

А. А. Строева, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров

Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОД ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ САХАЛИНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Аннотация. Важнейшими показателями среды, которыми определяется экологическое состояние сообществ гидробионтов в шельфовой зоне Сахалина, являются температура, соленость, газовый и световой режимы.

В Охотском море обитает более 80 % всех живых организмов Дальневосточных морей, что объясняется наличием хорошей пищевой базы. Его соленость на порядок ниже, чем у океана, из-за чего образуется подповерхностный слой с нулевыми и отрицательными температурами.

Мониторинг температуры поверхности океана осуществляется инфракрасными радиометрами и позволяет оценить основные характеристики состояния вод.

Комплексное изучение шельфа началось в семидесятые года прошлого века благодаря появлению стандартных гидрологических разрезов, а своего пика достигло в восьмидесятые с открытием месторождений нефти и газа. В тоже время начали применять дистанционные методы изучения.

Для изучения Мирового океана с орбиты используют множество различных спутников, основным являются Тетра для суши и Aqua для водной поверхности. Основным сканером, исследующим акваторию Сахалина, является MODIS, созданный NASA для изучения биопродуктивности океана. Снимки, которые он делает, имеются в свободном доступе на специализированных сайтах.

Для выявления температурных закономерностей были изучены снимки за период с 01.01.2018 г. по 17.02.2019 г, та часть, которая была выполнена в зимний период времени, была упразднена как неинформативная, потому что в этот период акватории Сахалина находятся под ледовым покровом. Температурный пик приходится на конец августа – начало сентября, это связано с приходящими в регион циклонами. Низкая соленость вод Охотского и Японского моря способствует большому разнообразию живых организмов. Шельф Сахалина богат фитопланктоном, которому комфортно в местных водах богатых важными органическими компонентами (C, N, Si, O).

Ключевые слова: дистанционное зондирование, шельф Сахалина, Охотское море, Японское море, температура, соленость, фитопланктон, хлорофилл, космический снимок.

A. A. Stroeve, V. A. Melky, A. A. Verkhuturov

Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

A study of shelf waters of Sakhalin based on remote sensing data

Abstract. The most important indicators of the environment, determining the ecological state of the hydrobiont communities in the Sakhalin shelf zone, are temperature, salinity, gas, and light patterns.

More than 80 % of all organisms of the Far East seas live in the Sea of Okhotsk, which is explained by the presence of good food base. Its salinity is an order of magnitude lower than that of the ocean, which forms a subsurface layer with zero and negative temperatures.

СТРОЕВА Арина Андреевна – магистрант, Сахалинский государственный университет.

E-mail: arina.stroevea@inbox.ru

STROEVA Arina Andreevna – Master's student, Sakhalin State University.

E-mail: arina.stroevea@inbox.ru

МЕЛКИЙ Вячеслав Анатольевич – д.т.н., профессор, Сахалинский государственный университет.

E-mail: vamelkiy@mail.ru

MELKIY Vyacheslav Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Sakhalin State University.

E-mail: vamelkiy@mail.ru

ВЕРХОТУРОВ Алексей Александрович – к.т.н., доцент, Сахалинский государственный университет.

E-mail: ussr-91@mail.ru

VERKHOTUROV Alexei Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sakhalin State University.

E-mail: ussr-91@mail.ru

Monitoring of the ocean surface temperature is carried out by infrared radiometers and allows estimate the main characteristics of the state of water.

Comprehensive study of the shelf began in the 1970s due to execution of standard hydrological profiling, and reached its peak in the 1980s with the discovery of oil and gas fields. At the same time, they began to apply remote sensing methods.

Research of the world ocean made from orbit using many different satellites, the main are Terra for land and Aqua for the water surface. The main scanner, exploring the waters of Sakhalin, MODIS is created by NASA to study the biological productivity of the ocean. The images that it takes are freely available on specialized websites.

To identify the temperature patterns, we studied images for the period from Jan 01, 2018 to Feb 17, 2019. Some of them were performed in the winter, and were abolished as uninformative, because during this period, the waters of Sakhalin are under the ice cover. The temperature peak falls to late August-early September, this is due to cyclones coming to the region. Low salinity of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan contributes to a wide variety of living organisms. The Sakhalin shelf is rich in phytoplankton, because local waters are convenient for it and rich in important organic components (C, N, Si, O).

Keywords: remote sensing, Sakhalin shelf, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, temperature, salinity, phytoplankton, chlorophyll, space images.

Введение

Изучение океана началось параллельно с освоением новых территорий, но до сих пор остаются нерешенными многие научные задачи. Особого внимания требует решение вопросов безопасности мореплавания, мониторинга окружающей среды и выявление акваторий с повышенной продуктивностью вод. Ведутся широкомасштабные исследования Мирового океана и отдельных его частей. Космические снимки успешно применяются в различных сферах человеческой деятельности в современных условиях и вносят весомый вклад в научную картину современного мира.

