

Демидов А.Б.

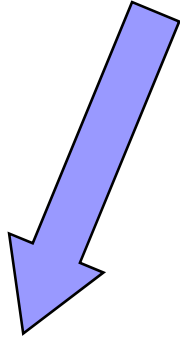
Первичная продукция
океанического фитопланктона:
изменчивость и глобальные
оценки

Соавторы: Мошаров С.А., Гагарин В.И.

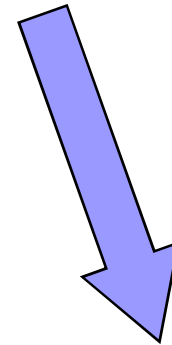
Цели доклада:

- Показать масштабы пространственно-временной изменчивости первичной продукции
- Обзор оценок и методов расчета ее годовых величин в Мировом океане

Изучение первичной продукции

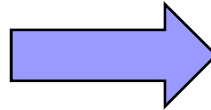


**Биогеохимический
аспект**

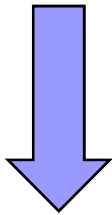


**Экологический
аспект**

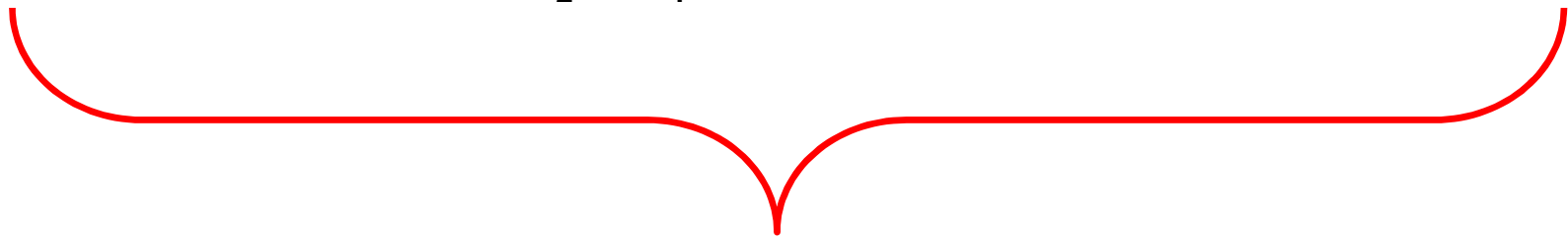
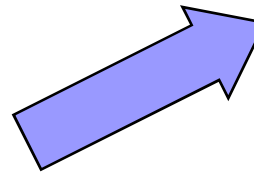
**Техногенная деятельность
человека и естественные
процессы**




**Изменение естественных
биогеохимических циклов
веществ на Земле**

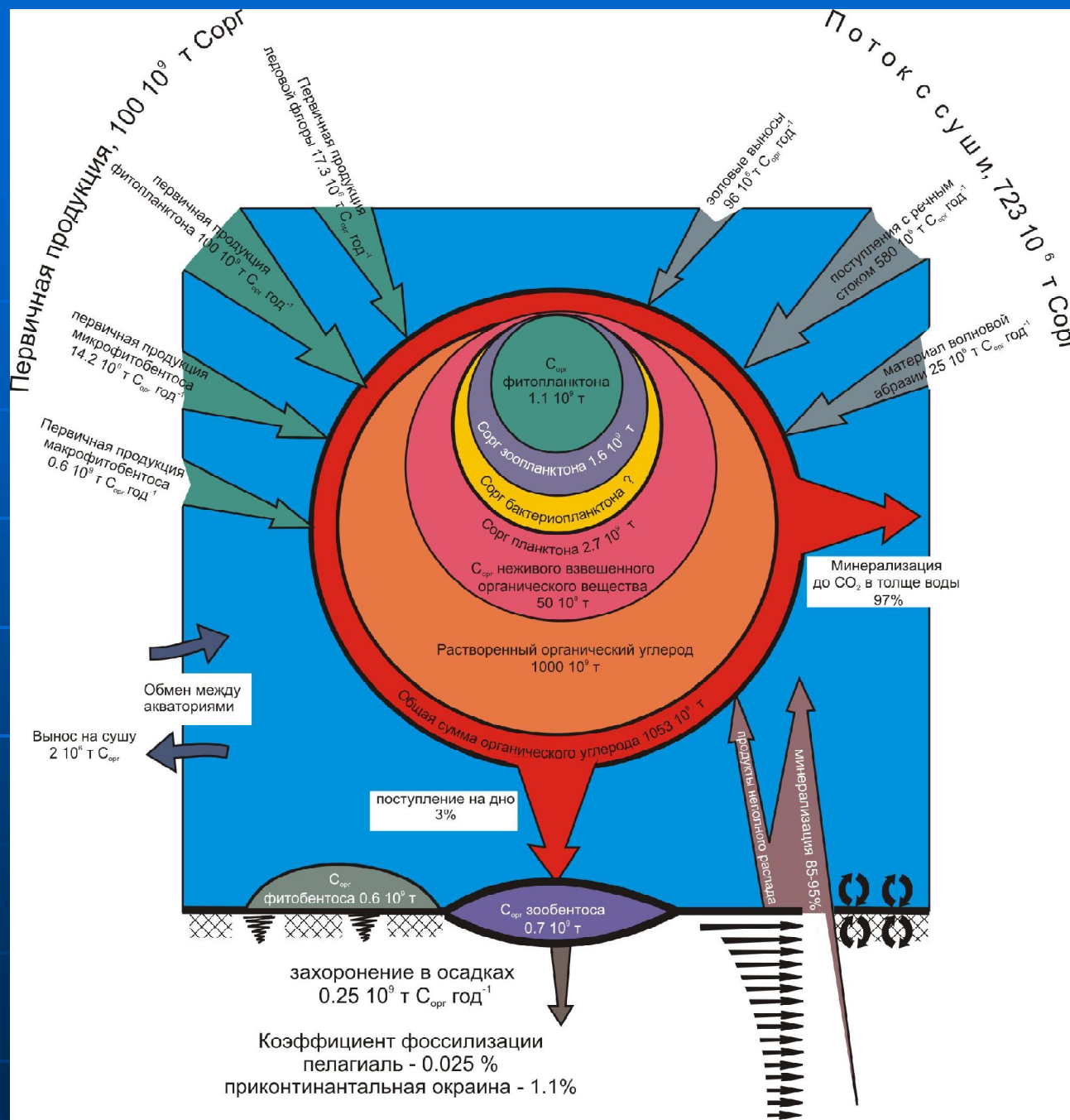


**Увеличение в атмосфере
парниковых газов (CO₂, CH₄)**



**Исследования изменчивости глобального цикла углерода
считается одной из важнейших задач наук о Земле**

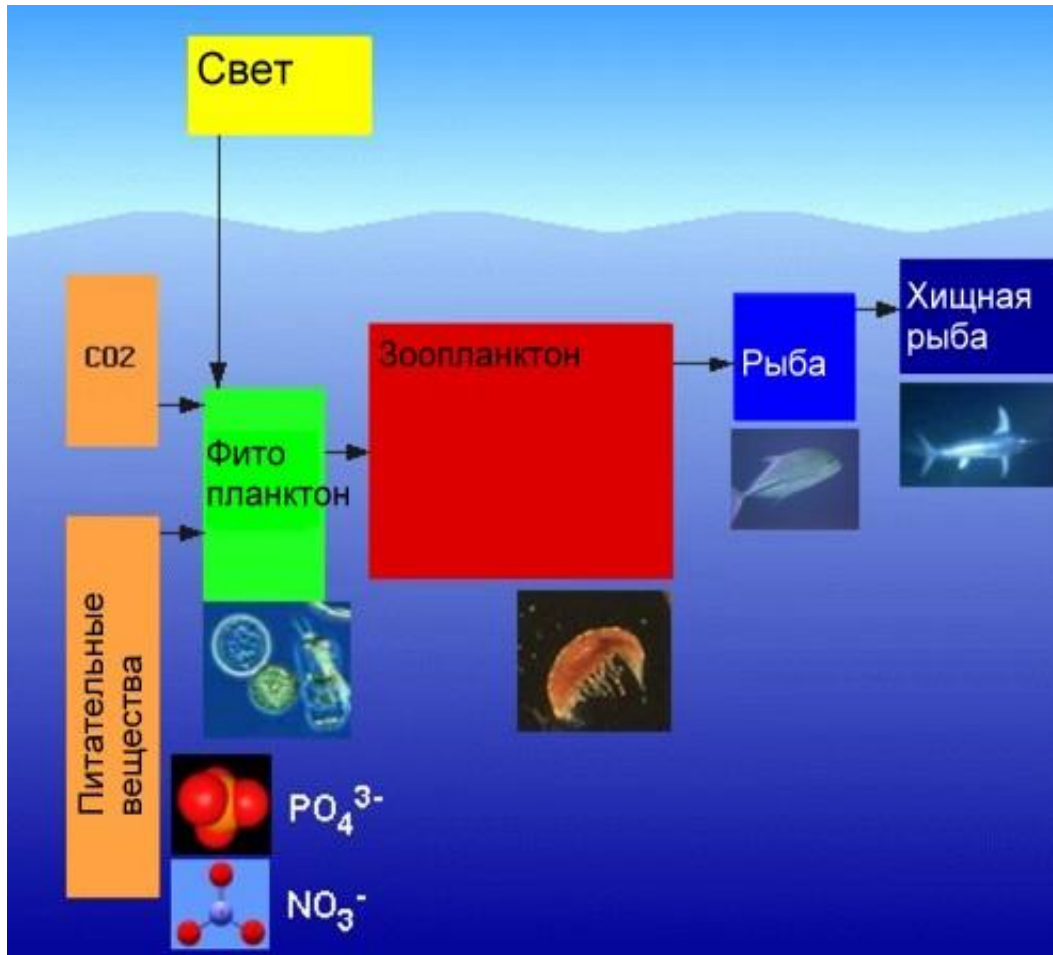
- 
- 1. Океан – важнейшее звено в глобальном балансе CO₂**
 - 2.Общее количество CO₂ в океане в 50 раз больше, чем в атмосфере**
 - 3.Даже небольшие изменения обменного потока углекислого газа между океаном и атмосферой могут существенно изменить концентрацию в ней CO₂**



Потоки углерода в Мировом океане (Романкевич и др., 2008)

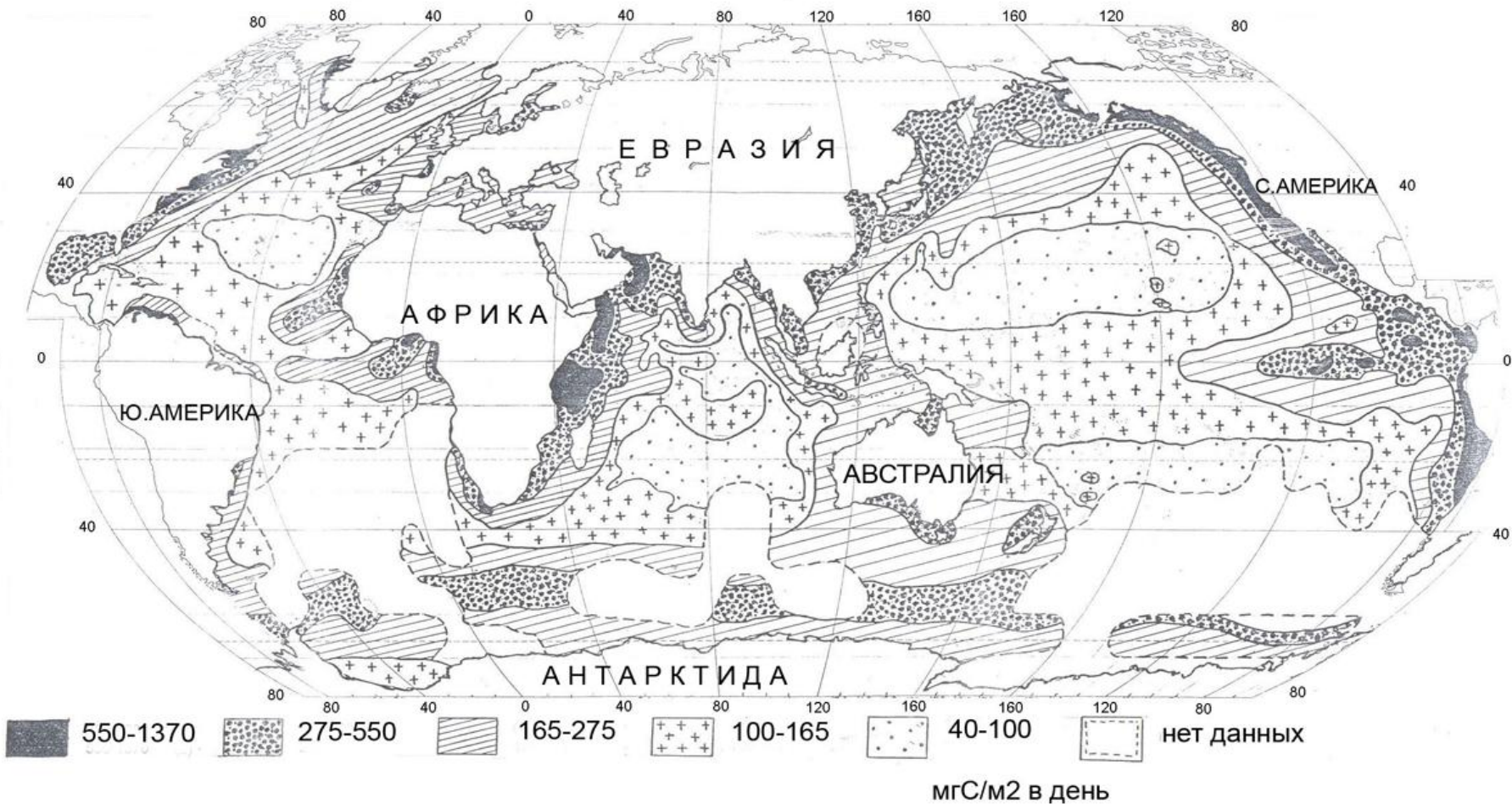
Одним из основных путей включения углерода в биогеохимические циклы является первичное продуцирование органического вещества в процессе фотосинтеза. При этом органическое вещество в океане синтезируется из CO₂, поступающего в воду из атмосферы, и растворенных минеральных веществ, в основном азота и фосфора. Интенсивность первичного продуцирования и годовая величина синтезированного при этом органического углерода являются основными характеристиками круговорота этого элемента.

