

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПУТНИКОВ



**Ольга Государева**

СПЕЦИАЛИСТ ДЕПАРТАМЕНТА  
ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ  
ГК «СКАНЭКС»

В целях мониторинга состояния и динамики поверхностных вод целесообразно применение данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). Мониторинг вод по данным космической съемки, основанный на оптических свойствах воды, проявляющихся в коротковолновом, инфракрасном и микроволновом спектральных диапазонах, обладает рядом преимуществ:

1. пространственный охват;
2. большое число спектральных каналов;
3. регулярность получения данных.

Методы ДЗЗ позволяют оценить и произвести анализ биологического состояния вод, их экологического состояния, получить сведения о ледовой обстановке, состоянии береговой линии и др. Ниже приведен краткий список объектов, за которыми возможно наблюдение при помощи космических данных:

- степень прозрачности воды;
- строение дна на мелкой воде;

- наличие и концентрация в поверхностных водах органических веществ, фитопланктона, взвесей;
- обнаружение пленок на поверхности воды;
- распространение ледовых полей;
- конфигурация береговой линии;
- температура поверхностных вод.

Определение (дешифрирование) объектов по космическим изображениям, их пространственного распределения и качественных свойств — результат кропотливой и искусной работы специалиста. Расчет количественных и некоторых качественных характеристик осуществляется специальными методами, точность и уровень достоверности которых зависит от исследуемых объектов, их оптических свойств, влияния атмосферы, наземных измерений, математического аппарата, от состояния сенсоров и т. п. Так, при малых концентрациях хлорофилла А расчет выполняется одним алгоритмом, при более высоких концентра-

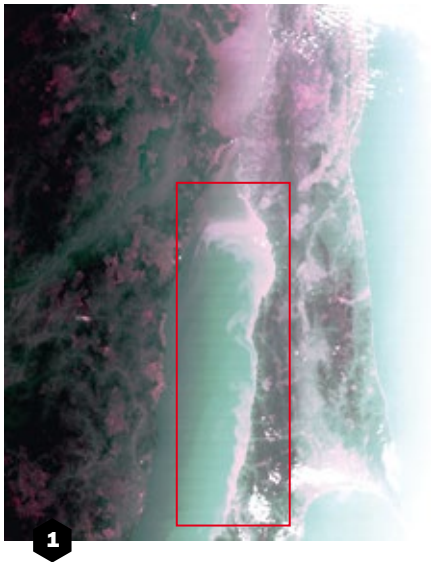


Рис. 1. Повышенная мутность вод южной части Татарского пролива в синей зоне спектра. RGB синтез SVM1-2-3. Фрагмент космического снимка Suomi NPP от 30 сентября 2013 г.

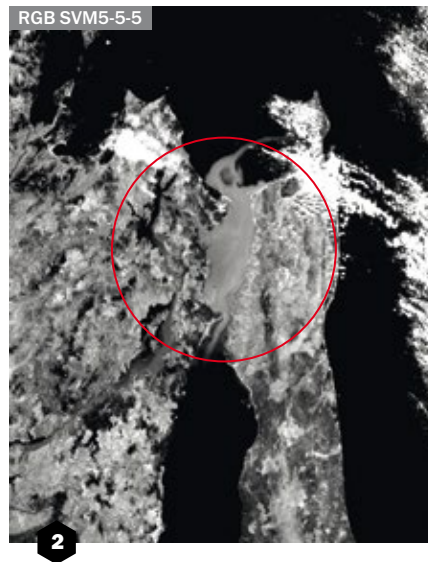
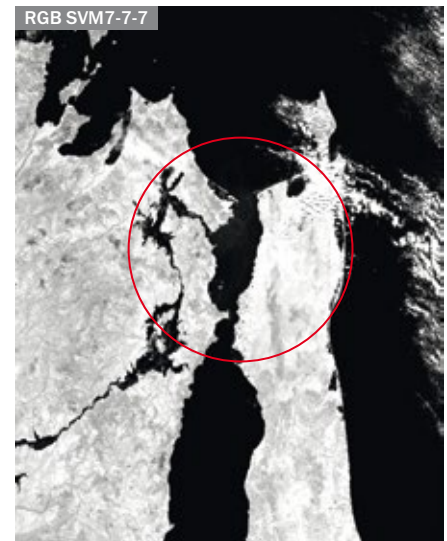


Рис. 2. Многократное увеличение мутности вод реки Амур и Амурского лимана. Фрагмент космического снимка с КА Suomi NPP от 30 сентября 2013 г.



циях (выше  $0,2 \text{ мг/м}^3$ ) целесообразно применение другого алгоритма. Еще одним примером зависимости рассчитанной характеристики от входящих параметров является достоверность получения значений температуры поверхностных вод. Стандартный алгоритм предусматривает использование в математическом аппарате данных наземных измерений, значений зарегистрированного излучения в каналах ИК-диапазона, коэффициентов пересчета, высоты Солнца и проч.