Важнейшими показателями среды, которыми определяется экологическое состояние сообществ гидробионтов в шельфовой зоне Сахалина, являются температура, соленость, газовый и световой режимы.

В Охотском море обитает более 80 % всех живых организмов Дальневосточных морей. Богатство видов, обитающих в Охотском море, объясняется наличием хорошей пищевой базы – фитопланктона, распространенность которого напрямую зависит от перечисленных ранее лимитирующих факторов. К особенностям этого моря так же относится состояние подповерхностного слоя, температура которого даже в летние месяцы не поднимется выше 0 °C. Он находится на глубине около 100 м. Если верить программе «Atlas-2018», мощность около 100-120 м [1]. Это связано с тем, что соленость моря ниже, чем у океана (30-32 % на поверхности, 34 % у дна, против 35 % Тихого океана).

Мониторинг температуры поверхности океана, который осуществляется с помощью инфракрасных радиометров, установленных на различных спутниках, позволяет оценить основные характеристики состояния вод на шельфе Сахалина. Наиболее доступны инфракрасные снимки, поступающие со спутников Terra (NOAA, США).

Приборы и методы исследования

Под сахалинским шельфом понимаются прилегающая к острову акваторию на востоке и Татарский пролив в его географических границах в Японском море [2]. История изучения дальневосточных морей тесно связана с их освоением. На начальном этапе изучались географические особенности морей и их фауна (первая половина XVII века – середина XIX).

К началу пятидесятых годов прошлого века изученность шельфа Сахалина составляла всего 3 % от всего объема информации о морях его омывающих.

Изучение шельфа, как такового, началось в семидесятые годы прошлого века, это связано с появлением схем стандартных гидрологических разрезов, они полностью охватывают шельфовую зону. Пик исследования прибрежной зоны относят к восьмидесятым годам, когда на северо-восточном шельфе открыли месторождение углеводородов. Тогда же традиционные методы обследования океана начали тесно сотрудничать с аэросъемкой его поверхности. В 1983 году была выполнена полная гидрологическая съемка всего Охотского моря. Девяностые внесли свои коррективы в изучение шельфовой зоны: работы общего характера отошли на второй

план. На первое место выдвинулись тематические исследования: экологические наблюдения за объектами нефтегазового комплекса, мониторинг миграции рыб и морских млекопитающих.

Поверхность Земли исследует множество спутников. В таблице 1 приведены спутники, которые исследуют основные характеристики вод. Один из первых и наиболее известных является Тетта. Aqua – родственник ему спутник, тоже имеющий солнечно-синхронную полярную орбиту, однако движутся они в противоположные стороны.

На Тетта установлено пять сканеров: ASTER, MODIS, MISR, CERES, MOPITT, каждый из которых имеет свое предназначение.

Основным сканером, исследующим акваторию Сахалина, является MODIS, его приемная антенна установлена в Южно-Сахалинске, она принимает два спутниковых снимка в день с интервалом в 1,5 часа.

Таблица 1

Основные характеристики вод шельфовой зоны и приборы дистанционного зондирования для их исследования [3]

Объект исследования	Параметр	Сканер
Температура поверхности океана	Температура поверхности океана	ИК-радиометры, спектрорадиометры AVHRR/NOAA, ATSR/ERS-1,2, AATSR/Envisat, MODIS/Terra, Aqua TMI/TRMM и др.
Солёность на поверхности океана	Солёность	СВЧ-радиометры SMOS, Aquarius (не функционирует)
Цвет воды, биопродуктивность	Цвет воды, концентрация хлорофилла фитопланктона, концентрация взвеси	Многозональные сканеры и камеры CZCS/Nimbus, SeaWiFS/SeaStar, MERIS/Envisat, MODIS/Terra, Aqua, ADEOS и др.
Морские течения, динамика водных масс	Скорость и направление течения, морфологическая структура	Тепловые ИК-радиометры AVHRR/NOAA, TMI/TRMM радиолокаторы PCA и радиовысотометры в разработке

MODIS – спектрорадиометр для получения изображения с умеренным разрешением – основной прибор на спутниках Aqua, просматривает всю поверхности Земли за 2 дня, собирая данные в 36 спектральных полос. Пространственное разрешение у полос разное: 250 м (1, 2 полосы), 500 м (3-7), 1000 (8 – 36). Каждая полоса отвечает за свой параметр. Размер одной полосы 2330 км на 10 км [4]. Название спутников олицетворяет их назначение (область исследования). Снимки сканера MODIS можно просматривать как с помощью специальных программ, так и по средствам сети Internet, они есть в свободном доступе на сайте oceancolor.gsfc.nasa.gov (рис. 1). Он создан для изучения биопродуктивности океана в рамках международного проекта NASA [4].