Экологический аспект изучения первичной продукции



Адекватная оценка годовых величин первичной продукции позволяет количественно оценить общую биологическую продуктивность океанических регионов и объемы «первопищи» (фитопланктона), доступной высшим трофическим уровням (промысловые беспозвоночные, рыбы, млекопитающие)

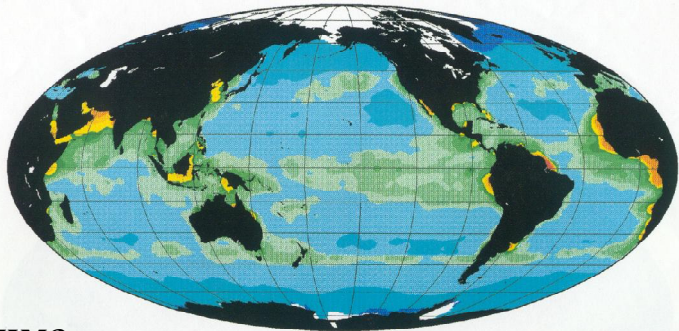
Среднегодовая первичная продукция Мирового океана (Berger, 1989)



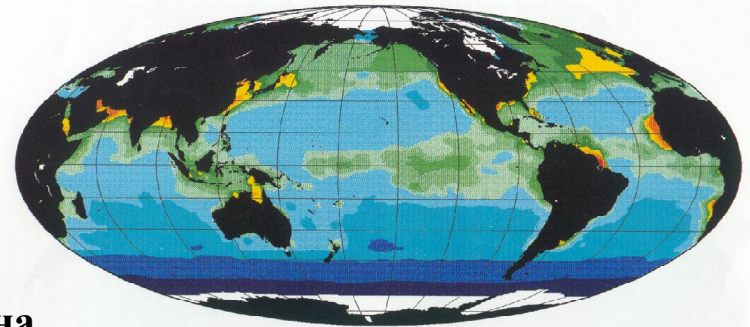
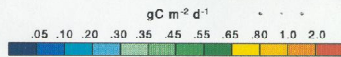
Градации трофности вод Мирового океана

- Ультраолиготрофные воды (концентрация хлорофилла (Chl) < 0.05 мг/м³)
- Олиготрофные воды (первичная продукция (PP) < 100 мгС/м² в день; Chl $0.05 - 0.1$ мг/м³)
- Мезотрофные воды (PP = $100-500$ мгС/м² в день; Chl = $0.1-1.0$ мг/м³)
- Эвтрофные воды (PP > 500 мгС/м² в день; Chl > 1.0 мг/м³)

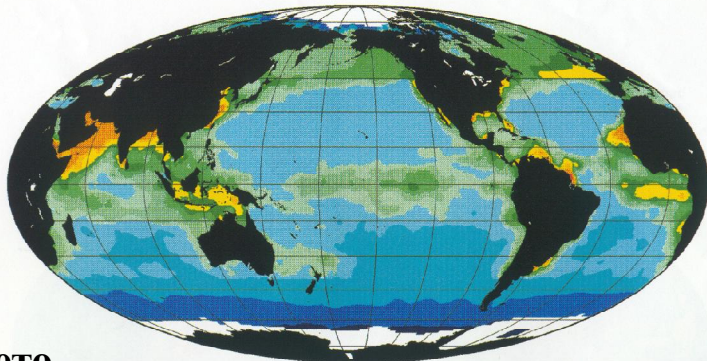
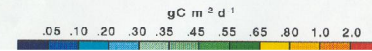
Первичная продукция фитопланктона в разные сезоны (Antoine et al., 1996)



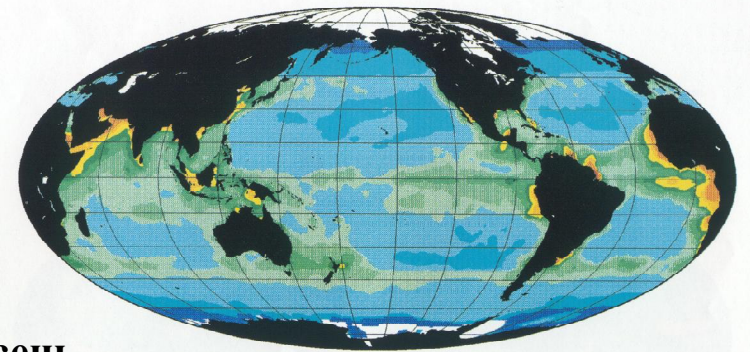
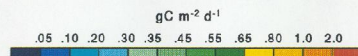
Зима



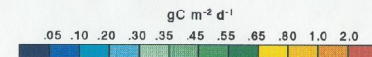
Весна



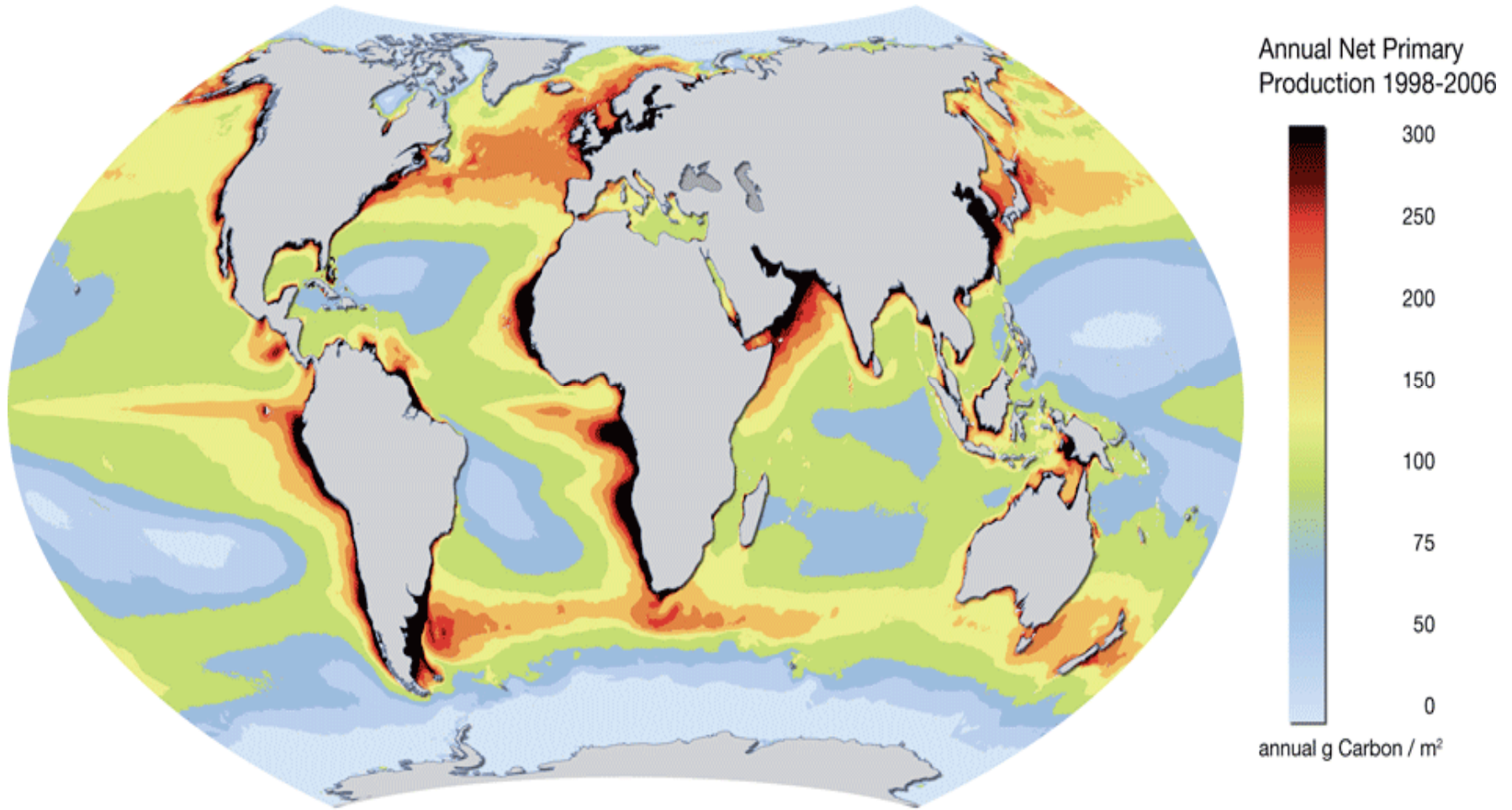
Лето



Осень



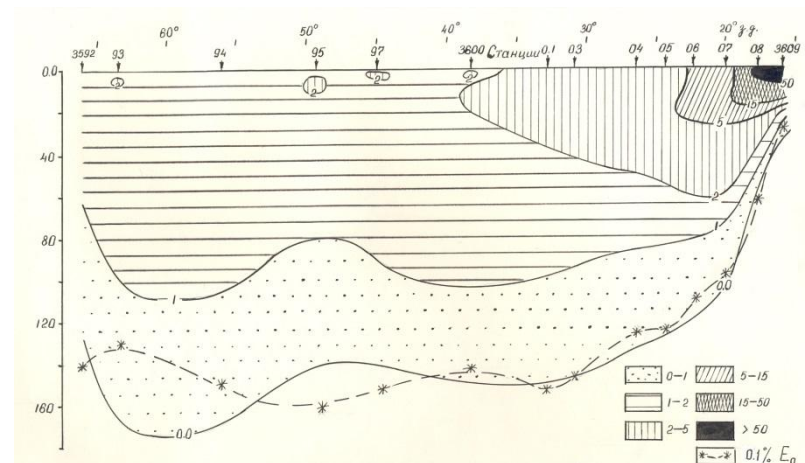
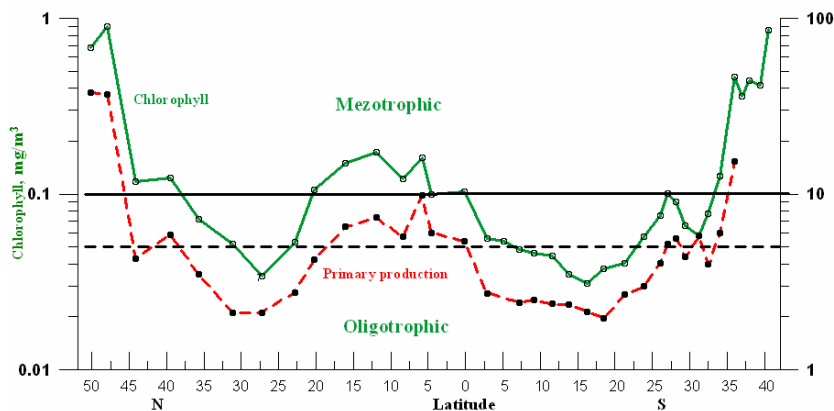
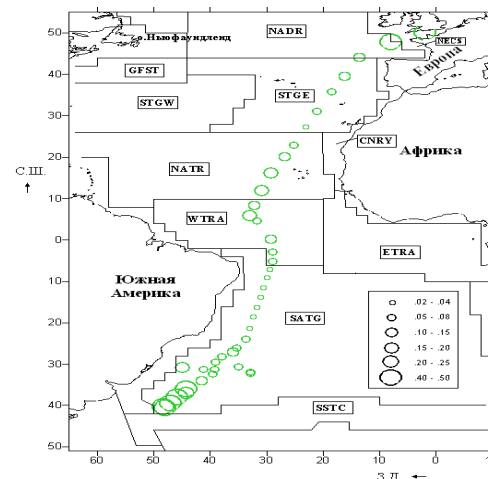
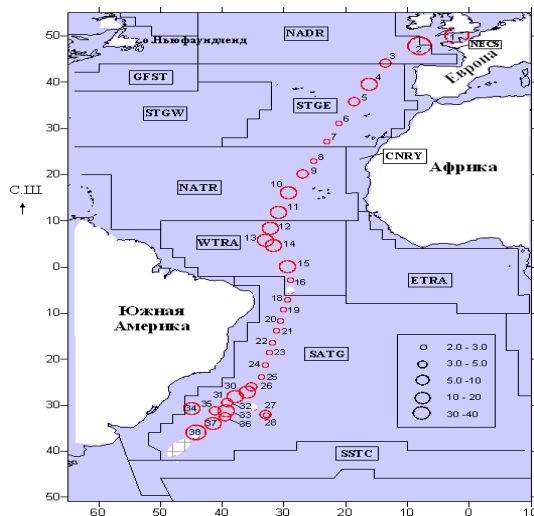
Среднегодовая первичная продукция Мирового океана