Рассмотрим более подробно объекты, информацию о которых можно получить с помощью данных космической съемки.

Оптические свойства чистой воды проявляются в синей спектральной зоне коротковолнового излучения. Рассчитанные при определенных условиях, эти значения могут быть использованы как базовые или фоновые. Так, в продукте Kd 490, называемом коэффициентом диффузного затухания,

значение для прозрачной воды составляет  $0,016 \text{ м}^{-1}$  [Сервис HAB-NOAA | <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/hab/>]. Продукт Kd 490 формируется модулем SeaDAS ПО СКАНЭКС Терминал® по данным с сенсоров MODIS, VIIRS.

Капли нерастворимой в воде жидкости, так называемые эмульсии, оказывают влияние на свойства воды, понижая ее качество путем ухудшения степени прозрачности. Так, масла и нефтепродукты в процессе перемешивания изменяют цвет воды в сторону желтых и коричневых тонов и увеличивают коэффициент поглощения и рассеяния в видимой части спектра. Отделить этот тип загрязнения от загрязнения растворенными органическими веществами (POB/Colored Dissolved Organic Matter (CDOM Index) можно при помощи флюоресценции в УФ-спектре [Горшкова О.М., 2009].

Прозрачность воды зависит от присутствия в воде взвешенных частиц, взвесей (Suspended Matter),

которые хорошо определяются в красной зоне спектра. В спектре БИК-области, где цвет воды очень темный за счет высокого поглощения, наличие взвешенных частиц не отображается. Высокая замутненность речных вод, в свою очередь, облегчает дешифрирование «плюмов» — объемов воды на поверхности принимающего бассейна (рис. 2).

Повышенная мутность наблюдается в результате «эвтрофикации» — насыщения водоемов биогенными элементами, такими как водоросли, рост которых стимулируется стоками с высоким содержанием «удобрений» — воды с высоким содержанием азото-фосфорных фракций (рис. 3).

Водоросли (например, сине-зеленые), являясь по своей природе частью фитопланктона, содержат хлорофилл, который поглощает излучение в синей и красной зоне спектра и отражает в зеленой. При визуализации космических снимков в синтезе каналов «нату-

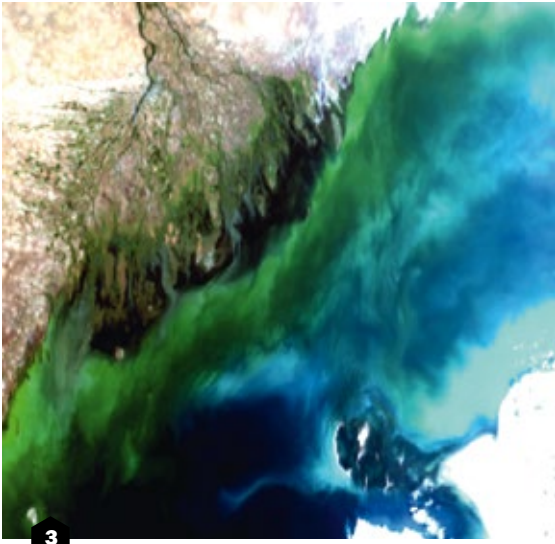


Рис. 3. Повышенное содержание водорослей в дельте р. Волга. RGB синтез SVM5-4-3. Фрагмент космического снимка с КА Suomi NPP от 6 сентября 2015 г.



Рис. 4. Повышенное содержание хлорофилла А в водах Цимлянского водохранилища. RGB синтез SVM5-4-3. Фрагмент космического снимка с КА Suomi NPP/VIIRS от 6 сентября 2015 г.

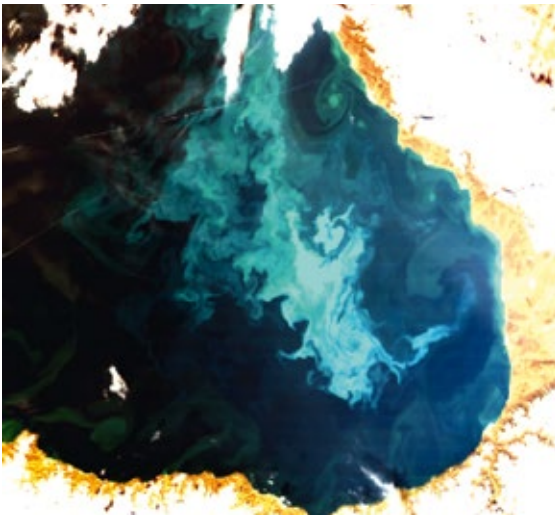


Рис. 5. Цветение кокколитофорид в восточной части Черного моря. RGB синтез 13-12-3. Фрагмент космического снимка с КА Aqua от 21 января 2019 г.