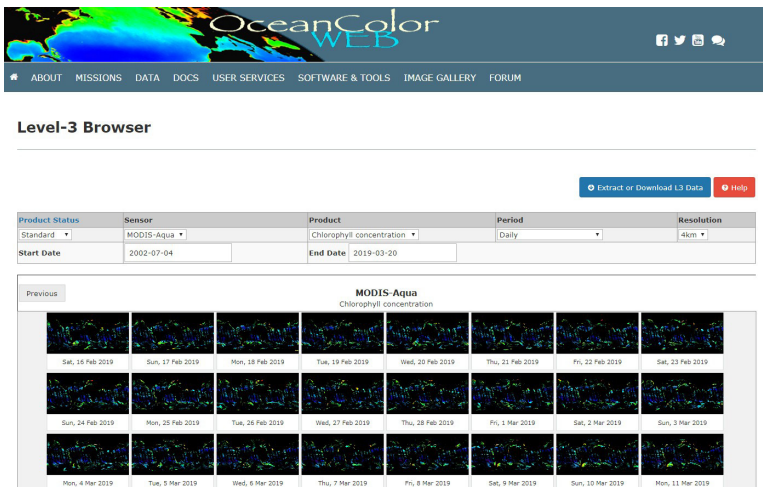


Рис. 1. Общий вид интерфейса сайта OceanColor.web

Для дистанционного изучения состояния акватории необходимо определить основные ее параметры, относительно объекта изучения. Морскую среду характеризуют: температура, соленость и наличие биогенных веществ, количество которых можно отследить по показаниям концентрации хлорофилла, который является продуктом жизнедеятельности фитопланктона и водорослей.

Рассмотрим основные параметры, характеризующие биопродуктивность Мирового океана: температуру, соленость и концентрацию хлорофилла.

Температура

Для анализа температуры поверхности океана были взяты снимки сканера MODIS-Aqua, интервал 8 дней, период: с 01.01.2018 г. по 17.02.2019 г. Сразу были исключены снимки с 01.01.2018 по 15.04.2018 и с 19.12.2018 по 17.02.2018 года, как не информативные. В это время Охотское море, проливы Невельского и Татарский, Амурский лиман и Сахалинский залив покрыты льдом, поэтому температуру и концентрацию хлорофилла по снимкам определить не представляется возможным, это видно на рисунке 2, где представлены снимки распределения температуры поверхности океана в начале января 2018 и 2019 годов. В этом регионе только отображаются теплые течения, омывающие о. Хонсю и Корейский полуостров.

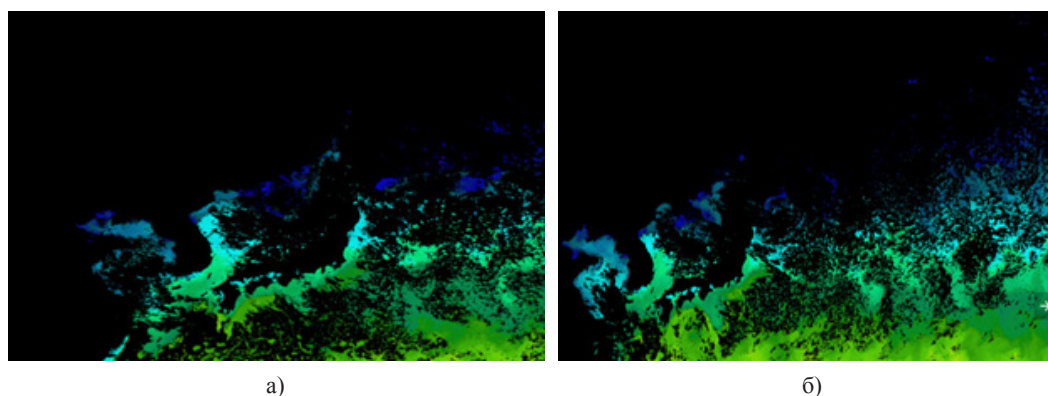


Рис. 2. Отображение на спутниковом снимке распределения температуры поверхности океана в зимний период: а) 01.01.2018 – 08.01.2018 г.; б) 01.01.2019 – 08.01.2019 г.

Показания температуры, измеряемой сканером, зависят от показателя преломления света морской воды, полученной спутником (табл. 2).

Температурный пик в Сахалинском регионе наступает в конце августа. Это связано с циклонами, приходящими в область, они происходят при смене положения господствующих воздушных масс. Начинается волнение морской поверхности, с последующим перемешиванием.