Source: Oregon State University 2007

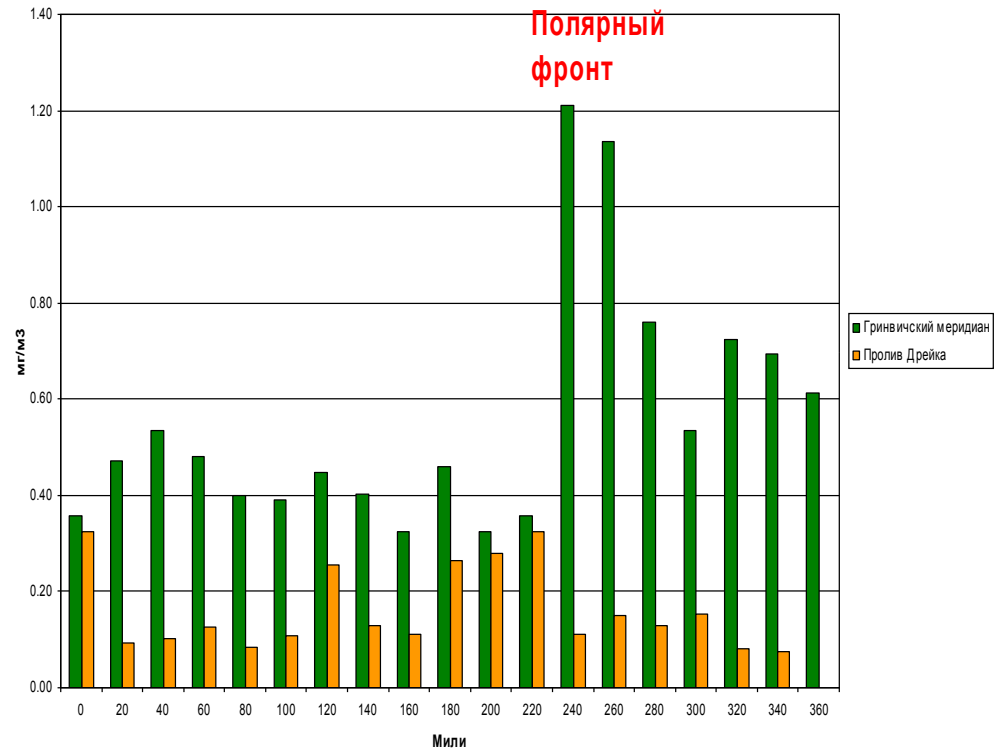
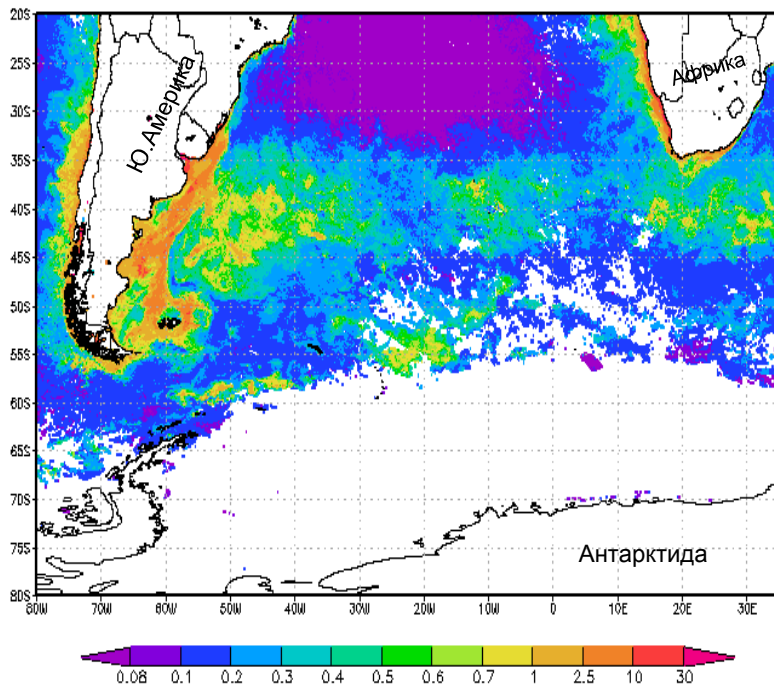
Меридиональная и широтная изменчивость продукционных характеристик фитопланктона

Первичная продукция и хлорофилл (17 рейс НИС «Ак. Сергей Вавилов», октябрь-ноябрь 2003 г.)



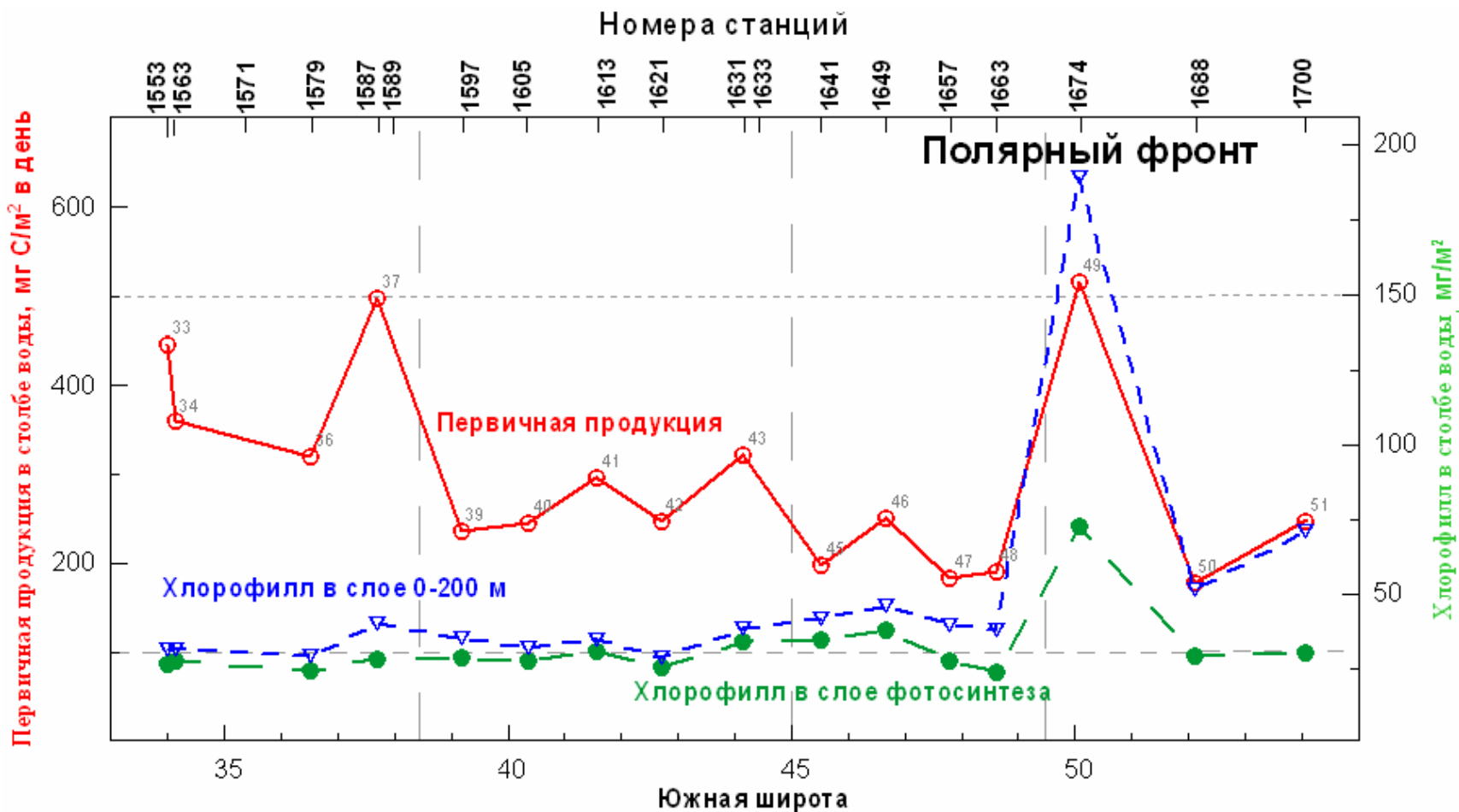
Первичная продукция (23 рейс НИС «Витязь», октябрь 1991 г.)

Изменчивость первичной продукции и хлорофилла на Полярном фронте в Атлантическом секторе Южного океана



█ Гринвичский меридиан
 █ Пролив Дрейка

Изменчивость первичной продукции и хлорофилла во фронтальных зонах Южного океана (район Гринвичского меридиана)



Октябрь-ноябрь 2004 г.

Продуктивность во фронтальных зонах Южного океана может быть в 4-8 раза выше, чем в окружающих водах.