ральные цвета» выявляется пространственное распределение и приблизительное количество хлорофилла А по зонам насыщенности зеленого окраса (рис. 4). Другой вид водорослей, кокколитофориды, придают воде непрозрачный молочный цвет и на космических снимках определяются по молочно-белым разводам (рис. 5).

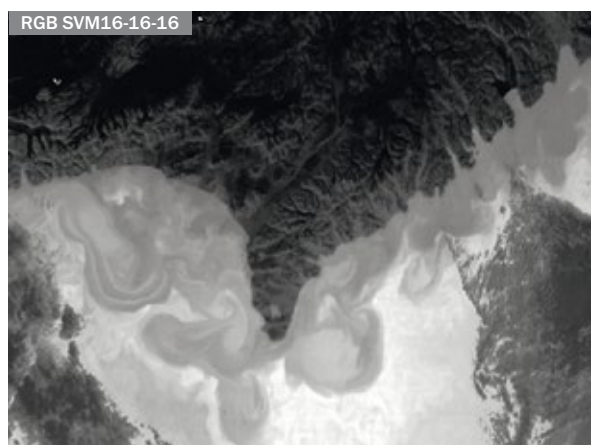
Неоспоримым преимуществом космических снимков является возможность определения доминирующего вида микроводорослей, выявления ВЦВ (вредоносного цветения водорослей) и его динамики, а также прогнозирования уровня концентрации фитопланктона в зависимости от охлаждения вод и интенсивности их перемешивания в зимний период.

Численные значения концентраций  $[мг/м^3]$  хлорофилла А (продукт `chlor_a`, `chl_ocx`) и взвешенного органического углерода (продукт `POC/ Particulate Organic Carbon`) по данным сенсоров MODIS, VIIRS, установленных на КА Terra/Aqua и Suomi NPP/NOAA-20 соответственно, рассчитываются с помощью модуля SeaDAS, интегрированного в ПО СКАНЭКС Терминал®.

Лед и ледовые поля хорошо дешифрируются на космических снимках. Следует заметить, что для получения качественного изображения по распределению морского льда необходимо использовать маски облачности и тесты на определение ледяной фракции в облаках.

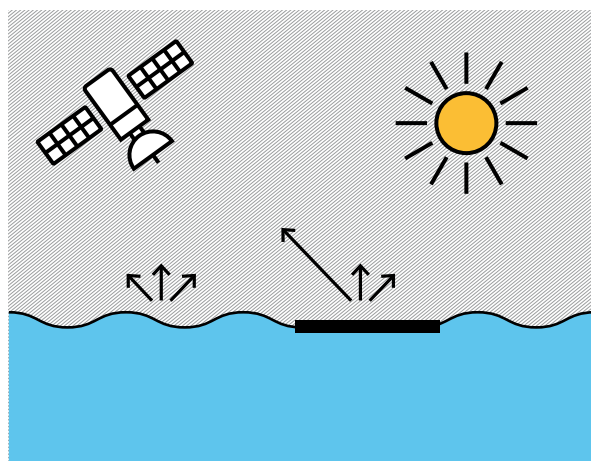
При ответственном подходе к эксплуатации техники и ресурсов в областях с ледовыми полями разной степени сплоченности приветствуется использование спутниковой информации наряду с привлечением данных о гидрологическом режиме, характере дна и другой необходимой информации об акватории.





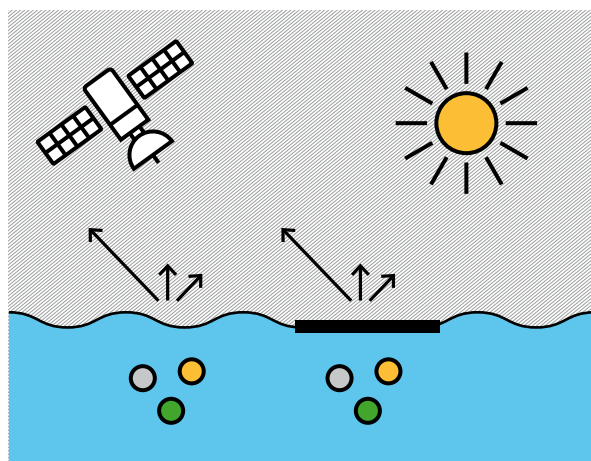
6

Рис. 6. Вихревые образования восточнее полуострова Камчатка, Берингово море. Фрагмент космического снимка с КА NOAA-20 (JPSS-1) от 31 ноября 2018 г.