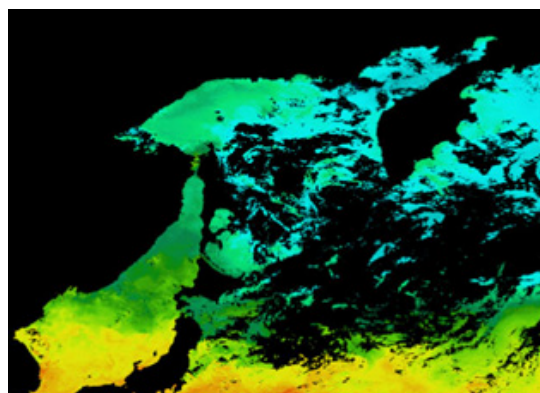
Таблица 2

Значения показателя преломления света морской воды при атмосферном давлении [3]

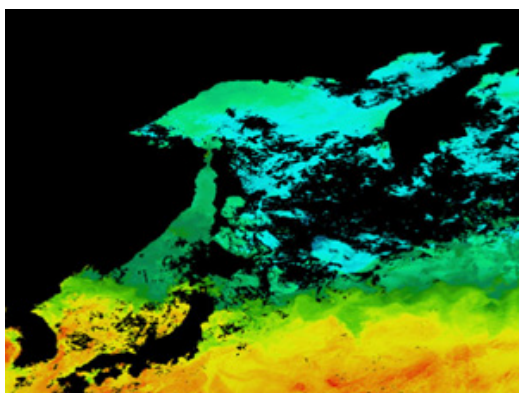
t°C	λ , мкм						
	0,4047	0,4358	0,4579	0,4678	0,4800	0,5017	0,6328
0	1.35099	1.34840	1.34684	1.34621	1.34549	1.34433	1,33961
1	1.35094	1.34835	1,34679	1.34616	1.34544	1.34428	1.33956
2	1.35089	1,34830	1.34674	1.34611	1,34539	1.34423	1,33951
3	1,35084	1,34825	1,34669	1,34606	1.34534	1.34418	1,33946

4	1.35078	1.34819	1.34664	1.34601	1.34528	1.34412	1.33941
5	1,35072	1.34814	1.34658	1.34595	1,34522	1,34407	1.33935
6	1.35066	1.34807	1.34652	1.34589	1.34516	1.34400	1.33929
7	1.35060	1.34801	1,34645	1.34582	1.34510	1.34394	1,33922
8	1.35053	1.34794	1.34639	1.34576	1.34503	1.34387	1.33916
9	1.35046	1.34787	1.34632	1.34569	1.34496	1.34380	1.33909
10	1.35039	1.34780	1.34624	1.34561	1.34489	1.34373	1.33901
11	1,35031	1.34773	1.34617	1.34554	1.34481	1,34366	1.33894
12	1,35023	1.34765	1.34609	1.34546	1.34473	1.34358	1,33854
13	1,35015	1.34757	1.34601	1.34538	1.34465	1.34350	1.33846
14	1.35007	1.34748	1.34592	1.34529	1.34457	1.34341	1.33837
15	1.34998	1.34740	1.34584	1.34521	1.34448	1,34333	1,33829
16	1.34989	1.34751	1.34575	1.34512	1.34439	1.34324	1.33820
17	1.34980	1.34721	1,34566	1,34503	1,34430	1.34314	1,33811
18	1,34971	1.34712	1,34556	1,34493	1,34421	1,34305	1.33801
19	1.34961	1.34702	1,34546	1,34483	1.34411	1.34295	1.33791
20	1.34951	1.34692	1.34536	1,34473	1,34509	1,34285	1.33781
21	1.34940	1.34682	1.34526	1.34463	1.34390	1.34275	1.33771
22	1.34930	1.34671	1.34515	1.34452	1.34380	1,34264	1,33760
23	1.34919	1.34660	1.34504	1.34441	1.34369	1.34253	1.33749
24	1.34908	1.34649	1.34493	1.34430	1,34358	1.34242	1,33738
25	1.34896	1.34637	1.34482	1.34419	1.34346	1.34230	1,33727
26	1.34884	1.34626	1.34470	1.34407	1,34334	1.34419	1,33715
27	1.34872	1.34614	1.34458	1.34395	1.34322	1.34407	1,33703
28	1.34860	1.34601	1.34445	1.34382	1,34310	1.34194	1,33690
29	1.34847	1.34589	1.34433	1.34370	1.33297	1.34182	1.33678
30	1.34834	1.34576	1.34420	1,34357	1.34284	1.34169	1.33665

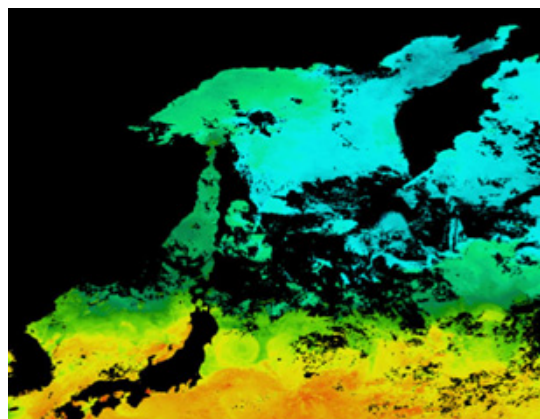
На снимках, которые были сделаны в начале августа, хорошо видны изменения в интенсивности окрашивания (рис. 3), которые происходят в течение месяца, к концу сентября – началу октября происходит понижение температуры (рис. 4), в первую неделю декабря поверхность Охотского моря почти не видна на снимках.