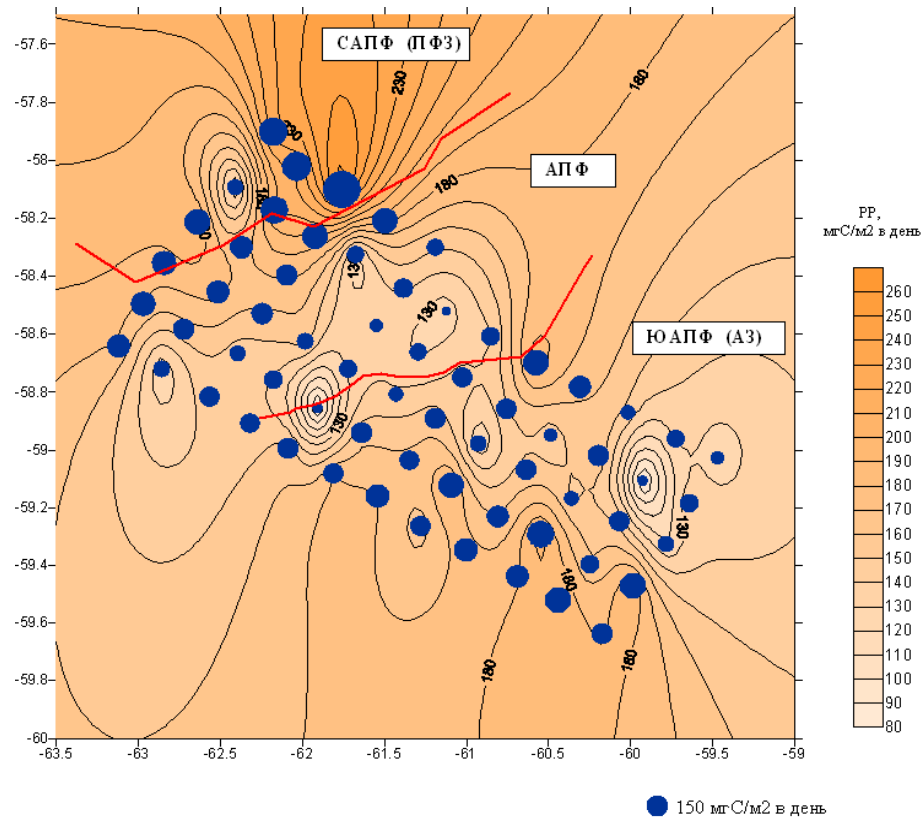
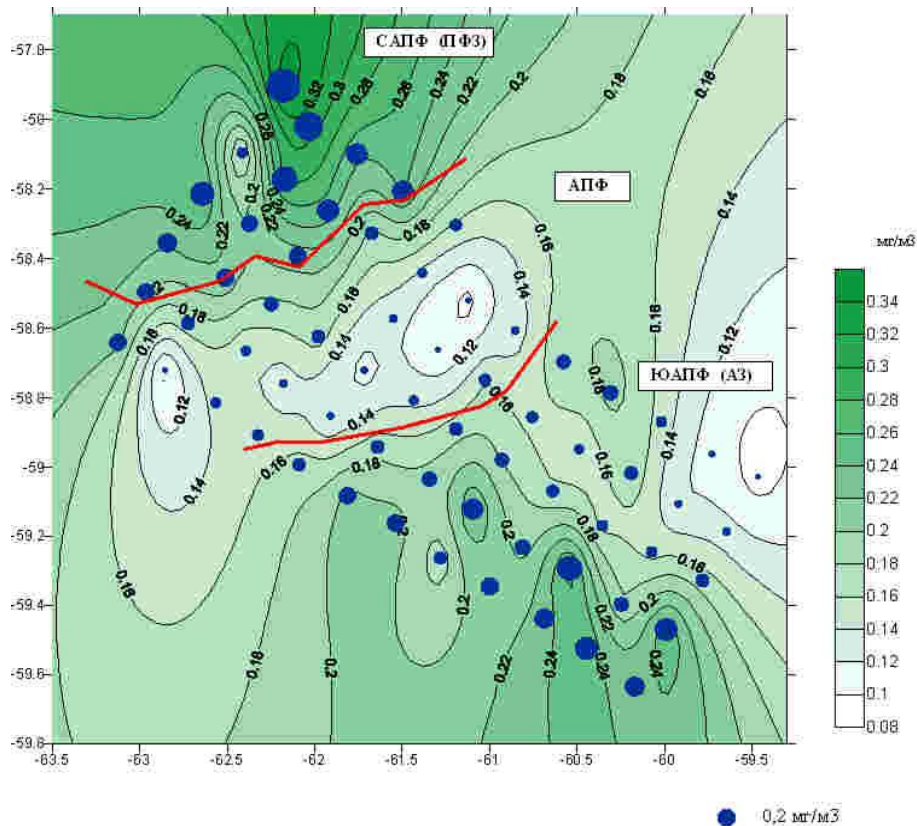
Концентрация хлорофилла, как показатель биомассы фитопланктона, более изменчивый (в 3-7 раз) параметр, чем первичная продукция.

Это объясняется влиянием эколого-физиологических адаптивных механизмов на процесс ассимиляции углерода.

Примерами таких механизмов могут служить:

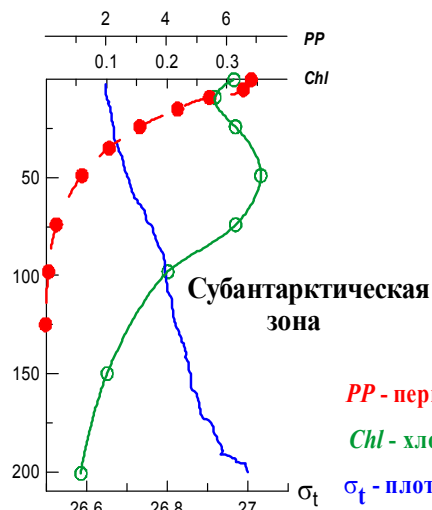
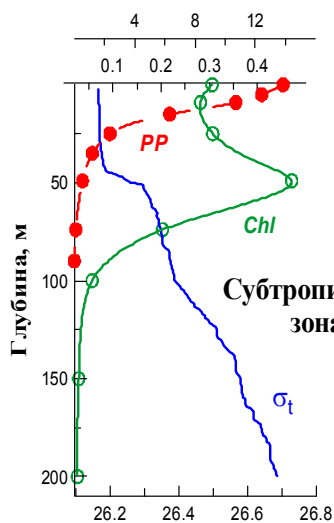
1. Изменения прозрачности воды и, как следствие, слоя фотосинтеза при увеличении или уменьшении плотности популяции фитопланктона.
2. Изменения ассимиляционного потенциала клеток, связанной с вариабельностью биотических и абиотических (температура, биогены, интенсивность выедания и др.) факторов.
3. Процессы световой адаптации и др.

Мезомасштабная изменчивость первичной продукции и хлорофилла в проливе Дрейка

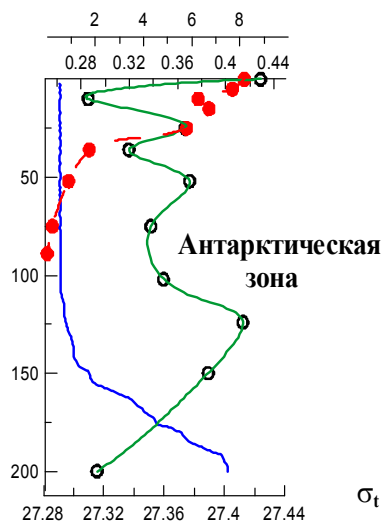
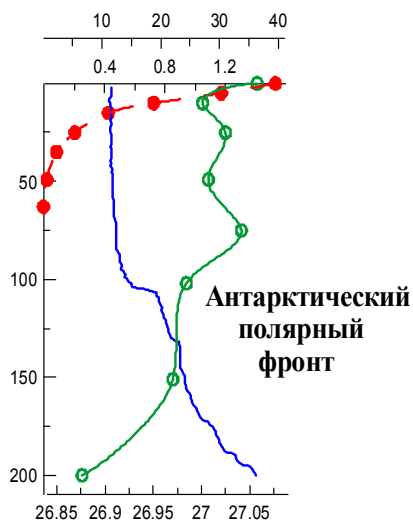


На полигоне 50 X 100 миль концентрация хлорофилла изменялась в 4 раза, а первичная продукция в столбе воды – в 3 раза

Вертикальное распределение первичной продукции и хлорофилла в различных широтных зонах южной Атлантики и Южного океана



PP - первичная продукция
Chl - хлорофилл "а"
 σ_t - плотность воды

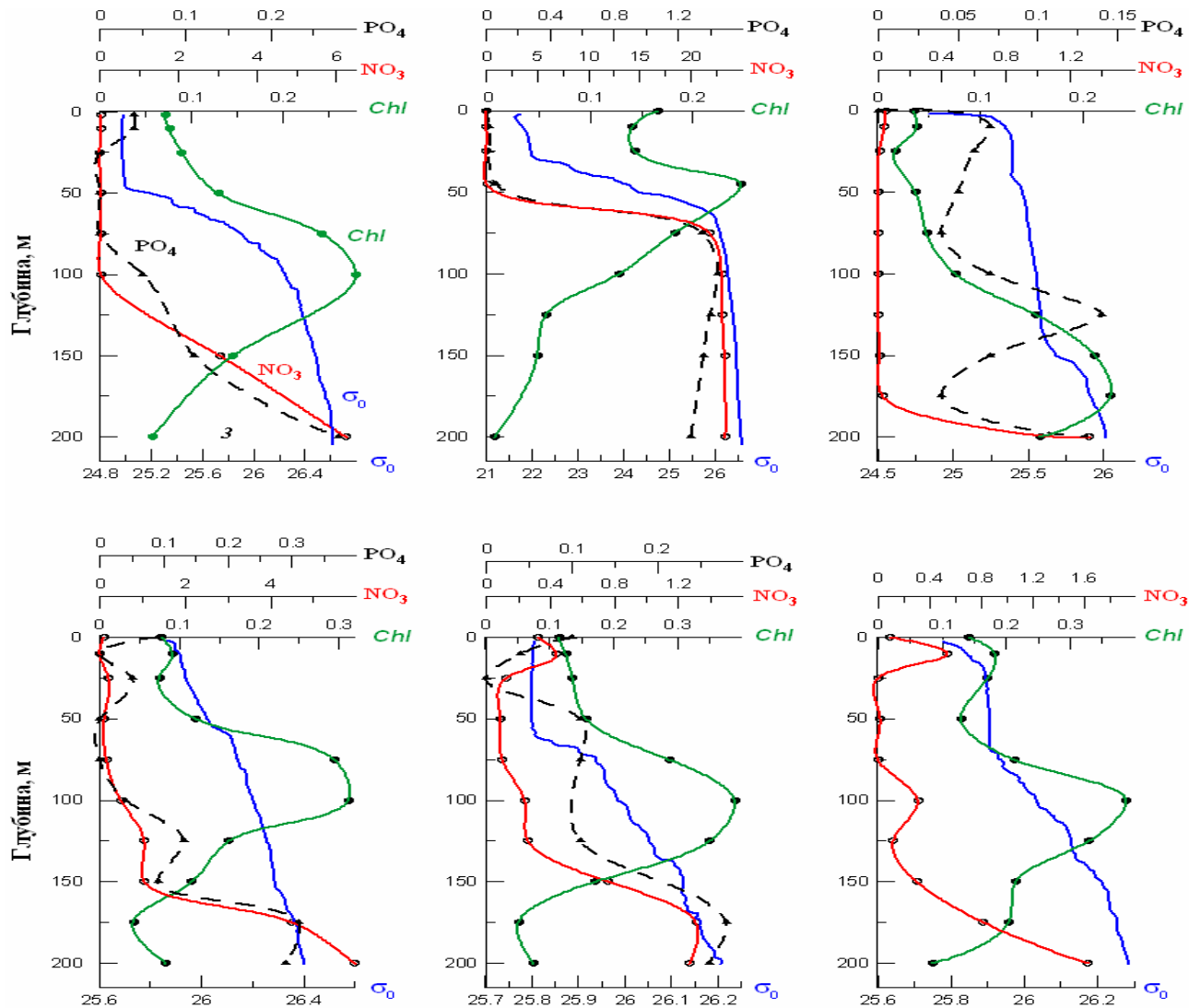


Субтропики –
глубинный
максимум хлорофилла
на нижних горизонтах
слоя фотосинтеза.

Субантарктика –
«размывание» этого
максимума.

Антарктика -
равномерное
распределение Chl по
глубинам, часто
с аномально
высокими величинами
ниже слоя фотосинтеза.

Глубинный максимум хлорофилла в субтропических и тропических водах Атлантики

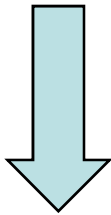


Chl - хлорофилл "а"
 σ_t - плотность воды

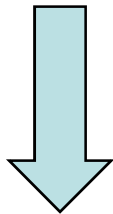
PO_4 - концентрация фосфатов
 NO_3 - концентрация нитратов

Основные типы вертикального распределения хлорофилла в водах разной продуктивности

Олиготрофные районы



Устойчивая стратификация водного столба и лимитирование роста и фотосинтеза основными биогенными элементами в ВПС



