

Введение в оптику океана

Rurik-Expedition (1815 - 1818)

Based on a physical map of the world of April 2004

- anchorages
- route 1815 (St. Petersburg - St. Catharina Island)
- route 1816 (St. Catharina Island - Ratak Islands)
- route 1817 (Ratak Islands - Manila)
- route 1818 (Manila - St. Petersburg)



История возникновения и развития

Закон Бугера-Ламберта-Бэра

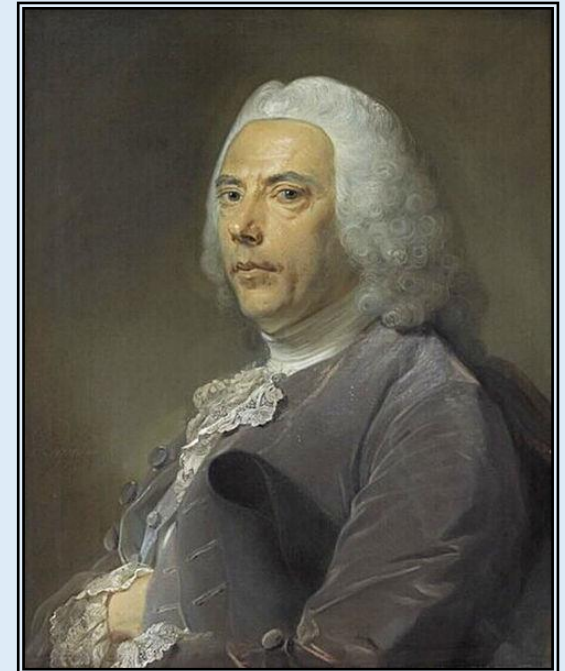
$$I = I_0 e^{-D(\lambda)} = I_0 e^{-\alpha(\lambda) \cdot x} = I_0 e^{-\sigma(\lambda) \cdot n \cdot x}$$

$D(\lambda)$ - оптическая плотность образца

$\alpha(\lambda)$ - коэффициент поглощения

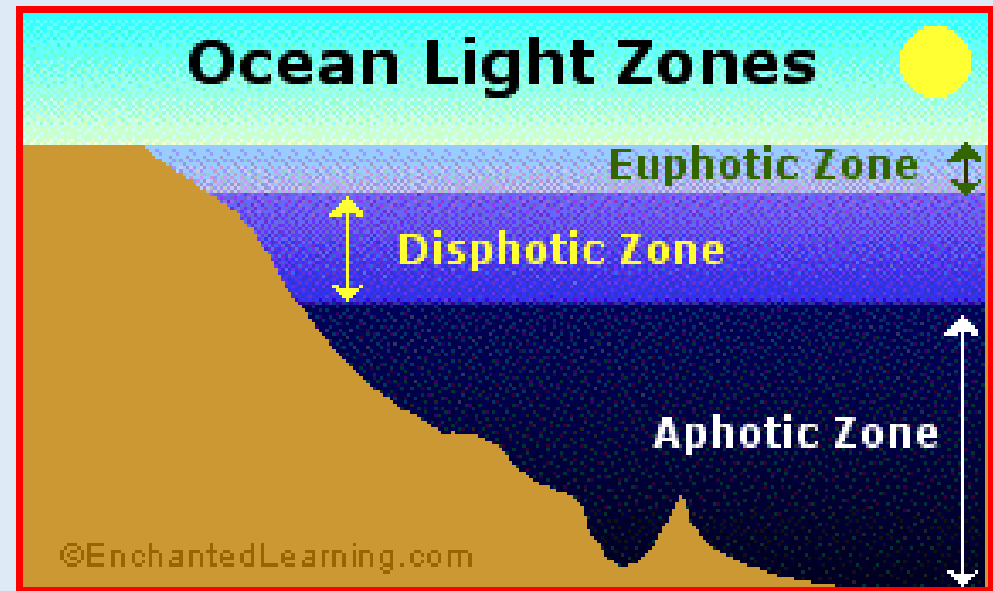
$\sigma = \sigma(\lambda)$ - сечение поглощения молекул

1729 г., Бугер – экспериментальное обнаружение,
1760 г., Ламберт и 1852 г., Бэр – теоретическое
объяснение деталей этой зависимости



Пьер Бугер, 1698-1758.
Французский
математик, астроном и
геофизик

Прозрачность воды определяет толщину *фотической* зоны, в которую проникает солнечная радиация. В этой зоне эффективен процесс фотосинтеза (до 200 м).



Ниже расположена *дисфотическая* (сумеречная) зона, в которой все еще возможен фотосинтез (до 1000 м).

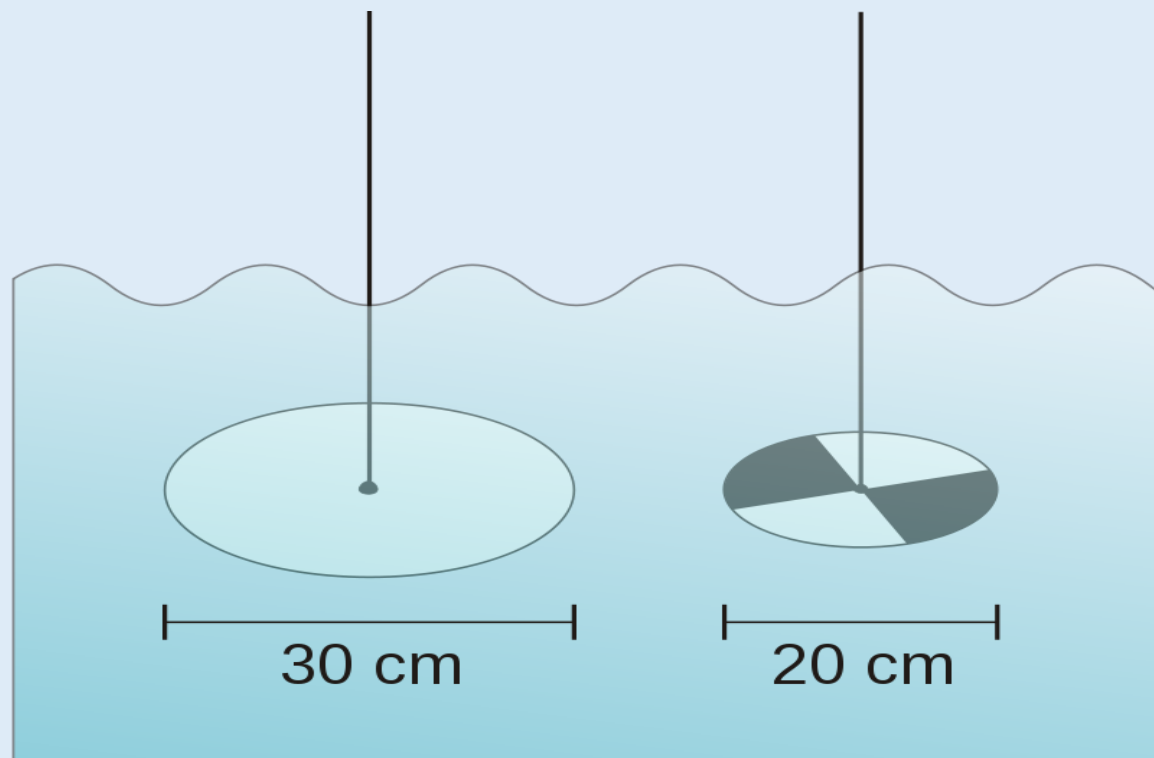
Ниже дисфотической зоны расположена *афотическая* зона, в которой фотосинтез невозможен.

Измерения прозрачности морской воды в начале XIX века

Во второй кругосветной экспедиции Отто Коцебу на бриге «Рюрик» (1815-1817 гг.) использовалась белая тарелка с камбуза.