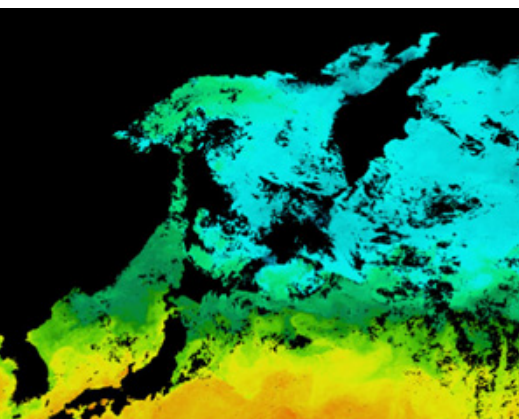
а)



б)



в)

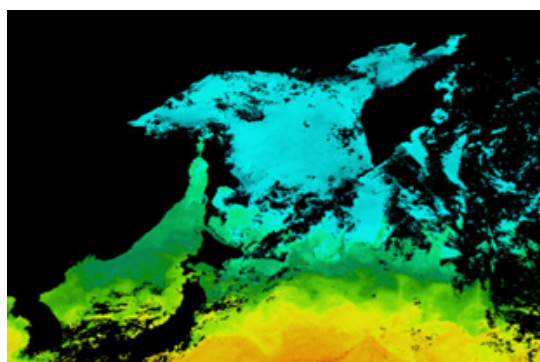


г)

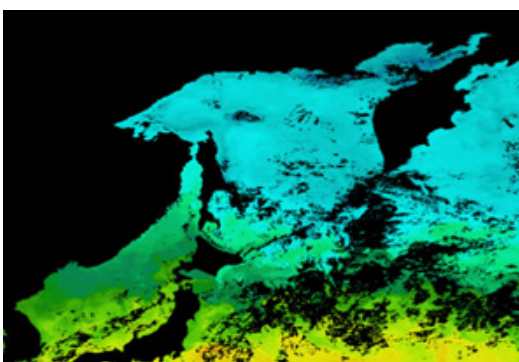
Рис. 3. Изменение температуры Охотского и Японского морей в течение августа 2018 года:

а) 05.08.2018 – 12.08.2018 г.; б) 13.08.2018 – 20.08.2018 г.; в) 21.08.2018 – 28.08.2018 г.;

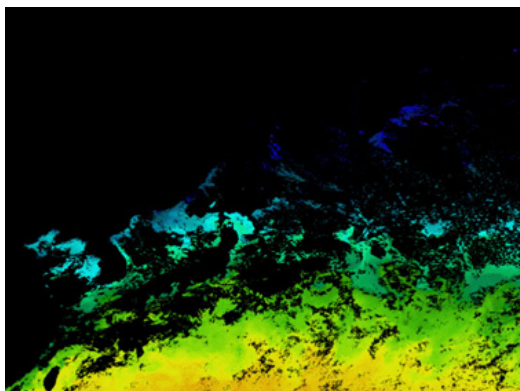
г) 29.08.2018 – 05.09.2018 г.



а)



б)



в)

Рис. 4. Изменение температуры поверхности Охотского и Японского морей:
а) 06.09.2018 – 13.09.2018 г.; б) 22.09.2018 – 29.09.2018 г.; в) 03.12.2018 – 10.12.2018 г.

Четкий контур о. Сахалин выделяется на фоне вод шельфовой зоны, что прослеживается с конца мая до начала декабря. По снимкам этого периода можно судить о состоянии шельфа острова.

В конце августа, в период максимальной температуры вод шельфовой зоны, наиболее теплыми являются воды у западного побережья Сахалина (рис. 5). Это связано с более мелкими глубинами акватории и наличием теплых течений Японского моря. Наиболее насыщенный цвет имеет Сахалинский залив, в который спадает Амур.

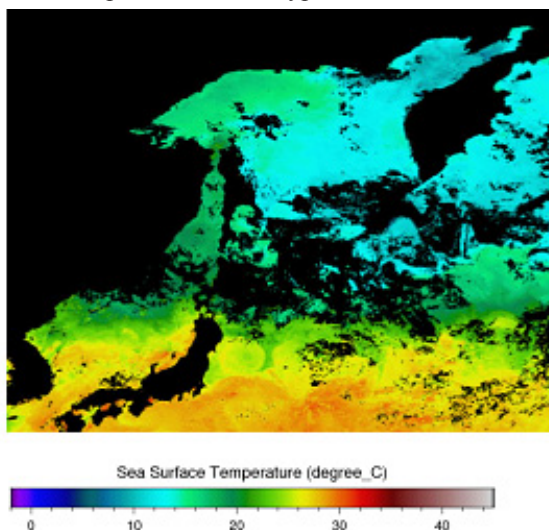


Рис. 5. Температура поверхности Охотского и Японского морей в период с 20.08.18 по 27.08.18 года с температурной шкалой.

