температура воды, наряду с обеспеченностью кормовой базой, является одним из главных факторов, определяющих их выживаемость в зимний период года. Распределение лососей весной и летом в море и численность подходов лососей к берегам существенно зависят от условий зимнего обитания [Гриценко О.Ф., Кловач

Н.В., Богданов М.А. Новая эпоха существования тихоокеанских лососей в СЗТО// «Рыбное хозяйство», 2002, № 1. С. 24–26].

Для исследований была выбрана горбуша, поскольку она составляет 70 % от российского вылова тихоокеанских лососей. Продолжительность ее жизни составляет всего год, и более 90 % смертности приходится именно на период зимовки [Карпенко В.И. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: Изд-во ВНИРО, 1998. 165 с.]. Одна из крупнейших промысловых популяций горбуши размножается в реках и озерах Юго-Восточного Сахалина. Колебания ее численности в наибольшей степени зависят от условий зимовки.

Согласно ихтиологическим данным, изотерму  $5^\circ\text{C}$  можно принять за северо-западную границу зимнего ареала горбуши. Горбуша питается зоопланктоном, но данных о его распределении (особенно зимой) крайне мало. Но поскольку зимой в зоне субарктического фронта распределение и фито-, и зоопланктона определяется динамикой вод, в рамках данной работы состояние кормовой базы горбуши оценивалось на основе спутниковой информации о распределении хлорофилла-А. Были использованы данные по вылову горбуши в 1995 – 2006 гг. По спутниковым картам ТПО определены минимальные зимние температуры и их длительность в различные годы в районе зимовки горбуши.

Согласно ихтиологическим исследованиям [Бирман, 1985; Кловач Н.В. Влияние условий зимнего обитания на численность и сроки подходов тихоокеанских лососей// Водные биологические ресурсы, их состояние и использование. Аналитическая и реферативная информация. М.: ВНИЭРХ, 2004. Вып. 4. С. 2–21; Мороз И.Ф. Эколого-океанологические особенности распределения азиатской горбуши в северо-западной части Тихого океана в период зимнего нагула. Владивосток: «Известия ТИНРО», 2003. Т. 135. С. 231–243], горбуша предпочитает для зимовки часть субарктического фронта, расположенную к востоку от  $170^\circ$  в.д. Согласно проведенным нами исследованиям, это обусловлено тем, что фронтальная зона восточнее  $170^\circ$  в.д. гораздо шире, чем к западу от этого меридиана. Зимние концентрации хлорофилла там также несколько выше и обладают меньшей изменчивостью. Таким образом, оптимальные термические условия в данном районе сочетаются с наличием кормовой базы.

В зависимости от «суровости» зимы, меняется ширина зоны субарктического фронта. Так, в более «суровые» зимы (2000, 2002, 2004 гг.) пятиградусная изотерма перемещается к юго-востоку значительно дальше, чем в «мягкие» (2001, 2003, 2007 гг.). Продолжительность периода с минимальными температурами также сильно варьирует год от года. Соответственно с этими изменениями варьируют и размеры зимнего ареала горбуши. Так, согласно нашим исследованиям, в более «мягкие» зимы ареал зимовки расширяется (особенно в северном и западном направлениях), а в «суровые» – сужается.

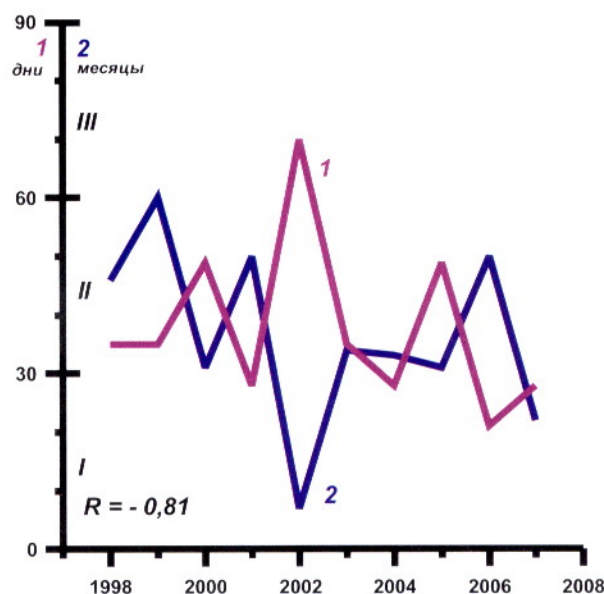


Рис. 3. Период с температурами ниже  $5^\circ\text{C}$  в точке  $45^\circ$  с.ш. и  $180^\circ$  в.д. (район субарктической фронтальной зоны): 1 – дата начала периода; 2 – его продолжительность (количество дней)