Измерения прозрачности воды с помощью диска Секки (1865, Анджело Секки – итальянский астроном и священник)



Слева – диск для морской воды, справа – для пресной



Анджело Секки (1818-1878), директор
обсерватории папского Григорианского
университета

Лазерная спектроскопия природных водных сред

1954 г. – создание мазера (А.М. Прохоров и Н.Г. Басов), 1957-58 гг. – формулирование основных принципов работы оптических генераторов и усилителей световых волн (А.М. Прохоров, Н.Г. Басов, Ч. Таунс, А. Шавлов).

1960 г. – создание рубинового лазера (Теодор Майман)

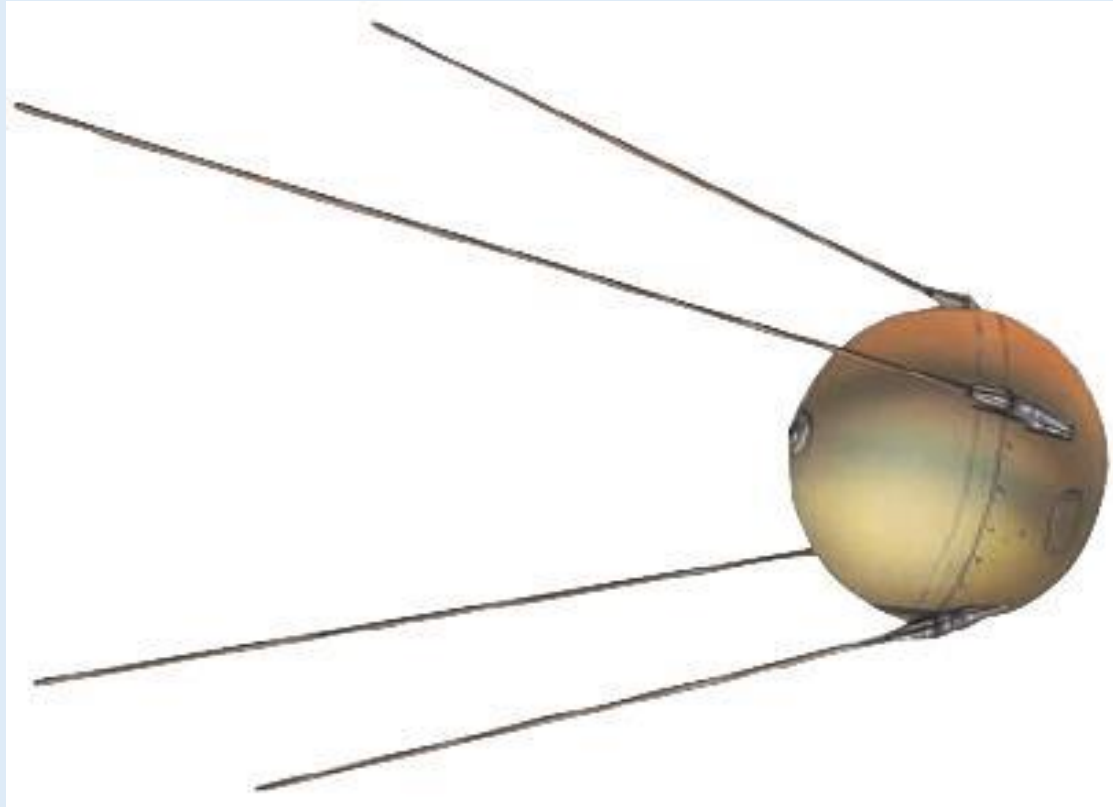


Лазерная спектроскопия природных водных сред

Преимущества лазерного излучения

- Высокая интенсивность: вынужденное рассеяние, нелинейные эффекты, многофотонные переходы...
- Высокая монохроматичность и когерентность лазерного излучения
- Малая расходимость лазерного пучка
- Возможность получения коротких и сверхкоротких импульсов

Лазерная спектроскопия природных водных сред



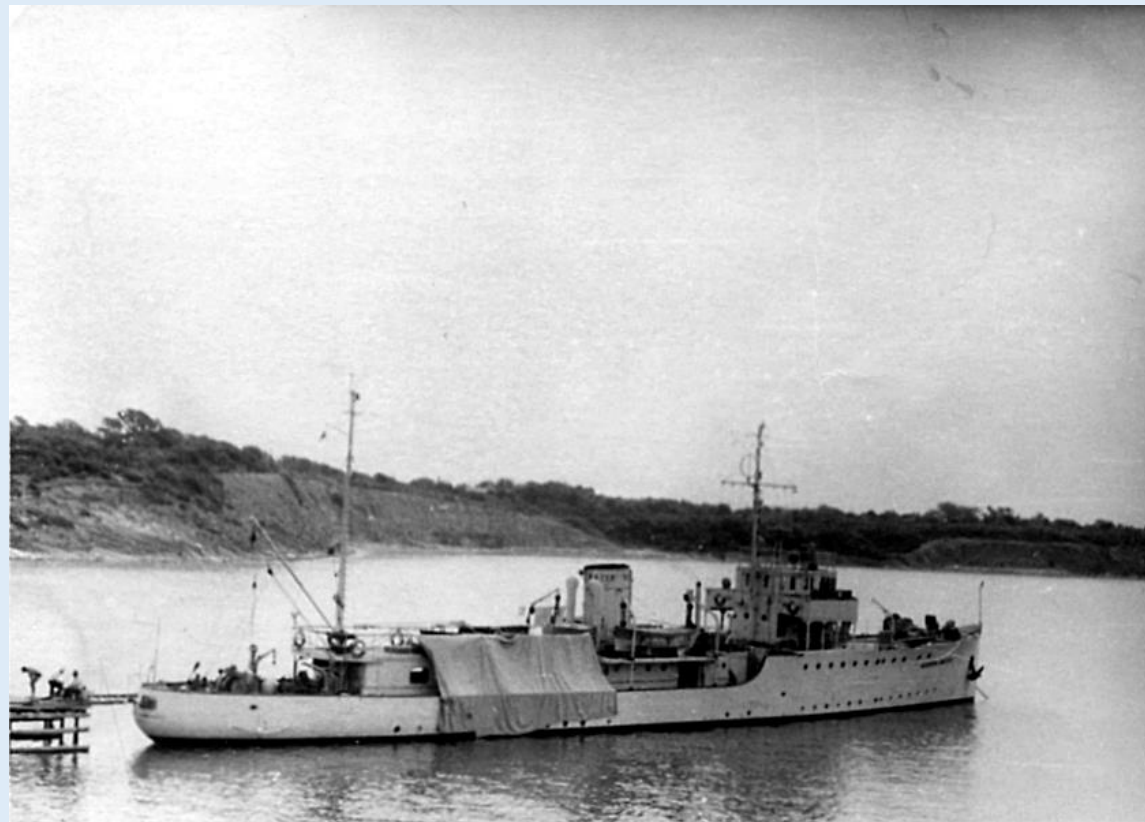
4 октября 1957 г. – запуск первого искусственного спутника Земли



1978 г. – первый сканер цвета моря

Оптика океана в МГУ

1975 г. – экспедиция на судне «Московский университет» («Академик Петровский»)