Соленость

Соленость в купе с температурой определяют плотность морской воды, тем самым определяя движение водных масс в океанах [5]. Аэро- и космосъемка позволяют определить, что соленость поверхностных вод дальневосточных морей низкая (рис. 6), следовательно, плотность воды в них тоже не высокая, поэтому рыбам, которые нерестятся в пресноводных водоемах в акватории шельфа Сахалина комфортно.

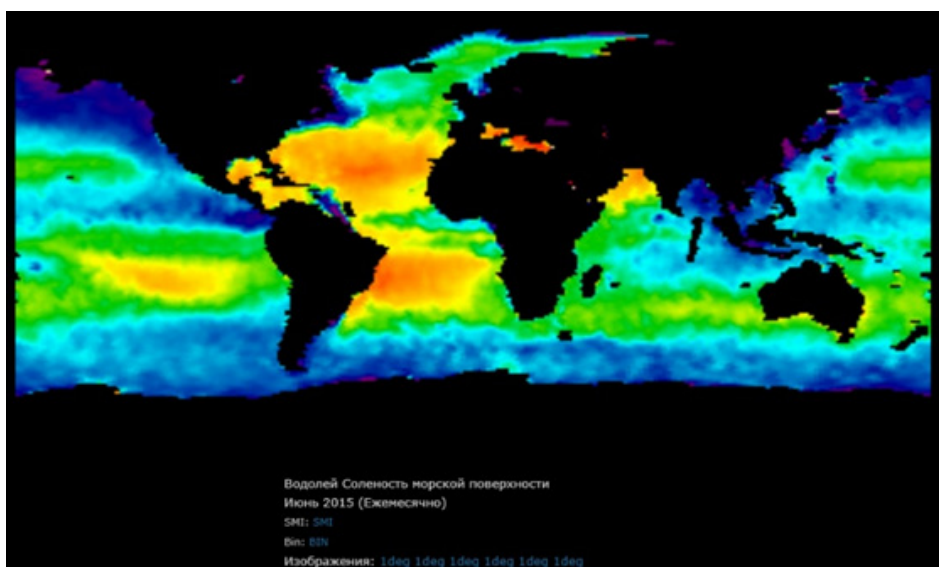


Рис. 6. Солёность морской поверхности по данным сканера Aquarius в июне 2015 г.

Содержание хлорофилла

Для исследования концентрации хлорофилла так же, как и для изучения температуры поверхности океана используется сканер MODIS спутника Aqua. Этот показатель получается путем комплексного расчета, который имеют ряд погрешностей, однако это не сильно влияет на информативность снимков.

Наличие фитопланктона важно: он сильно влияет на жизнь планеты, является основным поставщиком кислорода в атмосферу и играет главную роль в пищевых цепях в Мировом океане.

Вода, в которой обитает фитопланктон, довольно сложная среда для спектрального изучения, потому что мельчайшие растительные организмы содержат в себе хлорофилл. Им поглощается большое количество солнечного света, но только в определенной части спектра. Несмотря на то, что планктон – микроорганизм, его количество в морях изменяет их цвет до такой степени, что это видно из космоса. Наибольшее количество фитопланктона располагается в северных широтах – это происходит из-за наличия в достаточном объеме необходимых микроэлементов (рис. 7). У каждого вида фитопланктона, как и у наземных растений, существуют температурный интервал, на который приходится интенсивность размножения [6].

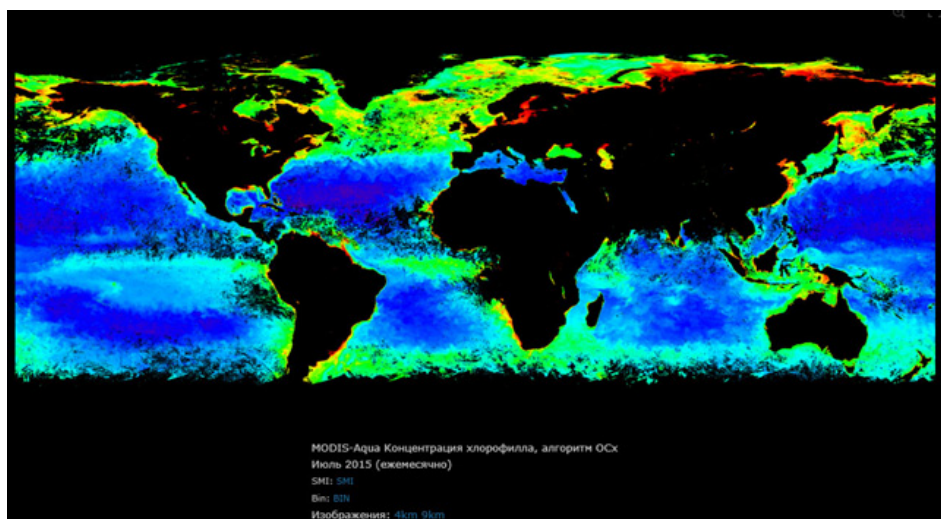


Рис. 7. Концентрация хлорофилла в Мировом океане.