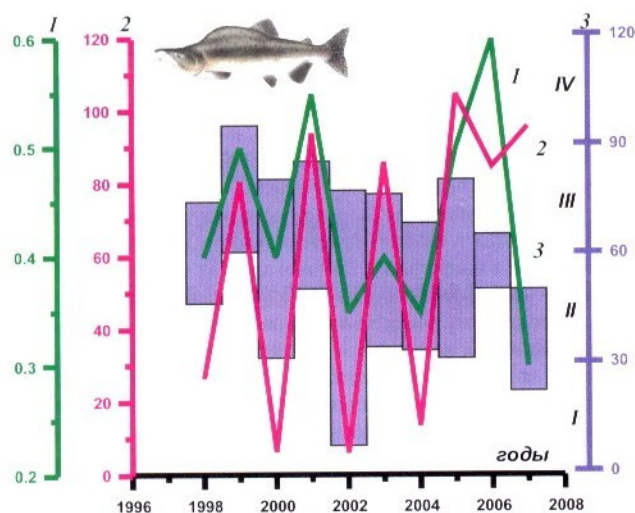


Рис. 4. Взаимосвязь уловов горбуши с термическими условиями и содержанием хлорофилла в поверхностном слое: 1 – хлорофилл-А (мг/м<sup>3</sup>); 2 – горбуша (тыс. т); 3 – даты начала и окончания, продолжительность периода с температурами ниже 5°C в точке 44° с.ш., 180° в.д. (дней)

Изменяется и кормовая база горбуши. В более мягкие зимы, когда субарктическая фронтальная зона достаточно широка, концентрации хлорофилла-А составляют около 0,5 мг/м<sup>3</sup> в пределах практически всей фронтальной зоны (рис. 4). В суровые зимы картина иная, концентрации значительно ниже (около 0,2 мг/м<sup>3</sup>), кое-где встречаются участки с чуть большим содержанием хлорофилла-А (см. рис. 4). Зимнее распределение хлорофилла-А в этом районе можно отождествить с распределением фитопланктона, а он, в свою очередь, в значительной степени отражает распределение зоопланктона. То есть в «мягкие» зимы обеспеченность горбуши кормом, видимо, значительно больше, чем в «суровые». В холодные годы кормовая база горбуши ухудшается, рыбы становятся более уязвимыми для хищников, и выживаемость горбуши резко снижается.

Очевидно, что для зимовки горбуши тем лучше, чем позже начнется выхолаживание вод. Согласно иктиологическим данным, мигрировать молодь начинает в разные годы примерно в одни и те же сроки (ориентируясь на изменение длины светового дня), а при более благоприятных термических условиях молоди легче добраться до района зимовки. Кроме того, в марте фитопланктона во фронтальной зоне больше, чем в январе и феврале (за счет большего притока солнечной радиации и, следовательно, более интенсивного фотосинтеза). Очевидно, что зоопланктона в таком случае тоже будет значительно больше.

То есть наиболее благоприятная зима – поздняя и короткая. А поскольку, зная дату начала охлаждения, можно с большой вероятностью судить о дате его окончания, возможно делать выводы о состоянии зимующих популяций и величине предстоящих уловов со значительной заблаговременностью.

Другой важный промысловый вид – это минтай *Theragra chalcogramma*. Минтай размножается в холодный период года, сроки нереста растянуты с осени до весны. Развитие пелагической икры проходит в поверхностных слоях воды при температуре от 0 до 7° С. В северной части Японского, в Охотском и Беринговом морях нерестающийся минтай концентрируется вблизи кромки льдов и в течение нереста мигрирует на север вслед за отступающими льдами [Фадеев Н.С. Минтай// Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука, 1986. С. 187–201].