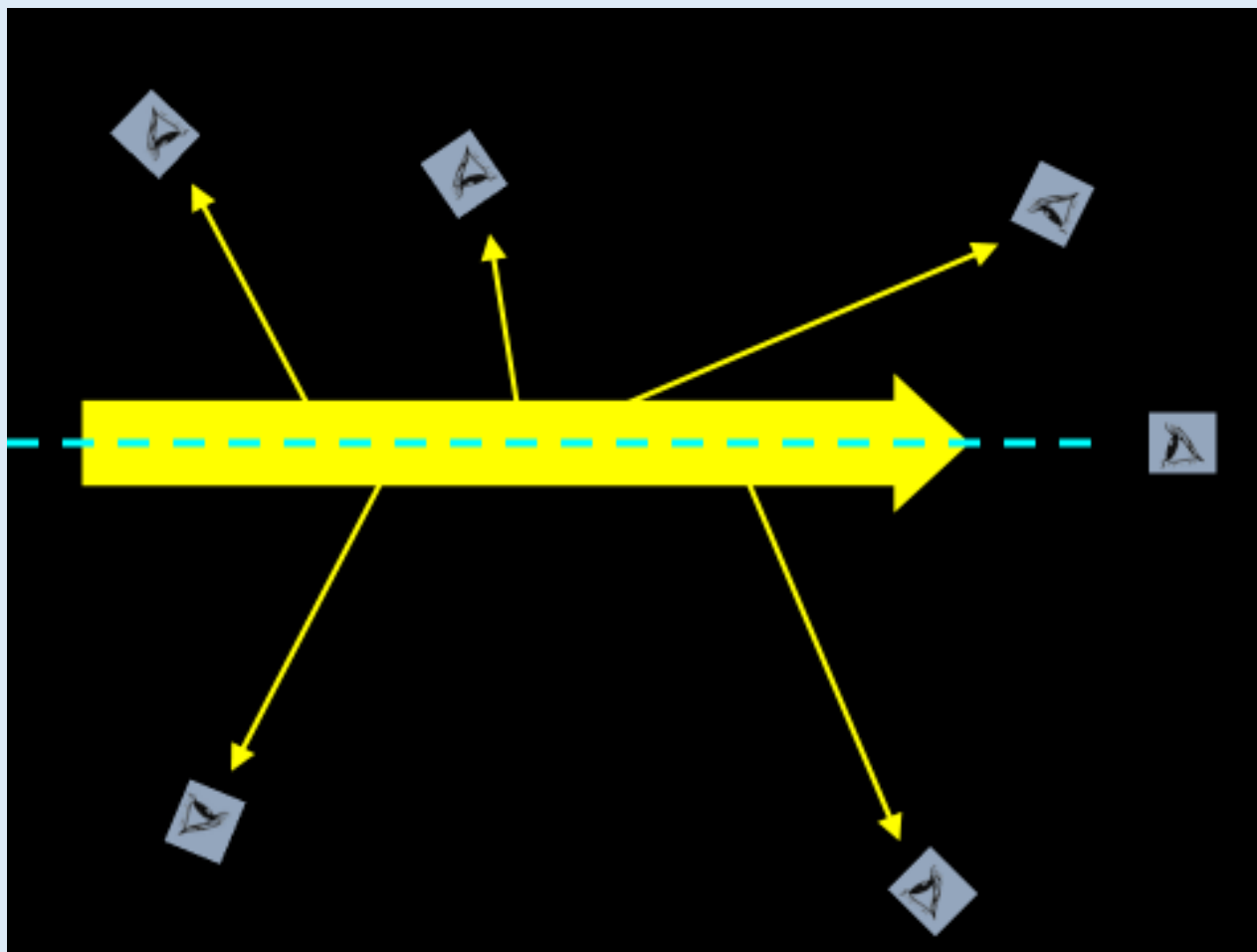
Задачи современной оптики океана

- Распространение электромагнитного излучения в морской воде, уравнение переноса излучения
- Спектроскопия рассеяния, поглощения света и флуоресценции
- Цвет моря и вод суши
- Изучение оптических свойств, связанных с концентрацией органического вещества, фотосинтетической активностью и т.п.

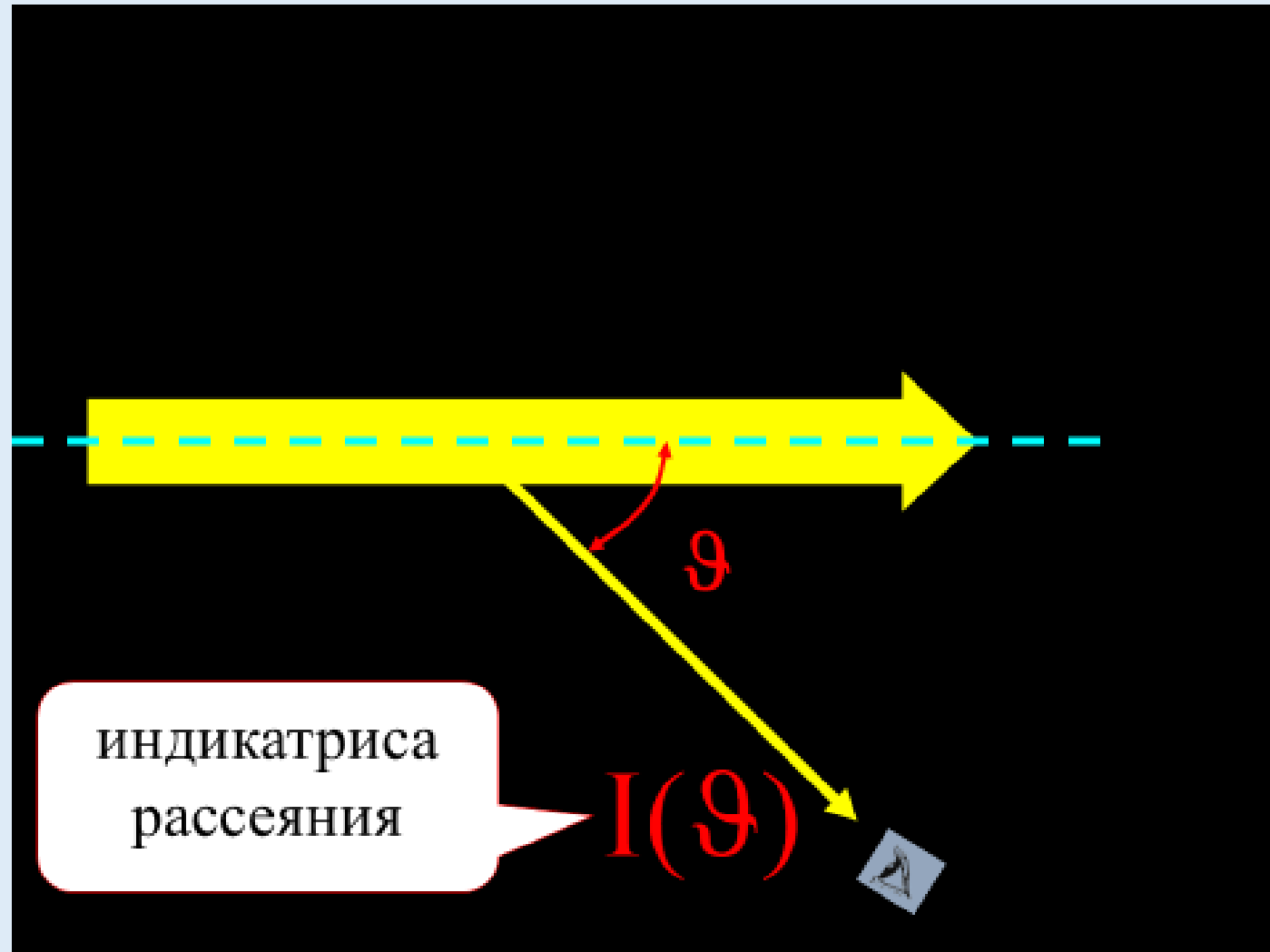
Ослабление электромагнитного излучения в веществе (в данном случае – в морской воде)

- Поглощение (переход энергии излучения в тепло)
- Рассеяние
 - ❖ Рассеяние Ми (крупные частицы, неоднородности; $D \gg \lambda$)
 - ❖ Рассеяние Рэлея (мелкие частицы, неоднородности; $D \ll \lambda$)
 - ❖ Комбинационное рассеяние
- Флуоресценция