Так же существует ряд региональных аномалий, который приводит к увеличению количества планктона в морях:

- таяние льда, которое приводит к увеличению питательных веществ и солнечной радиации в воде;
- вертикальное перемешивание теплых и холодных вод из-за апвеллинга; уравнивающие температурные условия;
- горизонтальное перемешивание водной массы вихрями течений;
- сезонные изменения температуры воды, которые способствуют цикличности жизни фитопланктона.

Из-за многокомпонентности природы Охотского моря возникают сложности в точном измерении концентрации планктона. Однако, это не мешает анализировать его скопления.

Как и температурный пик, наибольшая активность фитопланктона приходится на август – ноябрь в Охотском море, западное побережье о. Сахалина начинает «цвести» в мае (рис. 8). В июне цветность вод подчеркивает контур острова. Максимальное его количество фиксируется в Сахалинском заливе, самом богатом минеральными веществами в это время районе шельфа.

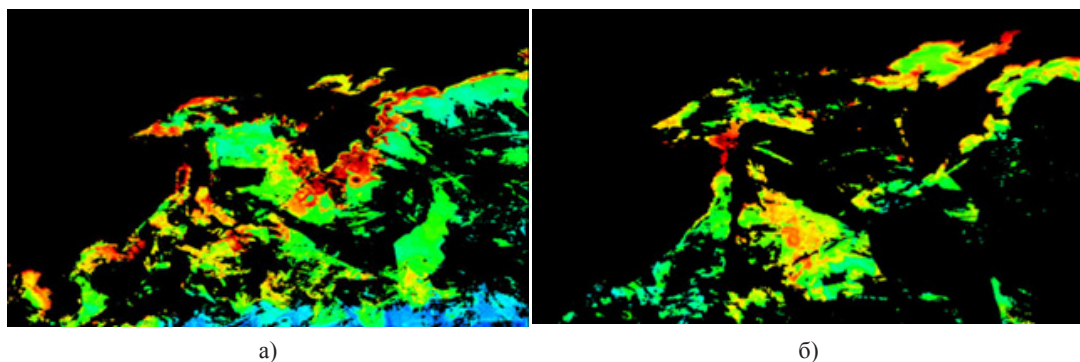


Рис. 8. Концентрация хлорофилла в Охотском и Японском морях в мае и июне:
а) 09.05.18 – 16.05.18 г.; б) 10.06.18 -17.06.18 г.

Несмотря на снижение концентрации в августе – сентябре фитопланктон (это видно по количеству хлорофилла) занимает все Охотское и Японское моря, преобладая на восточном побережье и все так же в Сахалинском заливе (рис. 9) – основных местах обитания нерестовых рыб и морских млекопитающих [7].

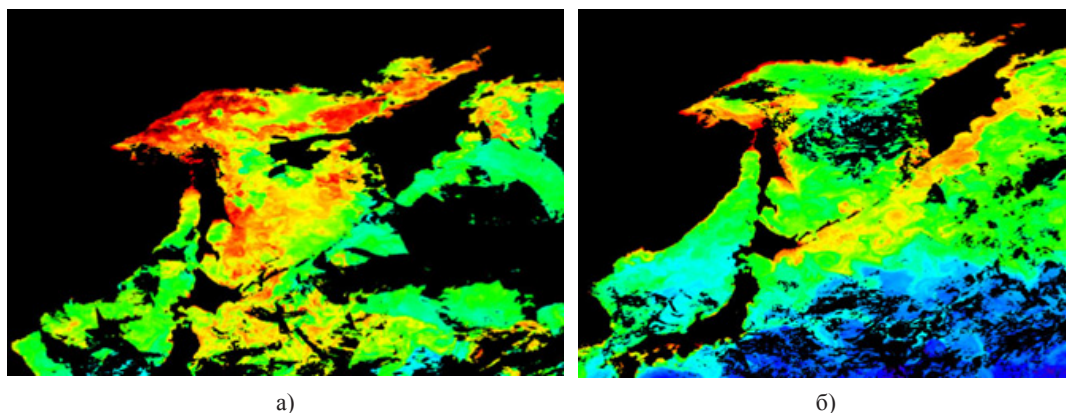


Рис. 9. Концентрация хлорофилла в Охотском и Японском морях в августе и сентябре:
а) 09.05.18 – 16.05.18 г.; б) 14.09.18 -21.09.18 г.

Заключение

Характеристические особенности северной части Охотского моря близки к особенностям арктических морей, что связано с близостью Сибирского полюса холода [8]. В центральных и южных районах, куда входят шельфовые полки Сахалина, напротив, смена времен года иная.