Наличие глубинного максимума хлорофилла

Эвтрофные районы

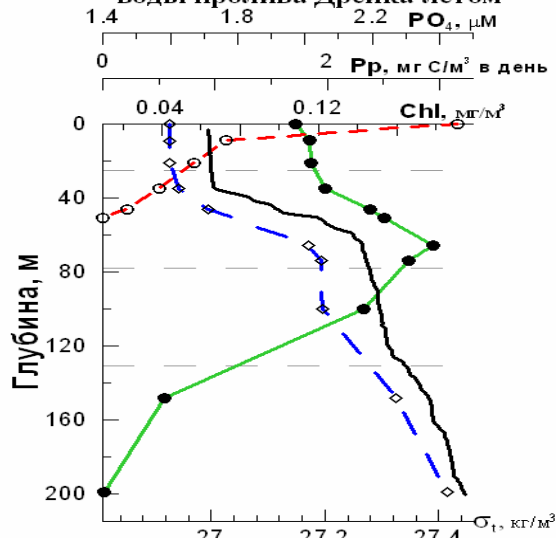
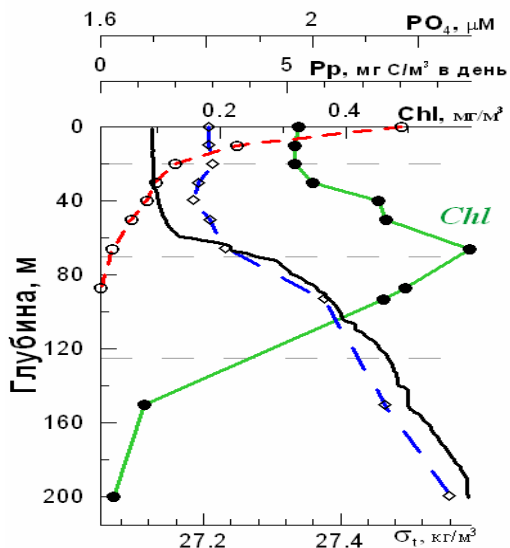
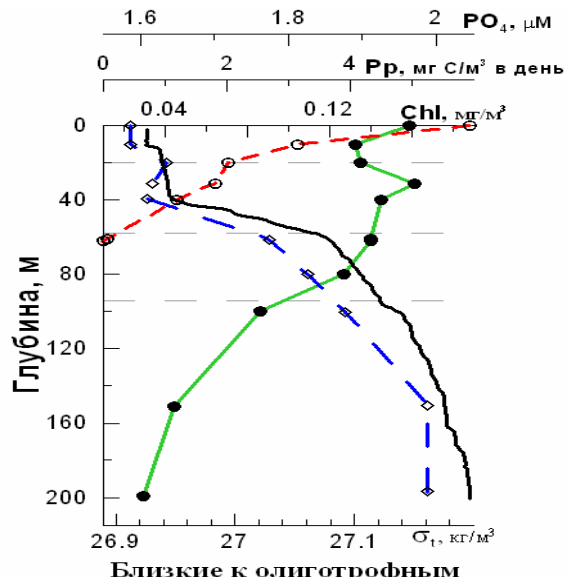
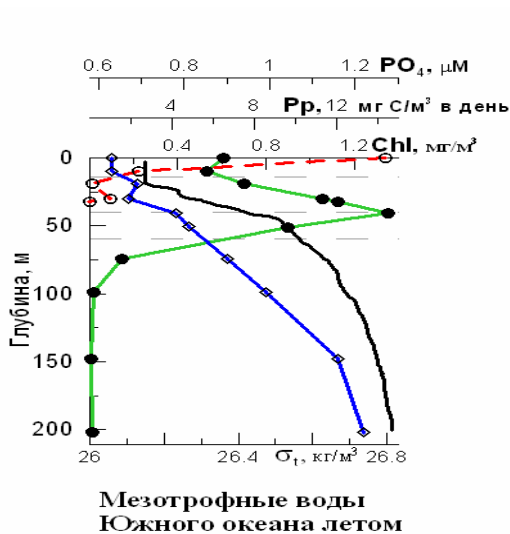


Активное вертикальное перемешивание, транспорт биогенов в зону фотосинтеза



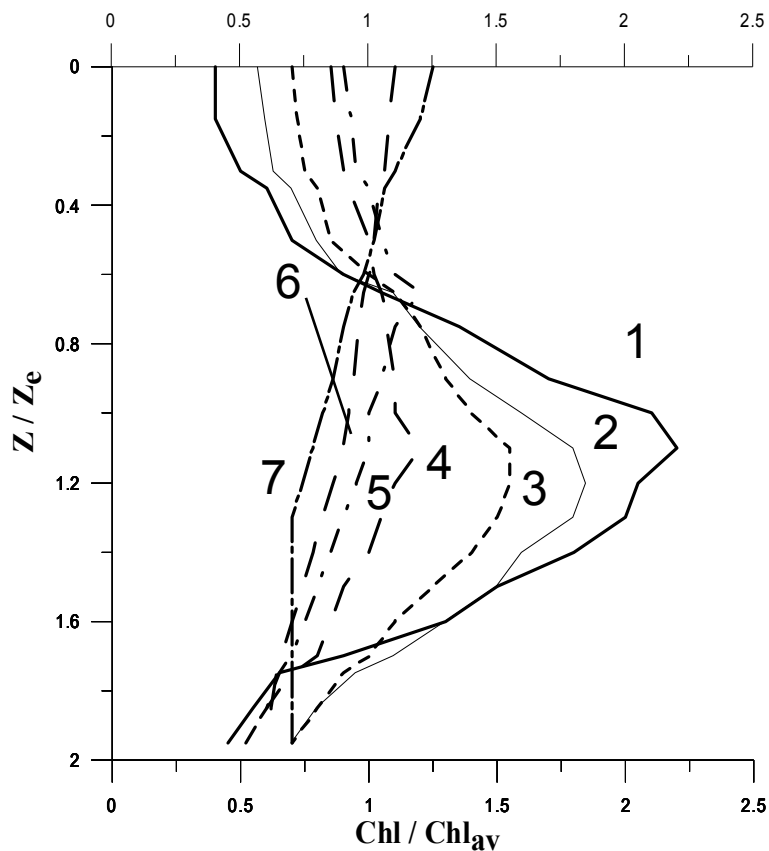
Равномерное распределение хлорофилла в ВПС

Примеры исключений из этого правила



- Наличие глубинных максимумов хлорофилла в мезотрофных и эвтрофных водах
- Равномерное распределение хлорофилла в водах, близких к олиготрофным

Зависимость вертикального профиля хлорофилла от его концентрации на поверхности (Morel, Berthon, 1989)



Градации трофности по концентрации хлорофилла на поверхности (мг/м³)

- 1 - ≤ 0.05
- 2 - 0.05 - 0.15
- 3 - 0.15 - 0.30
- 4 - 0.30 - 0.45
- 5 - 0.45 - 1.50
- 6 - 1.50 - 5.00
- 7 - ≥ 5.00

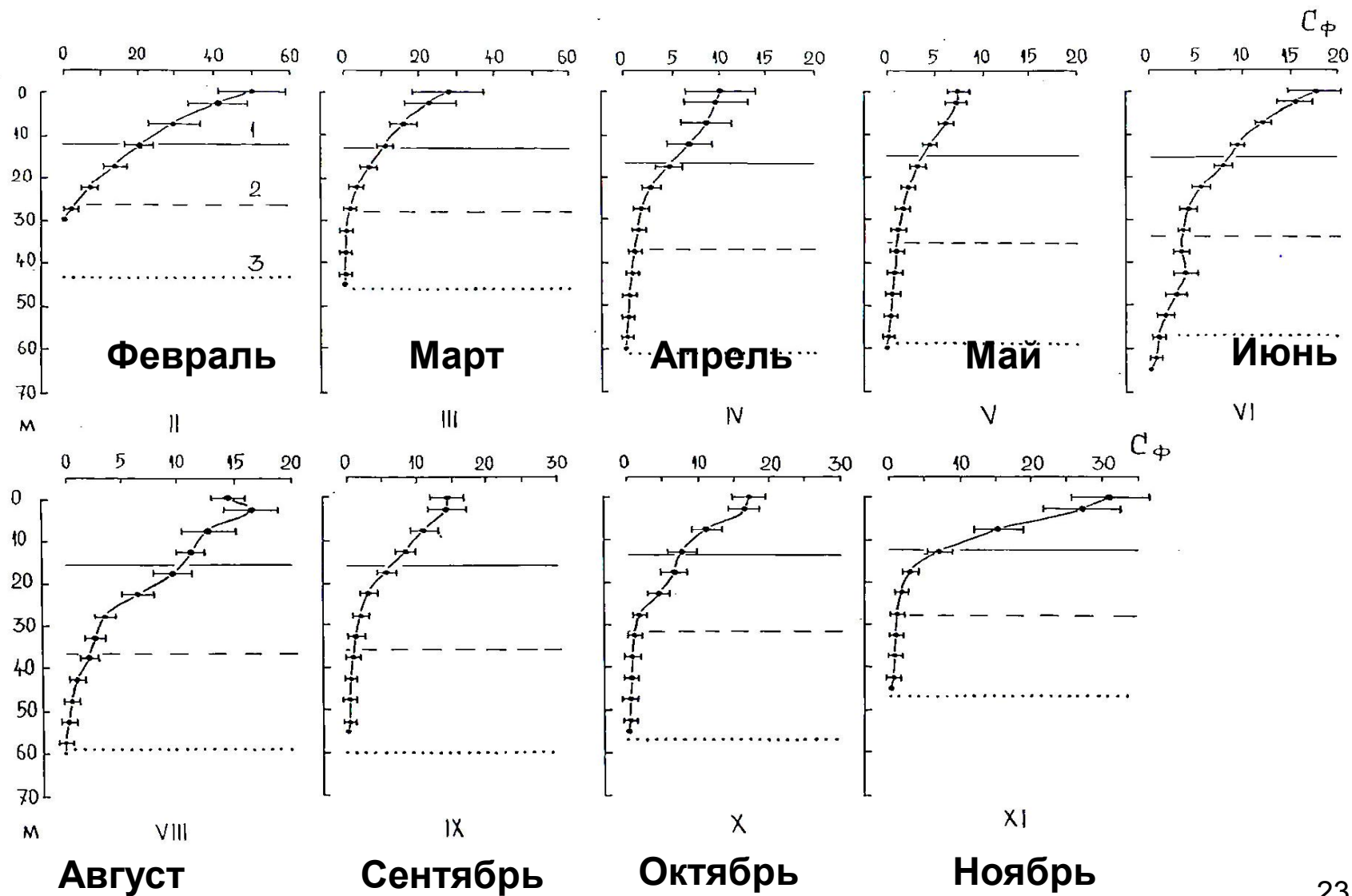
Z / Z_e - глубина, нормированная по толщине слоя фотосинтеза

Chl / Chl_{av} - хлорофилл "а", нормированный по средней величине в слое фотосинтеза

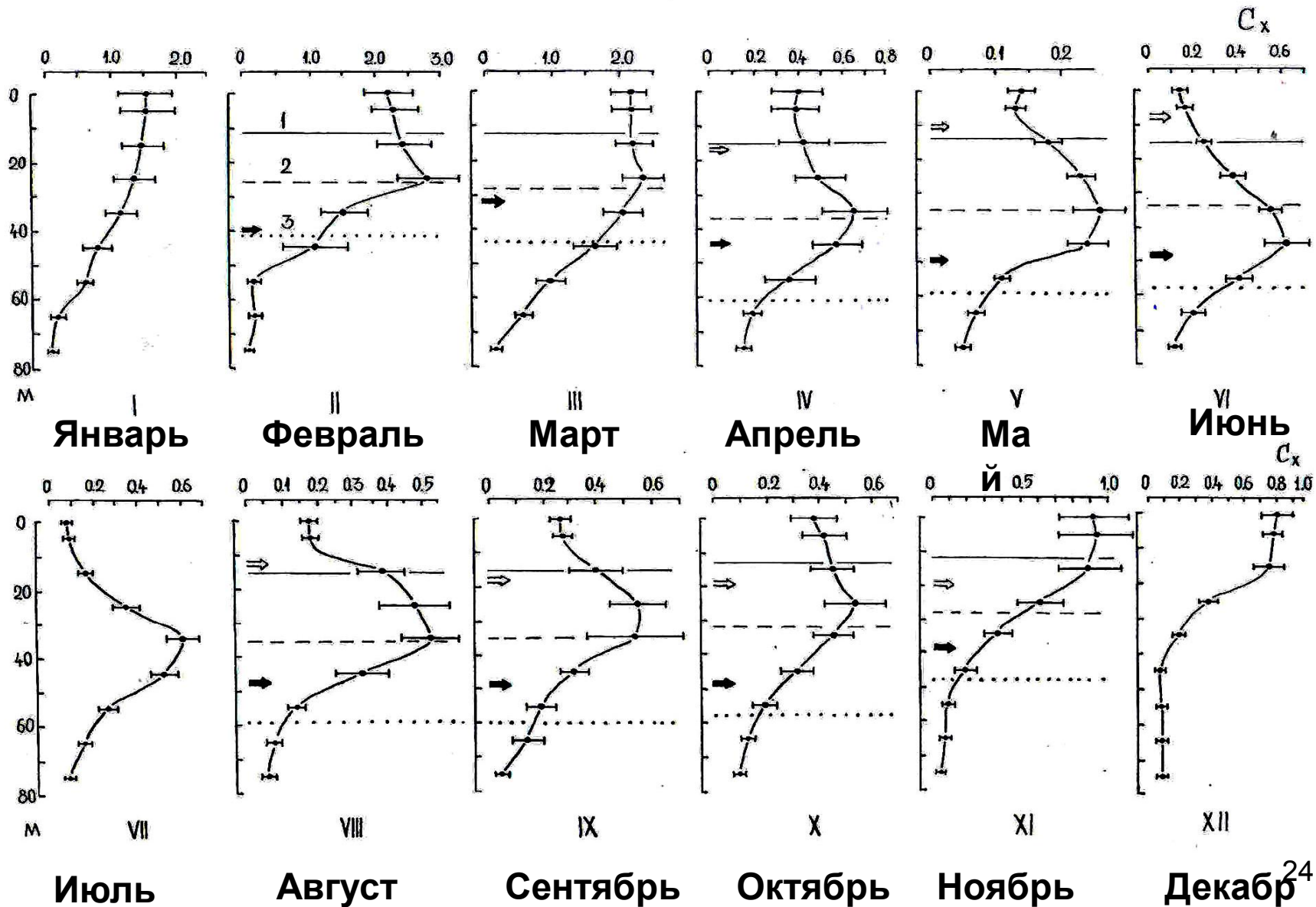
Сезонная изменчивость первичной продукции и хлорофилла (Longhurst, 1995)

- Восемь типов распределения первичной продукции по степени выраженности максимума и его локализации в годовом цикле.
- 1. Полярный тип с пиком первичной продукции, обусловленным максимумом солнечной радиации в летние месяцы.
- 2. Весенний пик первичной продукции с лимитированием низким содержанием биогенных элементов в течение остальной части года.
- 3. Зимне-весенний максимум продукции и невысокие ее значения в другие месяцы, также обусловленные недостатком биогенов.
- 4. Малая амплитуда сезонных изменений продукционных показателей, связанная с ветровой активностью и интенсивным перемешиванием (Антарктика).
- 5. Муссонный тип с ярко выраженной сезонностью.
- 6. Классический бимодальный тип распределения первичной продукции и хлорофилла в течение года с максимумами весной и осенью.
- 7. Летний максимум продукции в шельфовых районах.
- 8. Переходный тип сезонного цикла РР для прибрежных дивергенций.