7

Рис. 7. Оптические свойства ПАВ в условиях чистой воды



8

Рис. 8. Оптические свойства ПАВ в условиях мутной воды

Одним из важнейших гидрофизических параметров, определяемых по космическим снимкам, является температура поверхности воды. Спутниковые данные в ИК-зоне позволяют отслеживать динамику перемешивания поверхностных вод Мирового океана, направления течений, мезомасштабные вихревые образования и др. Аналогичным образом доступно получение пространственно-временной информации о лимнических или озерных процессах. На рис. 6 проиллюстрированы вихревые образования в Беринговом море, восточнее полуострова Камчатка.

ПО СКАНЭКС Терминал® позволяет получать продукт SST (Sea Surface Temperature) по данным сенсоров MODIS, VIIRS, применяя модуль SeaDAS.

ГК «СКАНЭКС» производит ежедневный мониторинг северной части Каспийского моря в интересах компании нефтегазового сектора и предоставляет карты температуры поверхности воды и льда. Характерной особенностью ледяного покрова Северного Каспия являются интенсивные подвижки дрейфующего льда, которые обуславливают образование зон значительного торошения, наслоения, сжатия и навалов льда на прибрежную территорию и острова [Максимов А.А., 2018].

По космическим снимкам также можно определить локализацию поверхностно-активных веществ (ПАВ), состоящих из неполярных молекул. ПАВ формируют на поверхности воды пленку, которая в умеренно ветреную погоду уменьшает шероховатость водной поверхности. Это обстоятельство изменяет отражательную способность в коротковолновом и микроволновом спектральных диапазонах, что проявляется на космических снимках в разнице яркостных значений

для пленок и фоновой воды. Спектральная яркость пленок в сравнении с фоновой «чистой» водой выше на протяжении всего видимого и БИК-диапазона (рис. 7). Ограничение этого метода состоит в том, что вероятность определения ПАВ в мутной воде (рис. 8) сильно снижается [Жуков Д.В., 2016]

Космические снимки являются удобным и надежным источником информации о состоянии поверхностных вод. При определенном уровне достоверности на основе спутниковой информации возможно создание прогнозных моделей пространственной и временной изменчивости вод. Регулярный мониторинг методами ДЗЗ в сочетании с наземными исследованиями предоставляет возможность оперативной оценки экологического состояния вод (выявление участков загрязнения ПАВ, определение источников загрязнения, прогнозирование распространения загрязнений в акватории посредством моделирования), выявления зон повышенной биологической продуктивности, обеспечения безопасности судоходства, наблюдения за состоянием береговой линии и пр. ¶

## ГЛОССАРИЙ/ТЕРМИНЫ

**Коротковолновой** (видимый) спектральный диапазон 0,4–0,7 мкм:

- фиолетовый — 0,38–0,45 мкм;
- синий — 0,45–0,48 мкм;
- голубой — 0,48–0,50 мкм;
- зеленый — 0,50–0,56 мкм;
- желтый — 0,56–0,59 мкм;
- оранжевый — 0,59–0,62 мкм;
- красный — 0,62–0,75 мкм.

**Инфракрасный** (ИК) спектральный диапазон 0,8–1000 мкм:

- ближний ИК (БИК) или NIR (Near Infrared) — 0,75–1,5 мкм;

- коротковолновый ИК или SWIR (Short Wave Infrared) — 1,5–3,0 мкм;
- средний или MWIR (Midwave Infrared) — 3–5,50 мкм;
- дальний (тепловой) инфракрасный или TIR (Thermal Infrared) — 5–1 000 мкм.

**Микроволновой** (активное радарное излучение) — это сантиметровый спектральный диапазон (10 см), который соответствует частотному диапазону порядка 3 ГГц.

**Взвеси** — это любые неорганические тонкодисперсные частицы и микроскопический планктон, находящийся в воде во взвешенном состоянии. К частицам взвесей относятся такие загрязняющие вещества, как тяжелые металлы, пестициды, азотно-фосфорные удобрения.

**РОВ** — растворенное органическое вещество (желтое вещество), которое присутствует во всех без исключения типах природной воды. Его типичные концентрации в воде невелики (около 20–50 мг/л). Гуминовые соединения в РОВ обеспечивают поглощение УФ-радиации и вызывают люминесценцию.

**Слики** — пленочные загрязнения, возникающие вследствие попадания с судов водных масс, загрязненных нефтепродуктами. Дешифрируются преимущественно вдоль судоходных трасс.

## Список литературы

1. Горшкова О.М., Пацаева С.В. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды. // «Аналитические методы и системы контроля качества воды». — 2009.
2. Жуков Д.В. Спектральные признаки для идентификации типовых загрязнений акваторий морей по данным авиационной и космической съемки. // «Оптика

атмосферы и океана». Т. 29. — № 7. — 2016.

3. Максимов А.А. Спутниковый мониторинг стамух в Каспийском море. // Всероссийская конференция «Современные проблемы ДЗЗ из космоса». 2018 г.