Японское море является своеобразной «кастрюлей», при довольно большой глубине имеет однообразный рельеф дна. Проливы, посредством которых оно сообщается с океаном, мелко-водны, поэтому холодные глубинные водные массы в Японское море не попадают. С другой стороны, несмотря на меньшее, по сравнению с Охотским морем, содержанием органических веществ, условия обитания для живых организмов во многом более благоприятные. Это связано с температурой течений.

Для изучения температуры и концентрации хлорофилла используются снимки спутников Terra /Aqua, на которых устанавливаются сканеры MODIS. Они находятся в свободном доступе, что дает возможность беспрепятственно изучать акваторию шельфа Сахалина в условиях близких к реальному времени. Основные периоды активности гидробионтов доступные для изучения приходятся на середину мая – начало ноября. В другое время дистанционные методы могут дать, крайне мало информации по Сахалинскому региону. Изучение солености по данным мелкомасштабных снимков малоинформативно.

Литература

1. Бобков А.О. Атлас-2018 / Гидролого-гидрохимический атлас сахалинского шельфа. Выпуск 2018 г. / Программное обеспечение / А.О. Бобков, В.М. Пищальник.
2. Пищальник В.М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин: Науч. из. [В 2-х ч.] / Гос. ком. РФ по рыболовству; Сахалин. НИИ рыбн. хоз-ва и океанографии; В.М. Пищальник, А.О. Бобков – Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2000. – Ч. 1 – 173 с.; Ч. 2. – 107 с.
3. Показеев К.В. Оптика океана. – М.: МАКС Пресс, 2010-216 с.
4. Сайт National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) // (режим доступа: <https://www.noaa.gov>) дата обращения 22.03.2019.
5. Сайт Межуниверситетский аэрокосмический центр при Географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова // (режим доступа: <http://www.geogr.msu.ru>) дата обращения 24.03.2019.
6. Зенкин О.В. Выявление геоэкологической обстановки по модифицированным спутниковым данным / О.В. Зенкин, В.А. Мелкий, И.Г. Минервин // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – 2009. – № 1(8). – С. 17-23.
7. Царев В.А. Температурные условия в прибрежных акваториях восточного Сахалина и острова Итуруп в период подхода горбуши и кеты на нерест в 2001-2017 гг. (нечетные годы) / В.А. Царев, Г.П. Ванюшин, М.Ю. Крузалов, Е.В. Сапунова // Вестник КамчатГТУ. – 2018. – № 44. – С. 114-119.
8. Хен Г.В., Особенности гидрологических условий в северной части Охотского моря во второй половине 90-х гг. / Г.В. Хен, Н.С. Ванин, А.Л. Фигуркин // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2002. – Т. 130. – С. 24-43.

References

1. Bobkov A.O. Atlas-2018 / Hidrologo gidrohimicheskij atlas sahalinskogo shelfa. Vypusk 2018 g. / Programmnoe obespechenie / A.O. Bobkov, V.M. Pishhalnik.
2. Pishhalnik V.M. Okeanograficheskij atlas shelfovoj zony ostrova Sahalin: Nauch. iz. [V 2-h ch.] / Gos. kom. RF po rybolovstvu; Sahalin. NII rybn. Hoz va i okeanografii; V.M. Pishhalnik, A.O. Bobkov – Juzhno-Sahalinsk: Izd-vo SahGU, 2000. – Ch. 1 – 173 s.; Ch. 2. – 107 s.
3. Pokazeev K.V. Optika okeana. – M.: MAKSS Press, 2010. – 216 s.
4. Sayt National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) // (rezhim dostupa: <https://www.noaa.gov>) data obrashheniya: 22.03.2019.
5. Sayt Mezuniversitetskij ajerokosmicheskij centr pri Geograficheskom fakultete MGU im. M.V. Lomonosova // (rezhim dostupa: <http://www.geogr.msu.ru>) data obrashheniya: 24.03.2019.
6. Zenkin O.V. Vyyavlenie geojekologicheskoy obstanovki po modifitsirovannym sputnikovym dannym / O.V. Zenkin, V.A. Melkiy, I.G. Minervin // Uchenye zapiski Sahalinskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2009. – № 1(8). – S. 17-23.
7. Carev V.A. Temperaturnye usloviya v pribrezhnyh akvatoriyah vostochnogo sahalina i ostrova iturup v period podhoda gorbushi i kety na nerest v 2001-2017 gg. (nечetnye gody) / V.A. Carev, G.P. Vanjushin, M.Ju. Kruzhalov, E.V. Sapunova // VESTNIK KamchatGTU. – 2018. – № 44. – S. 114-119.
8. Hen G.V. Osobennosti gidrologicheskikh uslovij v severnoj chasti Ohotskogo morja vo vtoroj polovine 90-h gg. / G.V. Hen, N.S. Vanin, A.L. Figurkin // Izvestija Tihookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybohozhajstvennogo centra. – 2002. – T. 130. – S. 24-43.