Сезонные изменения вертикального распределения первичной продукции в глубоководных районах Черного моря



Сезонные изменения вертикального распределения хлорофилла в глубоководных районах Черного моря



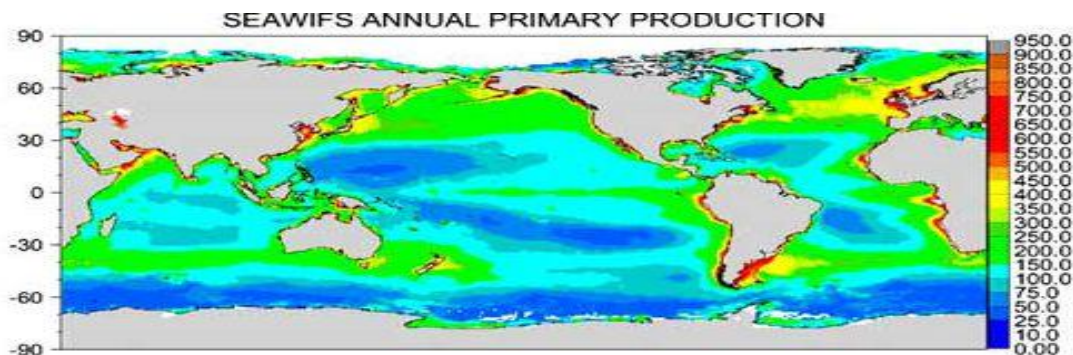
Изменения годовых величин первичной продукции в 1979–2002 гг. (Gregg et al., 2003).

Регион	Площадь, 10 ⁷ км ²	Изменчивость*, %
Северная Атлантика	1.83	-6.7
Северная Пацифика	2.32	-9.3
Северная центральная Атлантика	1.53	-7.0
Северная центральная Пацифика	3.22	-5.8
Северная часть Индийского океана	0.46	13.6
Экваториальная Атлантика	1.15	6.9
Экваториальная Пацифика	3.72	-3.0
Экваториальная часть Индийского океана	1.37	8.8
Южная Атлантика	1.20	-3.8
Южная Пацифика	2.69	-14.0
Южный Индийский океан	1.77	-4.2
Антарктика	8.28	-10.4
Мировой океан	29.73	-6.3

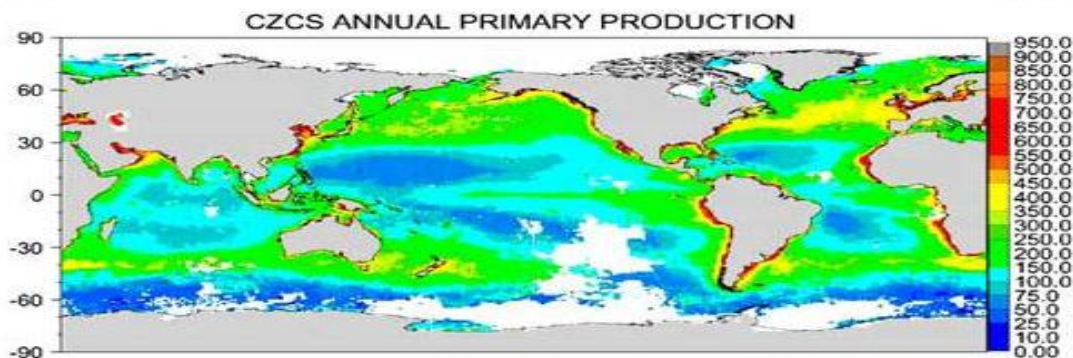
На рубеже веков (1979 – 2002 гг.)

- Годовая величина первичной продукции снизилась в среднем на 6.3% для всего Мирового океана
- Снижение годовых величин первичной продукции произошло на 7, 9 и 10% в Северной Атлантике, Северной Пацифике и Антарктике, соответственно
- Общее уменьшение годовой первичной продукции в этих регионах оценивается в 2.0×10^9 тС (70% от глобального сокращения)
- В экваториальных районах Атлантики и Индийского океана произошло увеличение годовой первичной продукции на 7 и 9%, соответственно
- В экваториальной Пацифике годовая первичная продукция снизилась на 3%
- По-видимому, вышеперечисленные изменения нельзя признать существенными, т. к., скорее всего, они находятся в пределах погрешности методов расчета

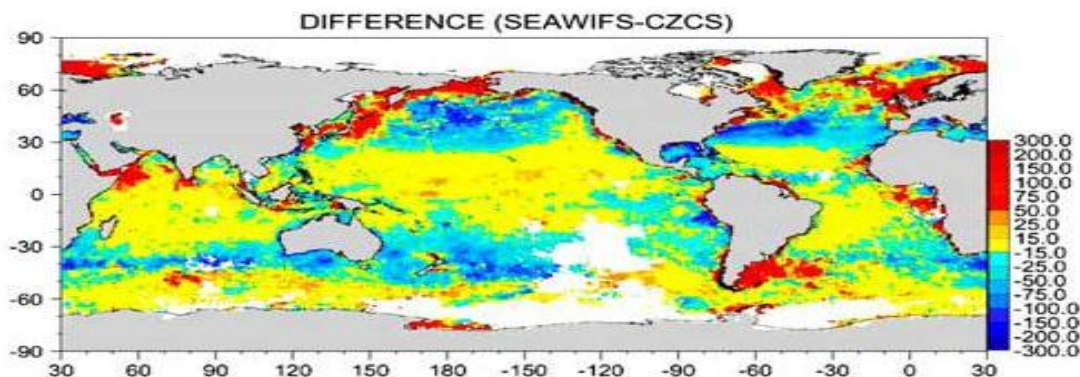
Сравнение годовых величин первичной продукции (гС/м²) по данным CZCS (1979-1986) и SeaWiFS (1997-2002) (Gregg et al., 2003).



SeaWiFS - эра



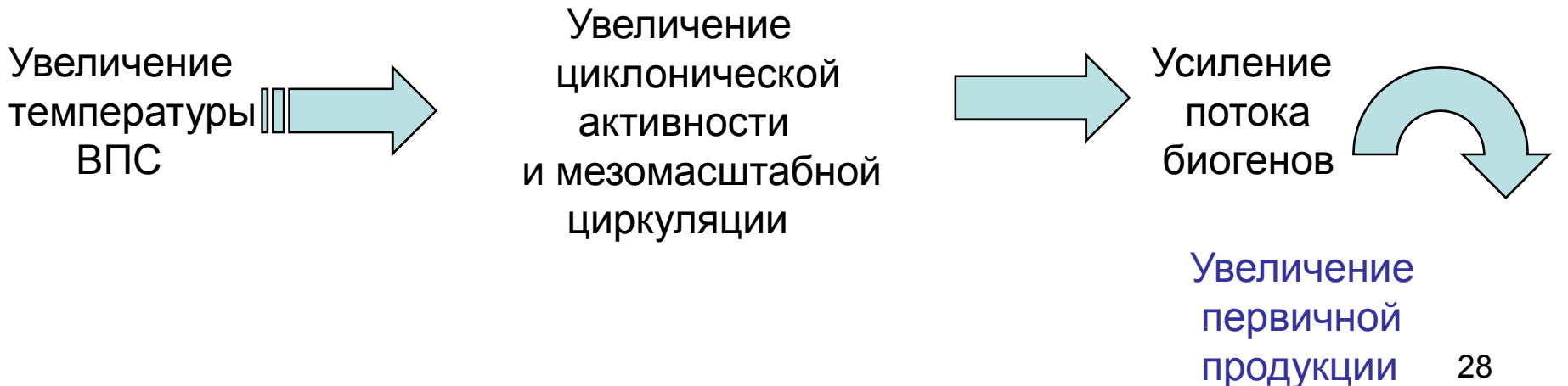
CZCS - эра



Различия

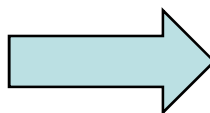
Теплые тона – увеличение
первичной продукции
Холодные тона – ее уменьшение

Межгодовая изменчивость может быть связана с повышением глобальной температуры

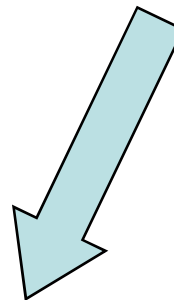


Если осуществляется первый сценарий, то при росте концентрации CO_2 , увеличении температуры и снижении первичной продукции процесс замыкается, что приводит к еще большему возрастанию концентрации углекислого газа в атмосфере

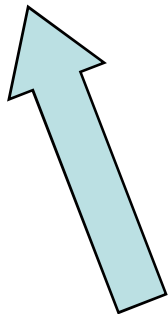
**Повышение
концентрации
 CO_2**



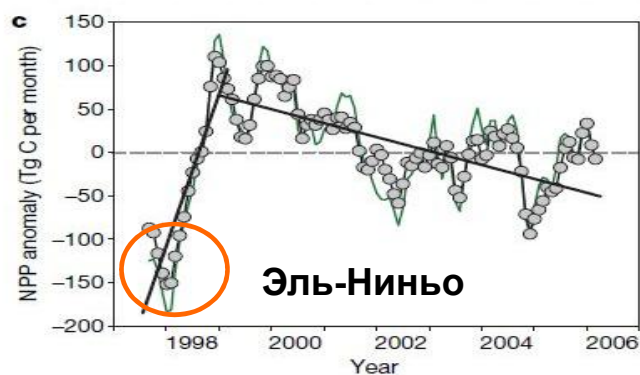
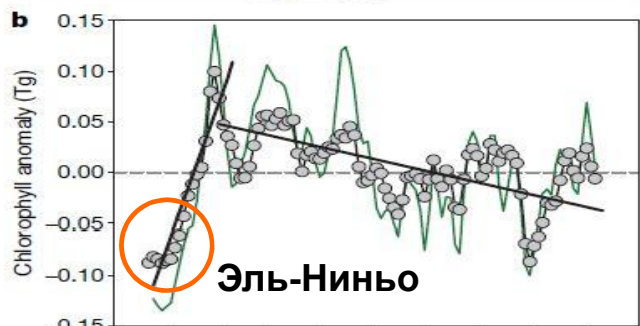
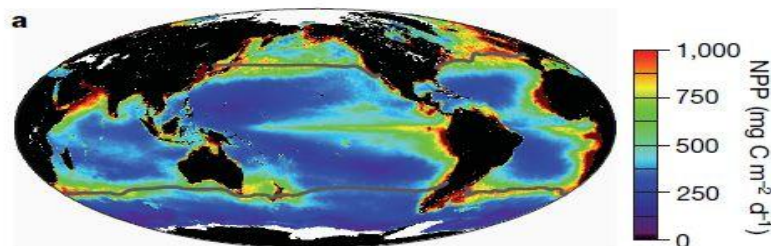
**Увеличение
температуры**