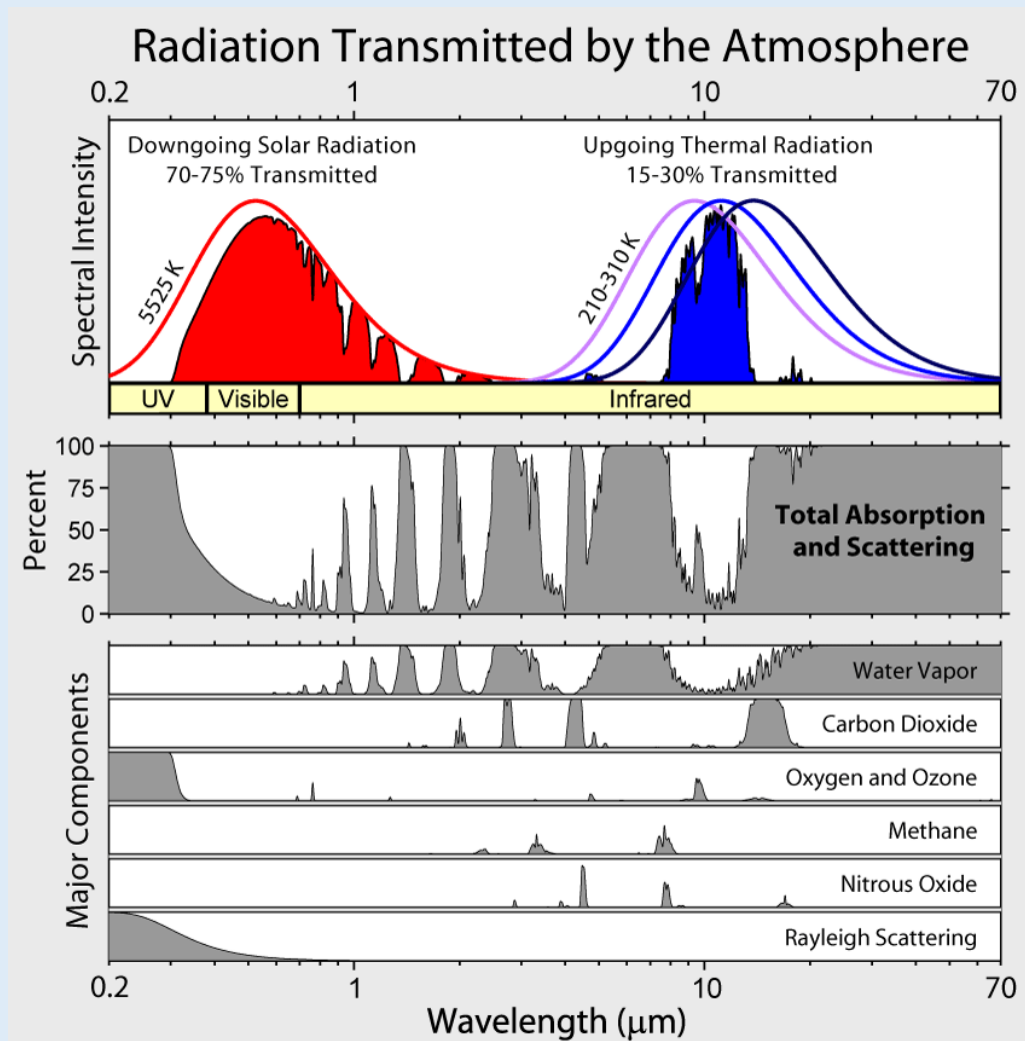
Спектроскопия рассеяния



Спектроскопия рассеяния



Спектроскопия поглощения

$$I = I_0 e^{-\alpha(\lambda) \cdot x}, \text{ измеряем } \alpha(\lambda)$$


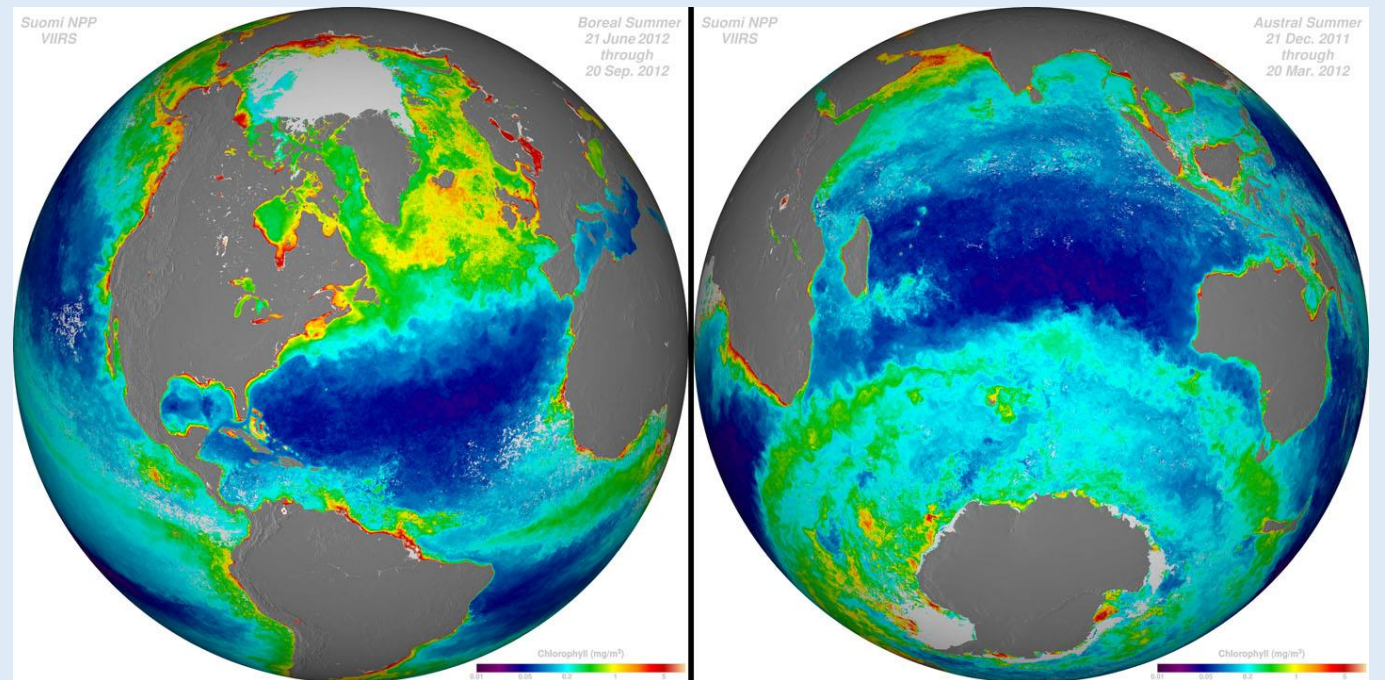
Спектры излучения Солнца и Земли

Спектры поглощения атмосферы в целом
и ОТДЕЛЬНЫХ ГАЗОВ

Радиометрия цвета океана

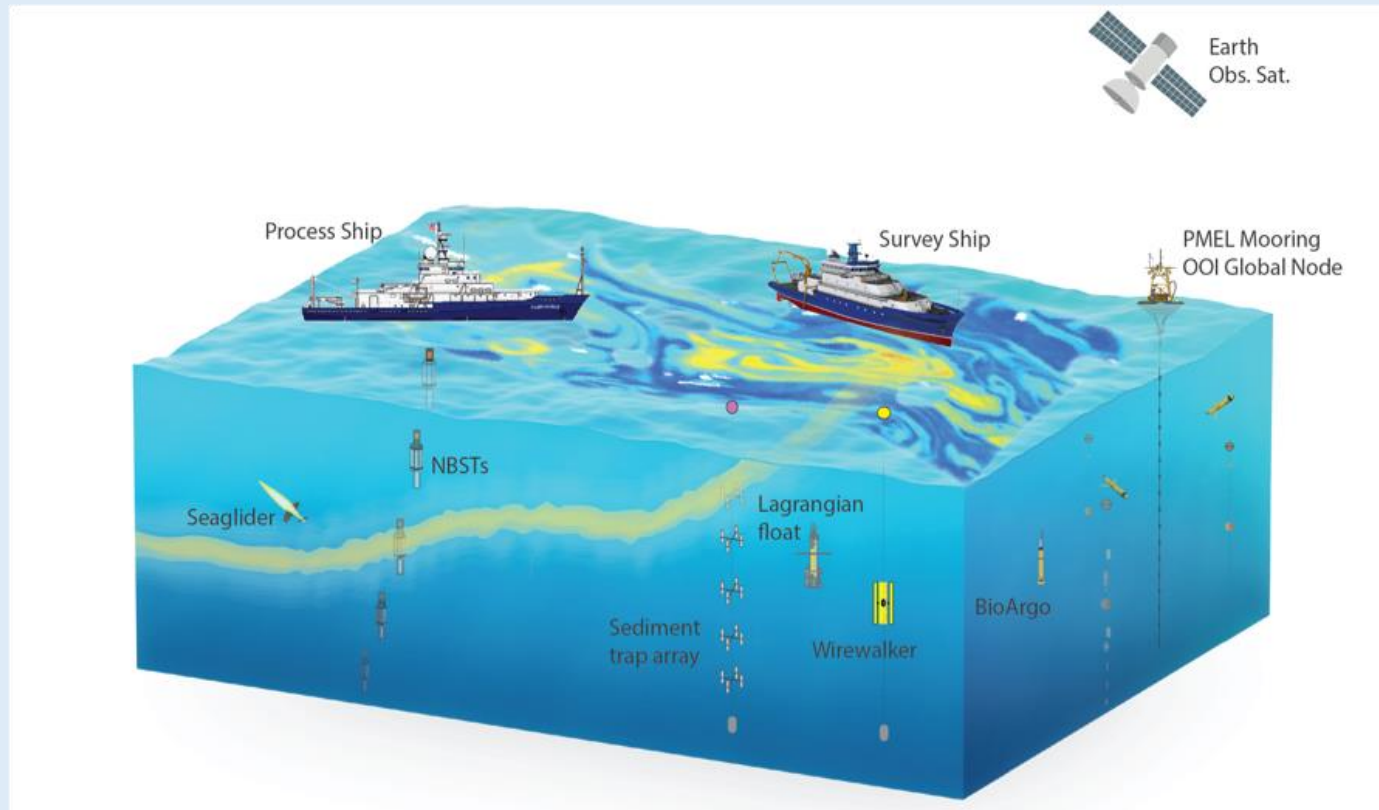
Цвет океана определяется спектральным составом лучей, идущих от поверхности воды:

- рассеянных в толще воды;
- отражённых поверхностью воды.

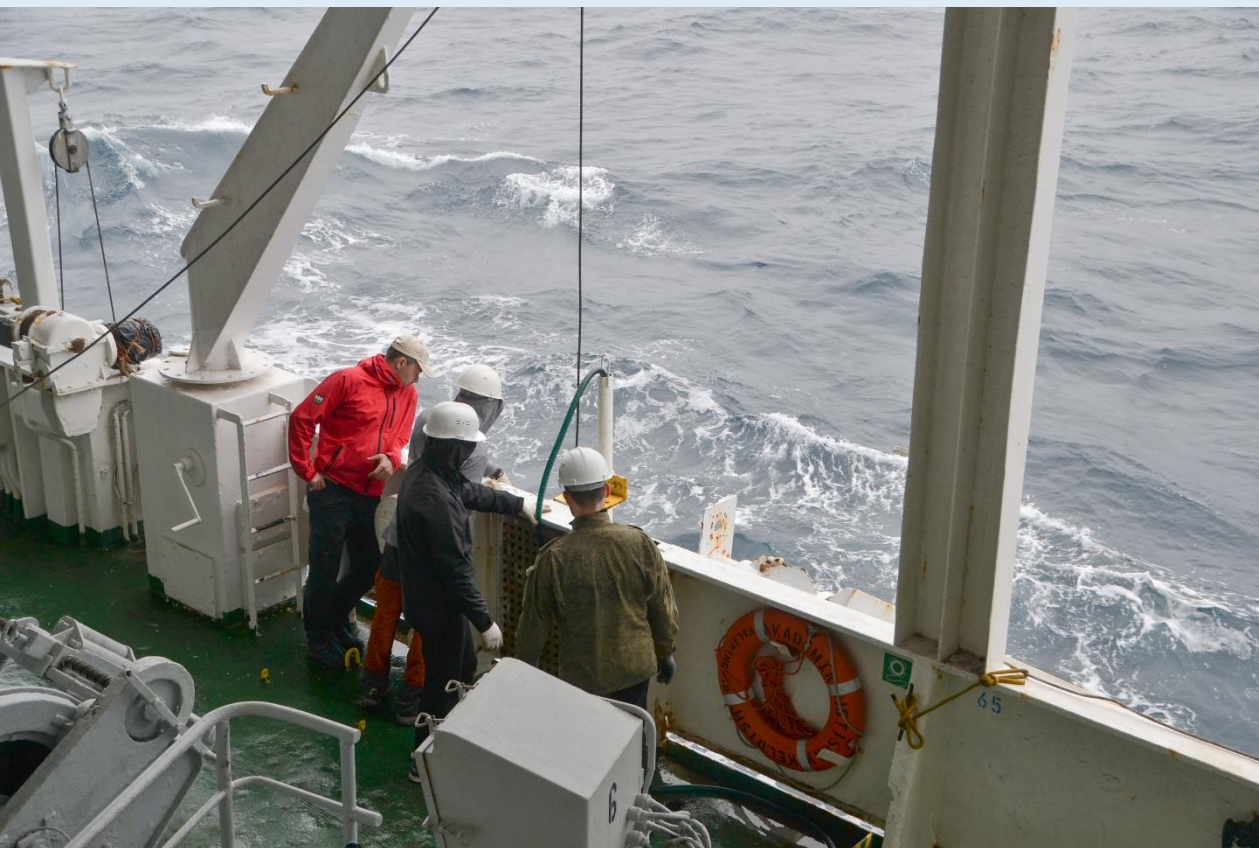


Система современных средств и методов изучения оптических свойств Мирового океана

- Спутниковые средства, обеспечивающие наиболее быстрый охват акваторий
- Лазерные средства: лидары
- Контактные методы: зонды и пробоотборники, проточные системы



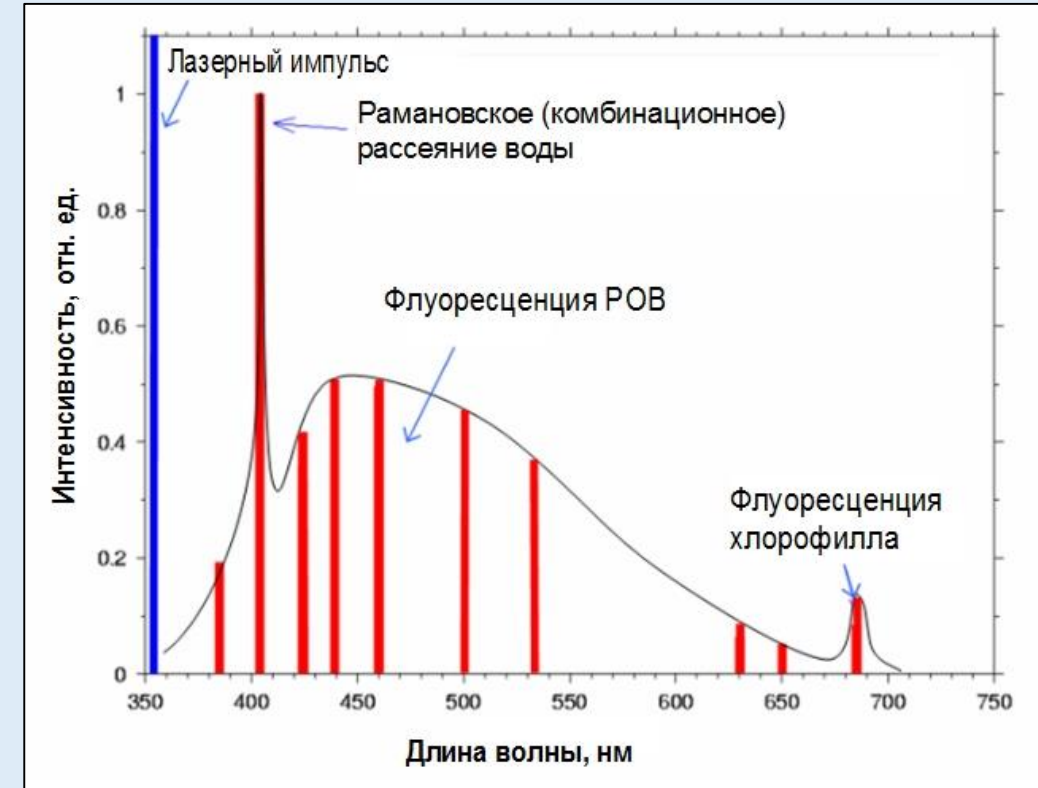
Установка проточной системы на борту судна «Академик Мстислав Келдыш», июнь 2021 г.