Авторами работы был проведен корреляционный и сравнительный анализ различных возрастных групп минтая с некоторыми характеристиками ледового покрова дальневосточных морей. В результате было получено, что коэффициент корреляции между продолжительностью ледового покрова в Охотском море и биомассой производителей очень высок и составляет около 0,74 (рис. 5) [Bogdanov Marat A., Tananaeva Yulia N. SST and ice conditions' variability in different parts of North West Pacific, its influence on phytoplankton production and fishery resources// Book of Abstracts (PICES Sixteenth Annual Meeting

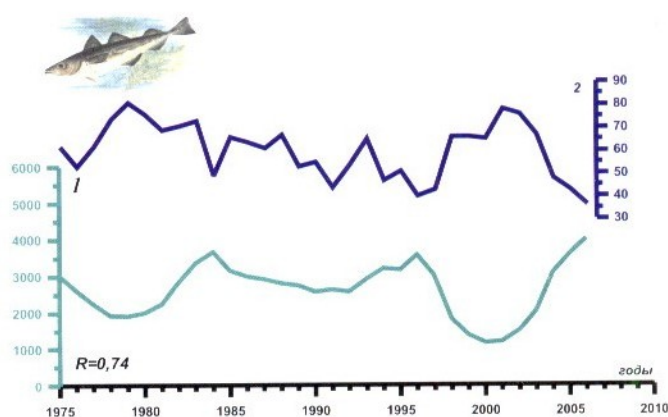


Рис. 5. Взаимосвязь уловов минтая с ледовыми условиями: 1 – биомасса нерестового запаса минтая (тыс. т); 2 – площадь, занимаемая льдом в Охотском море (% от площади моря)

“The changing North Pacific: Previous patterns, future projections, and ecosystem impacts”). 2007 P. 133]. Иными словами, прогноз продолжительности ледового покрова и скорости его отступления в конкретный год позволяет сделать выводы о благоприятных или неблагоприятных условиях нереста и развития икры.

Сайра *Cololabis saira* – один из наиболее характерных и массовых представителей иктиофауны эпипелагиали северной части Тихого океана. Сайра совершает протяженные и продолжительные миграции с юга на север и обратно. Основными факторами, определяющими направление потоков косяков сайры в северо-западной части океана при северных миграциях и границы зоны нагула, являются относительные размеры и время формирования ветвей Куроисио, интенсивность Курильского течения и выраженность Курильского фронта [Саблин В.В., Иванов П.П. Сайра// Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука, 1986. С. 175–181].

Существует четкая связь между развитием ветвей Куроисио и миграционным циклом сайры в конкретные годы или периоды лет, в зависимости от этого меняется и положение районов промысла. В частности, в зависимости от положения основных путей северных миграций косяки выходят либо в районе Южных, либо Средних или Северных Курильских островов. В отдельные годы косяки в процессе миграций включаются в западный субарктический круговорот и мигрируют далеко на север, с выходом в районе Камчатского и Кроноцкого заливов. Обязательным условием распространения сайры к северу является прогрев воды до 8–9° С.

В «благоприятные», теплые, годы крупная сайра достигает восточного побережья Камчатки. Напротив, в холодные годы нагульная часть ареала сокращается, и сайра не поднимается севернее 45–46° с.ш.

Благодаря спутниковым альтиметрическим данным и информации о ТПО, оказалось возможным определять ширину струи течения, меандры, сопровождающие течение вихри (ринги), грибовидные течения. То есть, используя спутниковую информацию, мы можем прогнозировать и наличие или отсутствие промысловых скоплений сайры в этой акватории.

Таким образом, спутниковая информация дает возможность получить детальную картину динамики вод, температуры, распределения фитопланктона поверхностного слоя океана в любом из его районов и имеет огромное значение для промысловой океанологии.

**Tananaeva Yu.N.**

**Usage of satellite images for fisheries forecasts in the North Western Pacific and Far Eastern seas**

The satellite information is very important for fisheries oceanography. The subarctic Pacific is one of the most productive regions of the World Ocean. Like most high-latitude ocean basins, the subarctic Pacific exhibits strong seasonal and interannual variations in ocean biology that appear to be tightly connected with changes in its physical environment. Using satellite maps of sea surface temperature, chlorophyll concentration, surface currents and sea ice condition for fisheries regions, we can make some fisheries forecasts.