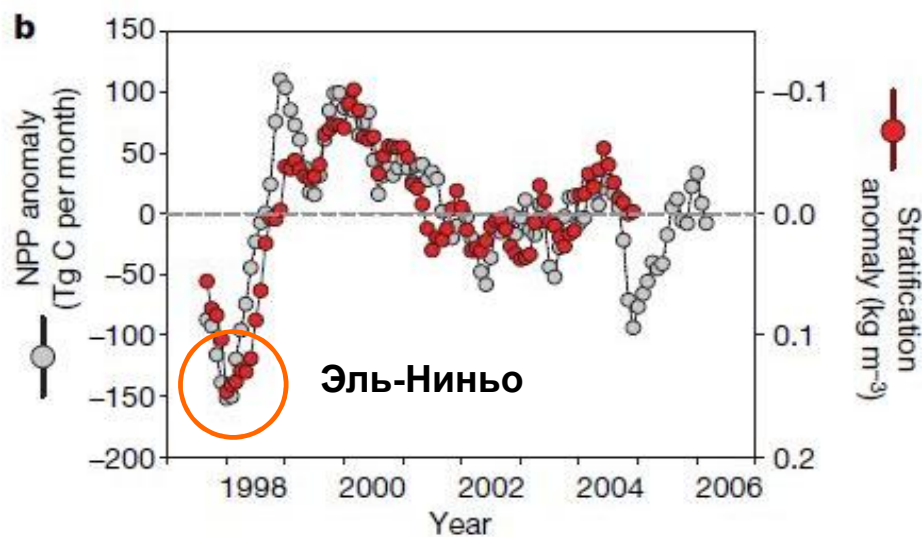
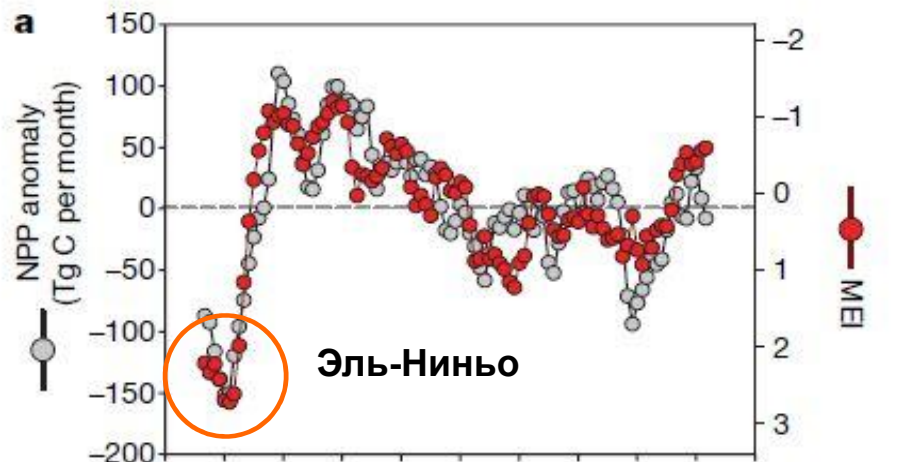
**Уменьшение
первичной
продукции**



Первичная продукция и климатические изменения (1997-2006) (Behrenfeld et al., 2006)



Распределение и тренды годовой первичной продукции и хлорофилла



Аномалии годовой первичной продукции, изменчивость стратификации и MEI

Классификации моделей первичной продукции

По принципу использования входящих параметров модели (хлорофилл, приходящая радиация) – 4 типа (Carr et al., 2006):

- 1. Интегрированные по глубине и длинам волн (WIDI – wavelength- and depth-integrated)
- 2. С вертикальным разрешением по глубине и интегрированные по длинам волн (WIDR - wavelength-integrated and depth-resolved)
- 3. С вертикальным разрешением как по глубине, так и по длинам волн (WRDR – wavelength- and depth-resolved)
- 4. Модели, использующие расчеты глобальной циркуляции (GCM-based models)
- В настоящее время существует более 30-ти моделей расчета первичной продукции, использующихся для оценки ее годовой величины

По основному биотическому компоненту, из которого рассчитывается первичная продукция (Behrenfeld, Falkowski, 1997; Behrenfeld et al., 2005):

Хлорофилл (Chl-based models)

$$\Sigma PP = Chl_0 \times Z_{eu} \times AN_{max} \times DL \times f(E_0)$$

Углерод (C-based models)

$$\Sigma PP = C \times \mu \times Z_{eu} \times f(E_0), \text{ где}$$

ΣPP – первичная продукция в столбе воды;

Chl_0 – концентрация хлорофилла «а» на поверхности;

AN_{max} – максимальная удельная скорость фотосинтеза (ассимиляционное число);

C – биомасса фитопланктона;

μ - скорость роста фитопланктона;

DL – длительность светового дня;

Z_{eu} – толщина эвфотического слоя (1% E_0);

$f(E_0)$ – параметр фотоадаптации

Спутниковые данные для модельных расчетов первичной продукции

Для Chl-based models

- Концентрация хлорофилла на поверхности
- Приходящая фотосинтетически активная солнечная радиация
- Поверхностная температура (T_0) для расчета AN_{\max} и μ :

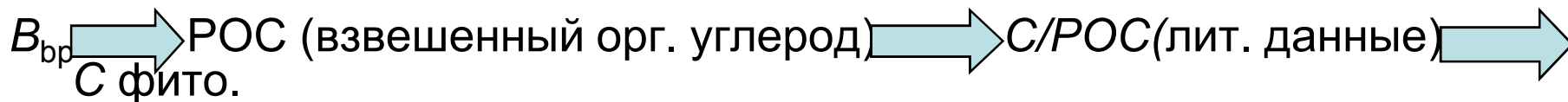
$$AN_{\max} = 0.118 \times T_0 + 1.25 \text{ (Megard, 1972)}$$

$$\mu = 10^{0.0275 \times T_0 - 0.07} \text{ (Erppley, 1972)}$$

- Глубина эвфотического слоя

Для C-based models

- Коэффициент обратного рассеивания (b_{bp}) для расчета биомассы фитопланктона:



Годовые величины первичной продукции Мирового океана, рассчитанные по разным моделям

	Σ PP (Gt C)	Тип модели
CbPM	52	C-based
VGPM	44	Chl-based, WIDI
<i>Behrenfeld et al., 2005</i>	67	C-based, WIDI
<i>Antoine, Morel, 1996</i>	46	Chl-based, WRDR
<i>Longhurst et al., 1995</i>	50	Chl-based
<i>Moore et al., 2001</i>	48	GCM
<i>Carr et al., 2006</i>	51	Средняя из 31 модели

Годовые величины первичной продукции (Гт С) по данным разных авторов (*Behrenfeld, Falkowski, 1997* с изменениями и дополнениями). В скобках - % от глобальной величины.

	Behrenfeld, Falkowski, 1997a	Antoine et al., 1996	Longhurst et al., 1995	Eppley, Peterson, 1979	Виноградов и др., 1996
Мировой океан	43.5	46.9	50.2	27.1	103
Тихий океан	16.7 (38.3)**	20.0 (42.7)	19.4 (38.6)	9.1 (33.7)	45.6(44)
Атлантический океан	11.9 (27.5)	11.3 (24.0)	13.7 (27.3)	8.6 (31.6)	30.2(33)
Индийский океан	6.2 (14.2)	8.1 (17.3)	6.5 (13.0)	6.0 (22.0)	26.7(26)
Арктика	0.4 (0.9)	0.6 (1.3)	1.4 (2.8)	0.1 (0.5)	
Южный океан	8.3 (19.1)	6.9 (14.7)	9.2 (18.3)	3.3 (12.2)	
Олиготрофные районы*	10.3	16.2			27.5
Мезотрофные районы*	22.0	22.5			55.9
Эвтрофные районы*	3.6	2.5			19.6

Точность оценки первичной продукции Мирового океана

- Величина годовой первичной продукции Мирового океана, рассчитанная по разным моделям варьирует от 44 до 67 Gt C
- Разница составляет 23 Gt C, что приблизительно равняется годовой первичной продукции Тихого океана
- Таким образом, точность оценки составляет \pm океан
- Модельные величины первичной продукции отличаются от измеренных *in situ* в 2 раза в большую или меньшую сторону
- Большинство моделей занижает величину первичной продукции
- Точность расчета не зависит от сложности или типа модели

Преимущества и трудности использования спутниковой информации

- Несомненное достоинство – пространственно-временной охват
- Долговременную изменчивость продукционных характеристик фитопланктона на современном уровне невозможно оценить без спутниковых данных
- Без спутниковой информации невозможно провести оценку глобальной величины первичной продукции
- Для оценки первичной продукции приходится использовать среднемесячные величины, как наиболее репрезентативные
- Это приводит к недооценке первичной продукции из-за отсутствия данных, недоступных из-за облачности, в наиболее продуктивный период месяца

Некоторые источники ошибок оценки первичной продукции

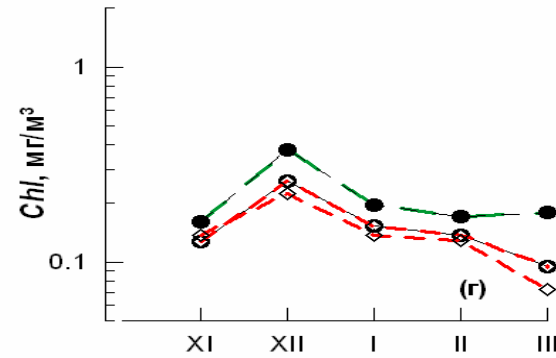
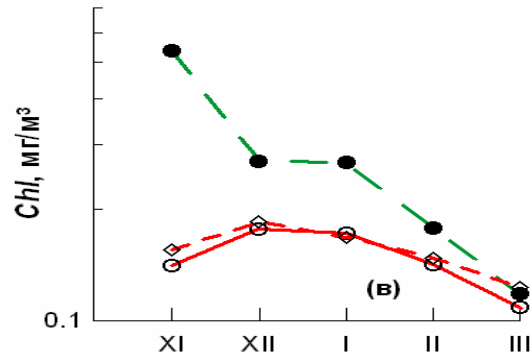
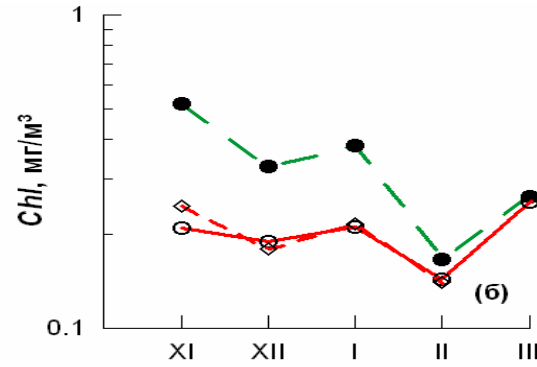
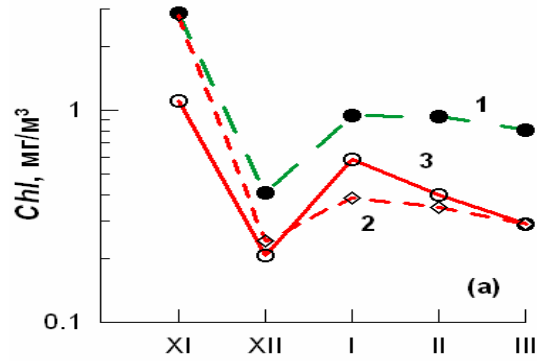
Ошибки, связанные с использованием спутниковой информации

- Недооценка из-за пропуска периодов повышенной продуктивности (напр.: «цветение» фитопланктона, кратковременное увеличение продукции во время прохождения циклонов и др.)
- Трудности определения особенностей вертикального распределения фитопланктона
- Несовершенство алгоритмов расчета содержания хлорофилла и биомассы фитопланктона
- Недостаток данных для разработки региональных алгоритмов расчета биооптических показателей

Ошибки, связанные с несовершенством моделей расчета первичной продукции

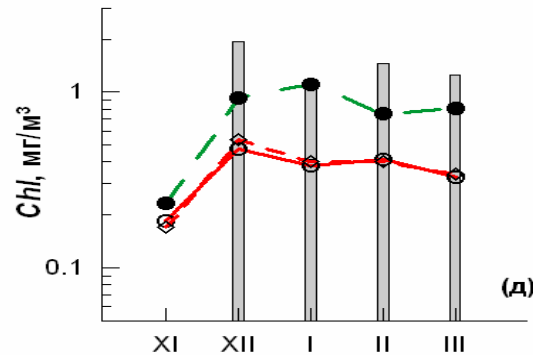
- Недостаток экспериментальных данных для понимания закономерностей формирования первичной продукции в океане (напр.: связь параметров адаптации: ассимиляционного числа, отношения хлорофилл/углерод фитопланктона с абиотическими и биотическими факторами среды)
- Ограниченность базы данных об особенностях вертикального распределения хлорофилла и удельного содержания хлорофилла в клетках фитопланктона
- Практическое отсутствие региональных моделей расчета первичной продукции

Сезонные изменения хлорофилла в различных районах пролива Дрейка по спутниковым и экспедиционным данным