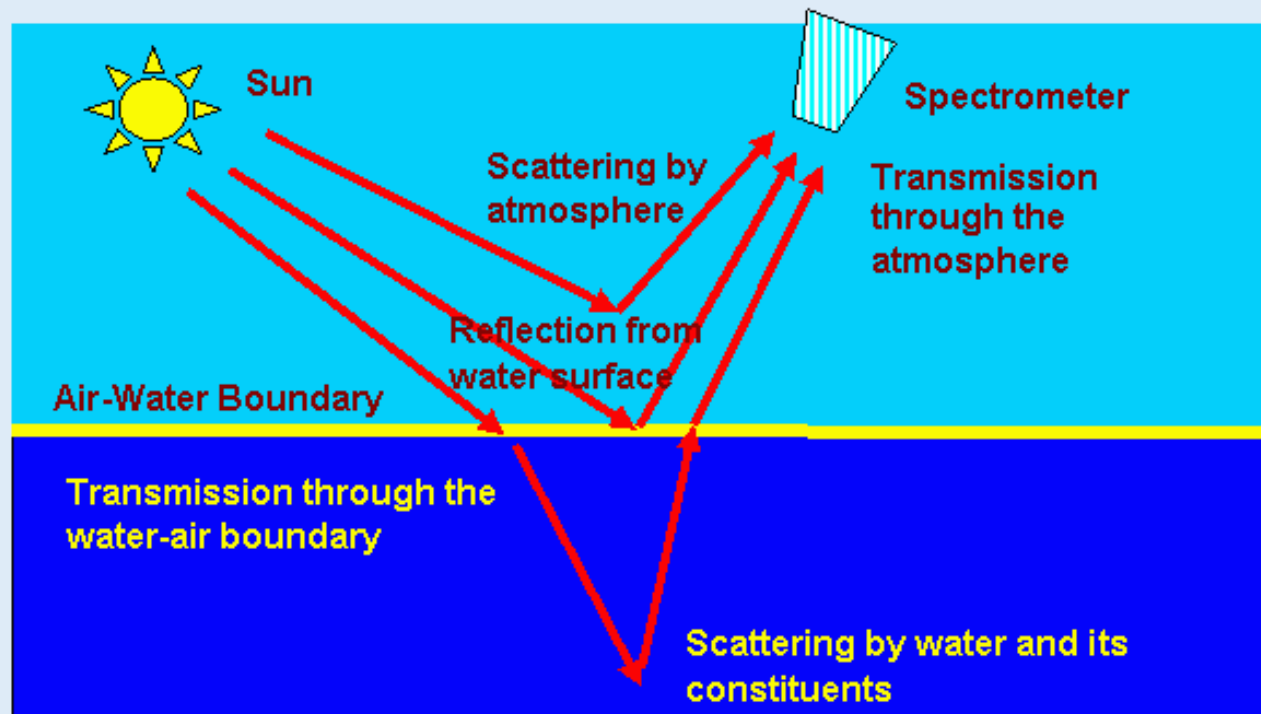
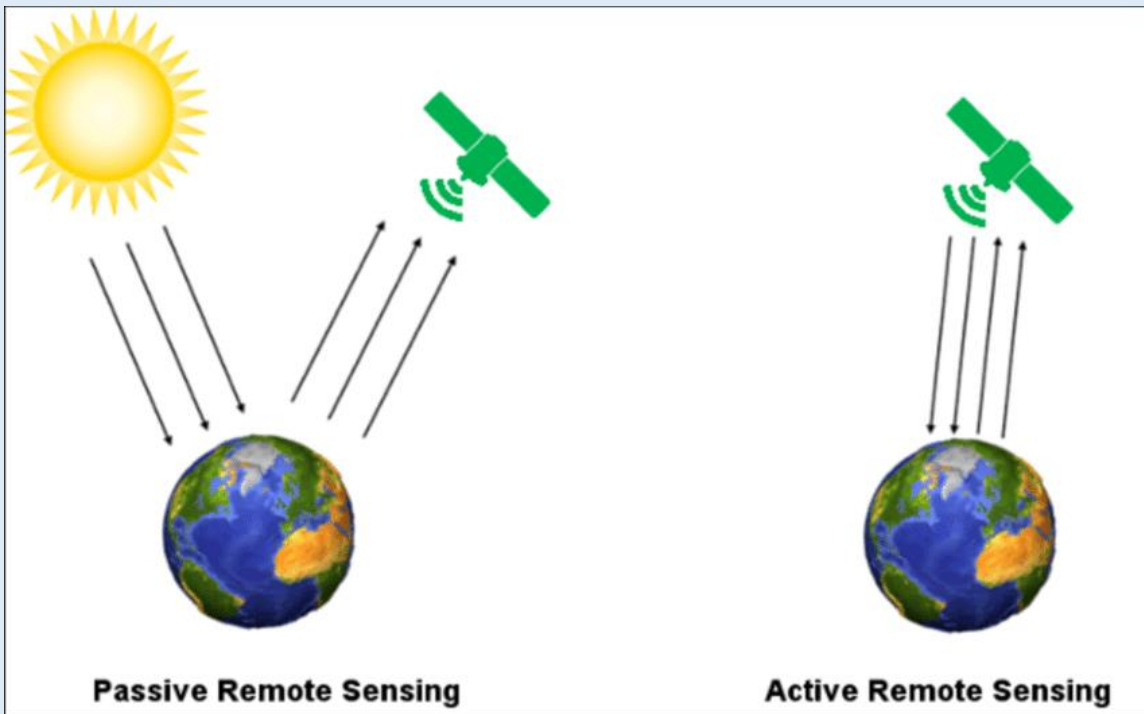
Установка проточной системы на борту судна «Академик Мстислав Келдыш», июнь 2021 г.



Лидарное зондирование

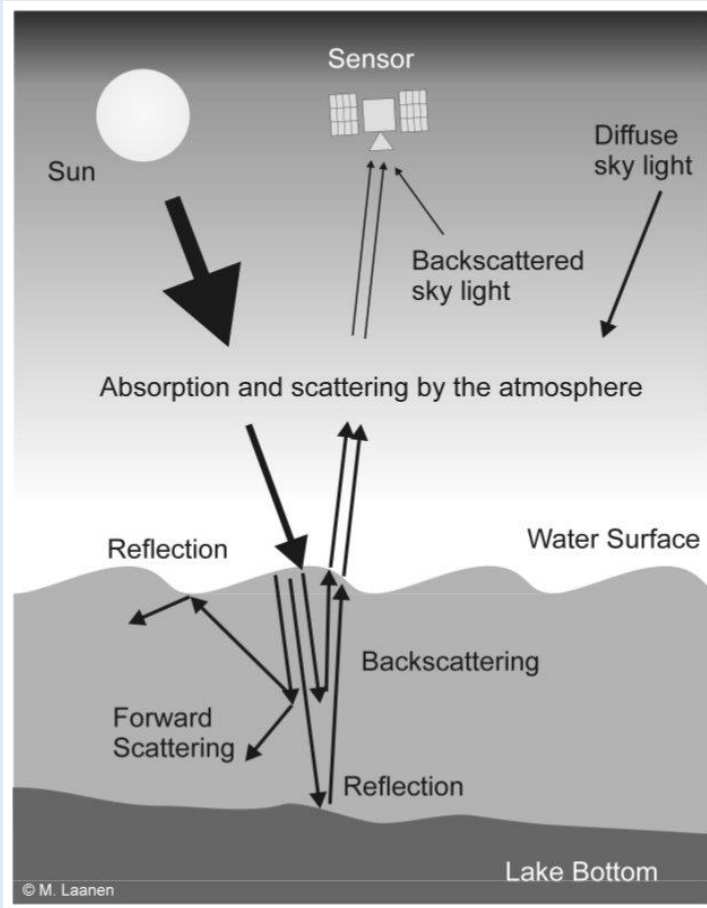


Спутниковое зондирование



Принцип действия сканера цвета

Достоинства и недостатки спутниковых методов зондирования



- + Широкая полоса обзора (~1500 км) и большое пространственное разрешение (~300 м ÷ 1 км)
- + Данные можно легко получить через интернет
- + Одновременное покрытие данными для большой акватории с высокой повторяемостью
- Облачность
- Проблема атмосферной коррекции спутниковых данных

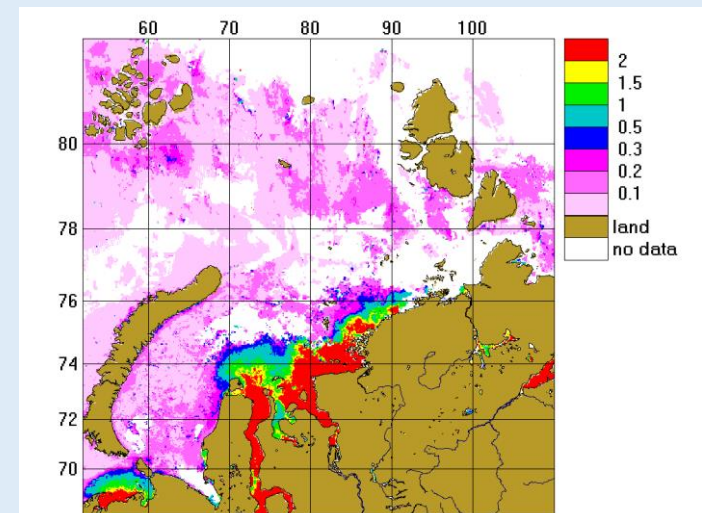
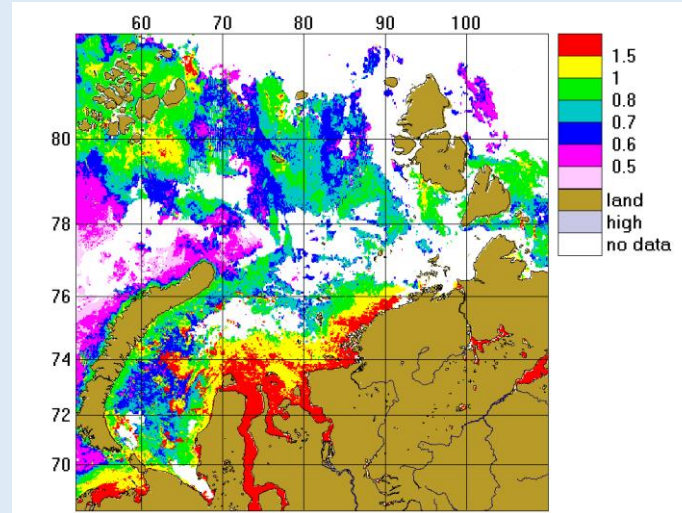
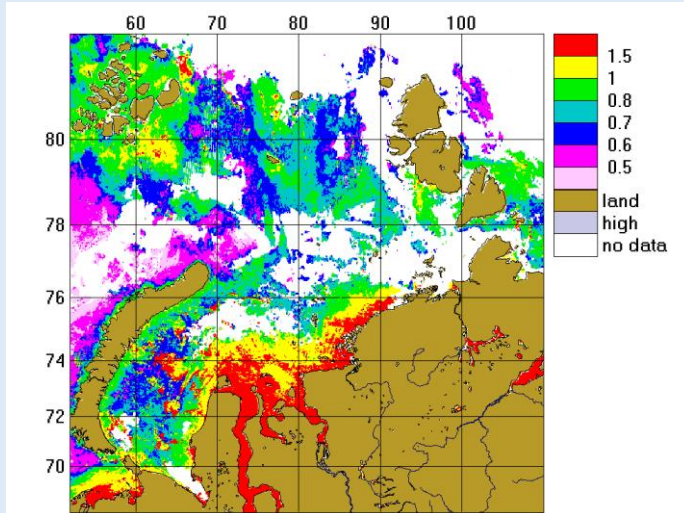
Карское море, 2018 г.

TSM

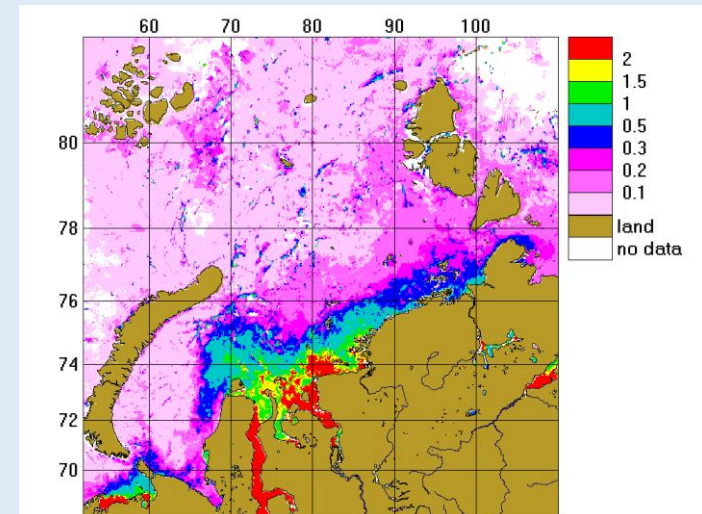
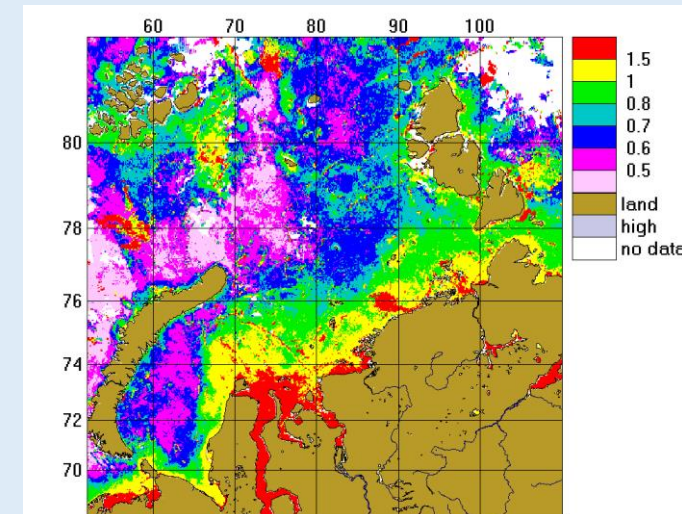
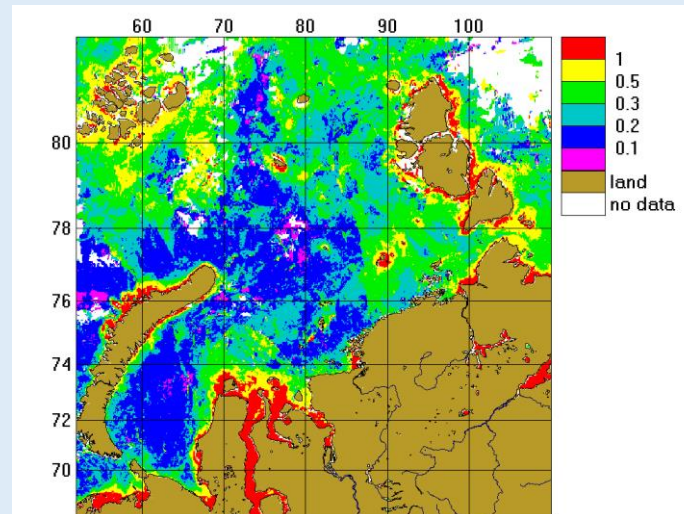
Chl

OPOB a_g

Июль



Август

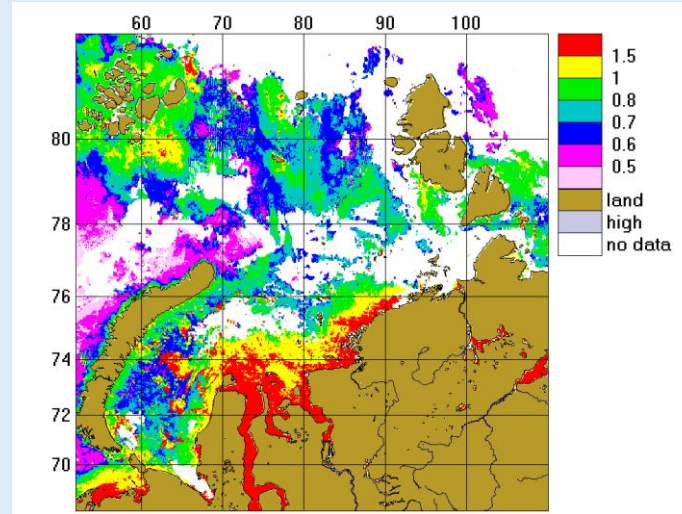
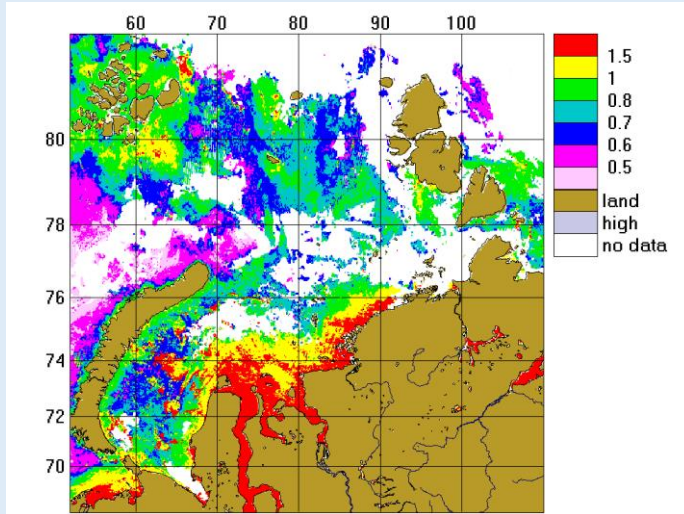


Карское море, 2018 г.

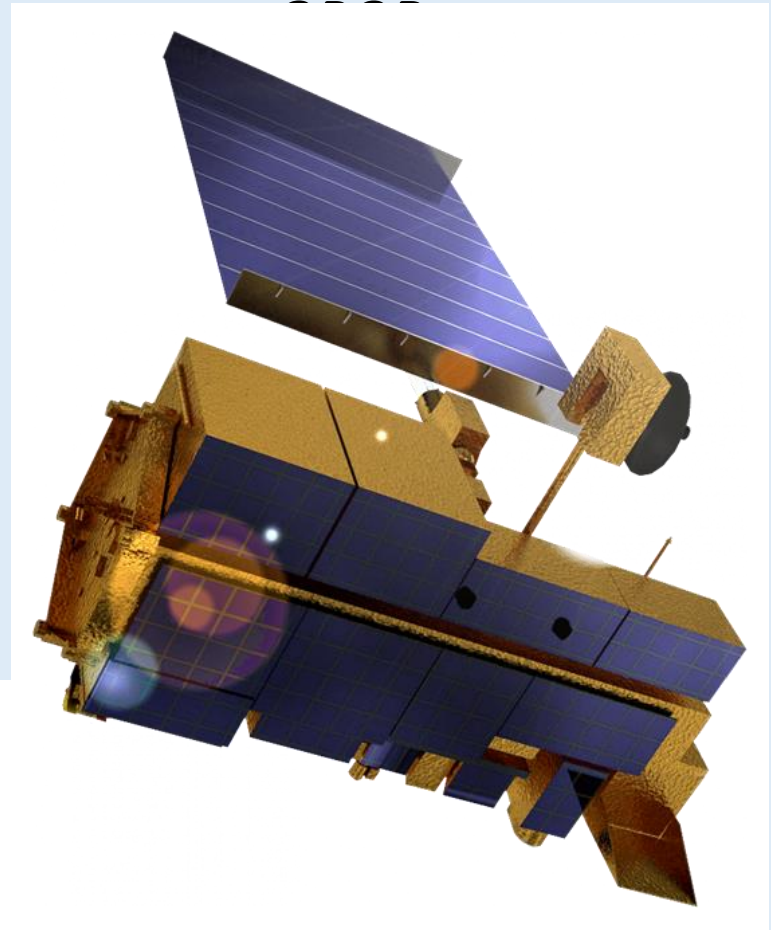
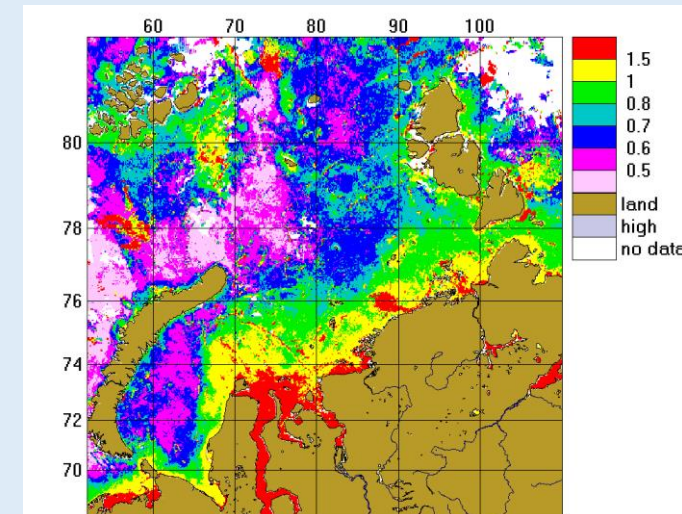
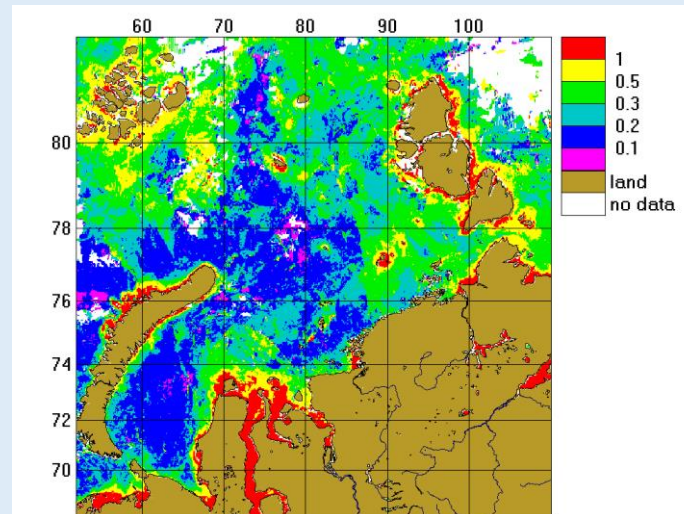
TSM

Chl

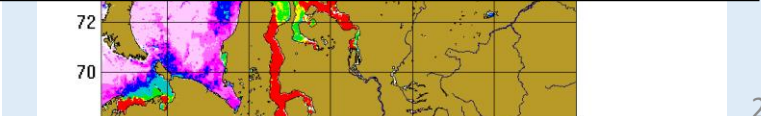
ИЮЛЬ



АВГУСТ



MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)



Спасибо за внимание!