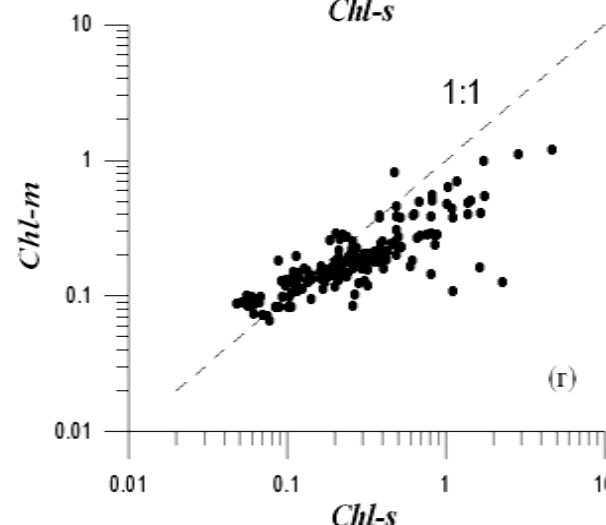
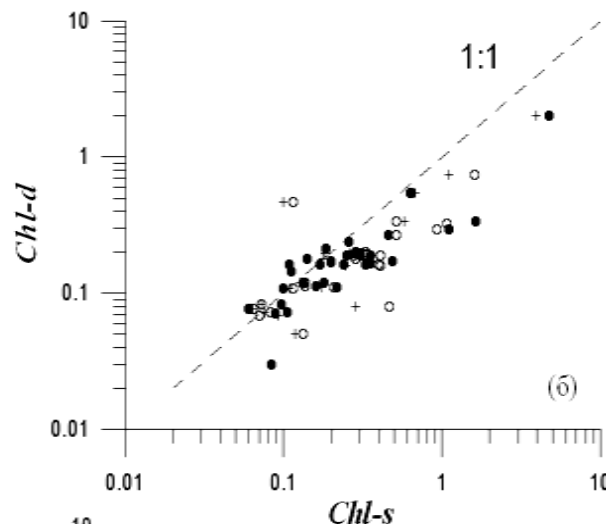
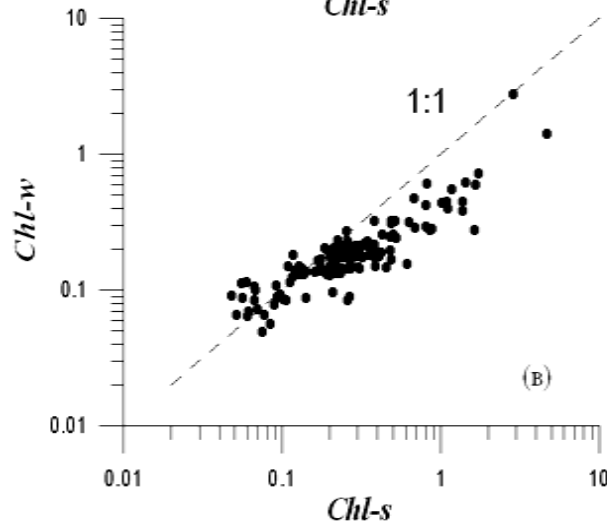
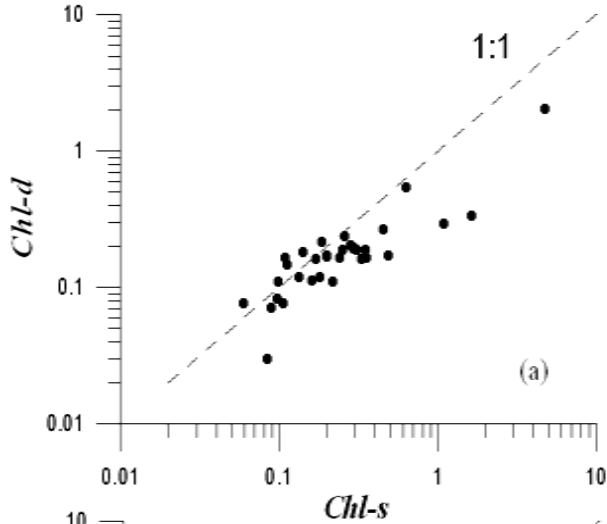
Экспедиционные
данные

Спутниковые
данные



Величины спутникового и экспедиционного хлорофилла в проливе Дрейка

Одновременные подспутниковые измерения

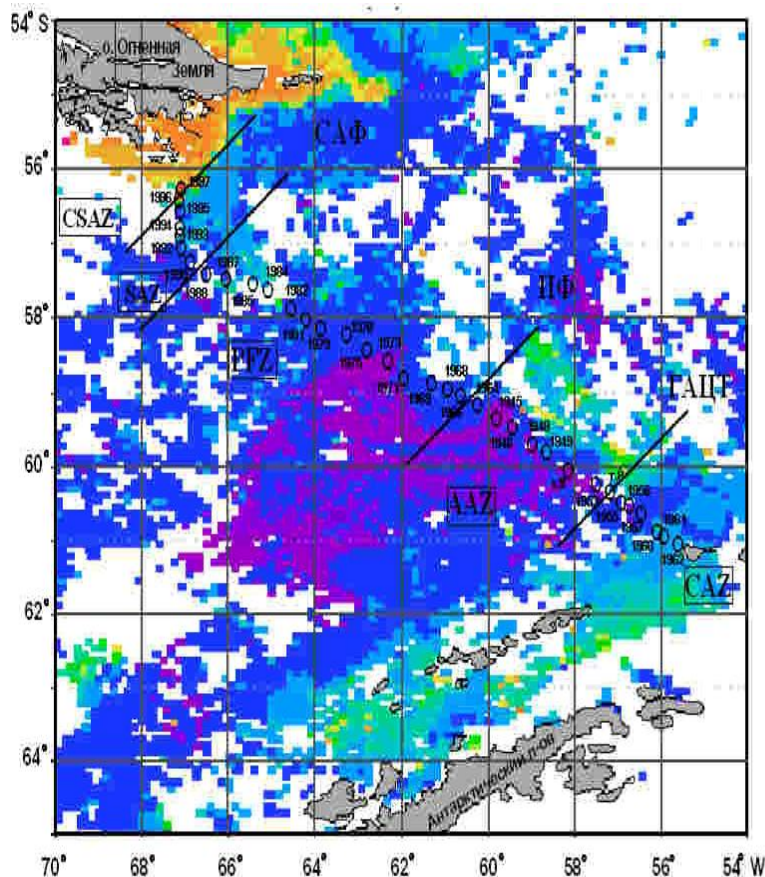


В проливе Дрейка стандартный алгоритм NASA занижает истинные величины при концентрациях выше $\sim 0.2 \text{ мг/м}^3$

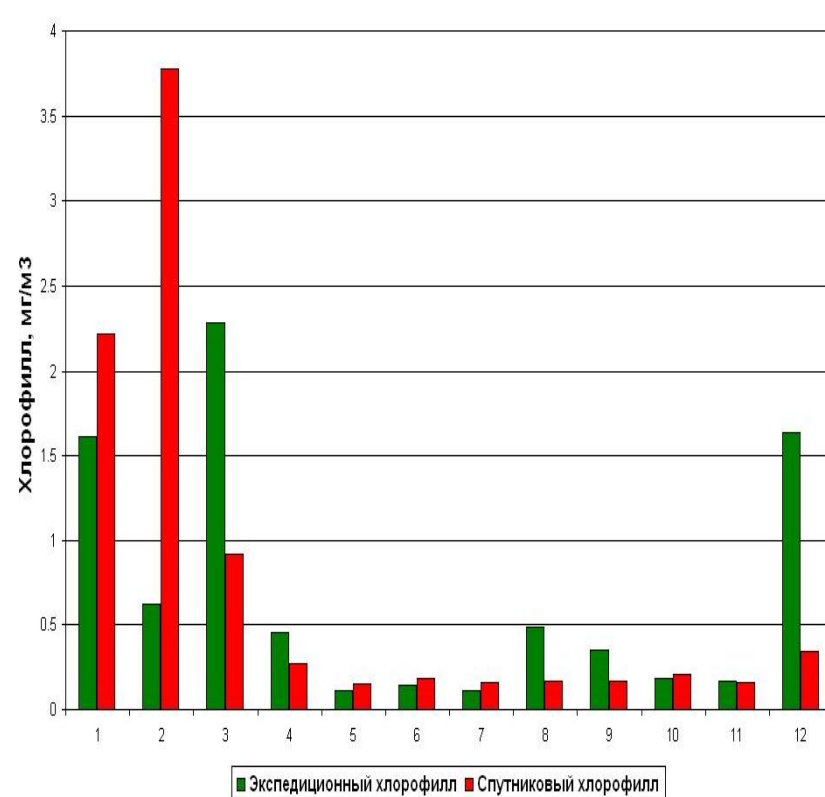
Средние за 8 дней величины

Средние за месяц величины

Сравнение величин экспедиционного и спутникового хлорофилла в проливе Дрейка (ноябрь 2007 г.)

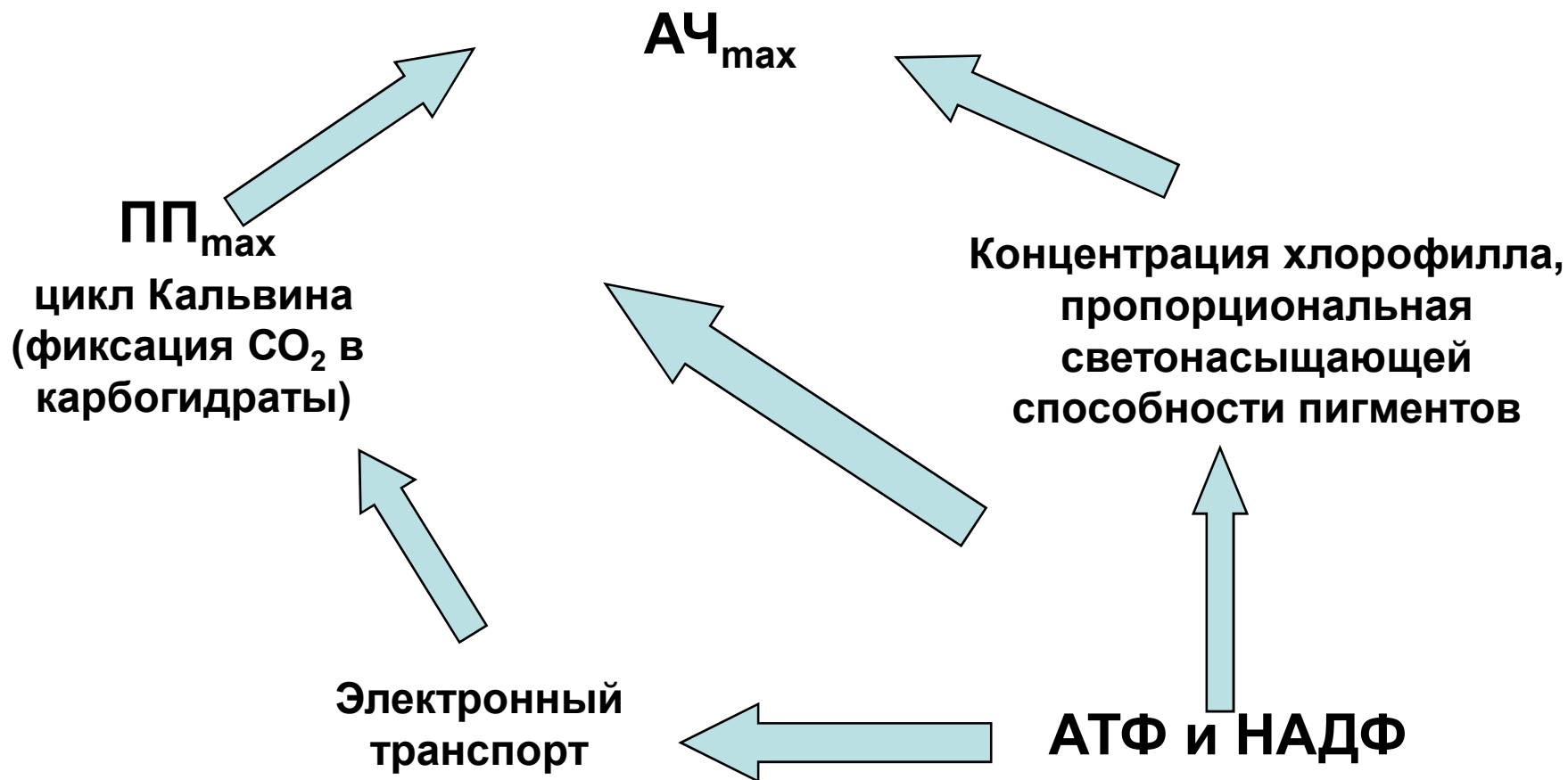


Хлорофилл SeaWiFS в проливе Дрейка 17-24 ноября 2007 г.



Подспутниковые измерения хлорофилла «а»

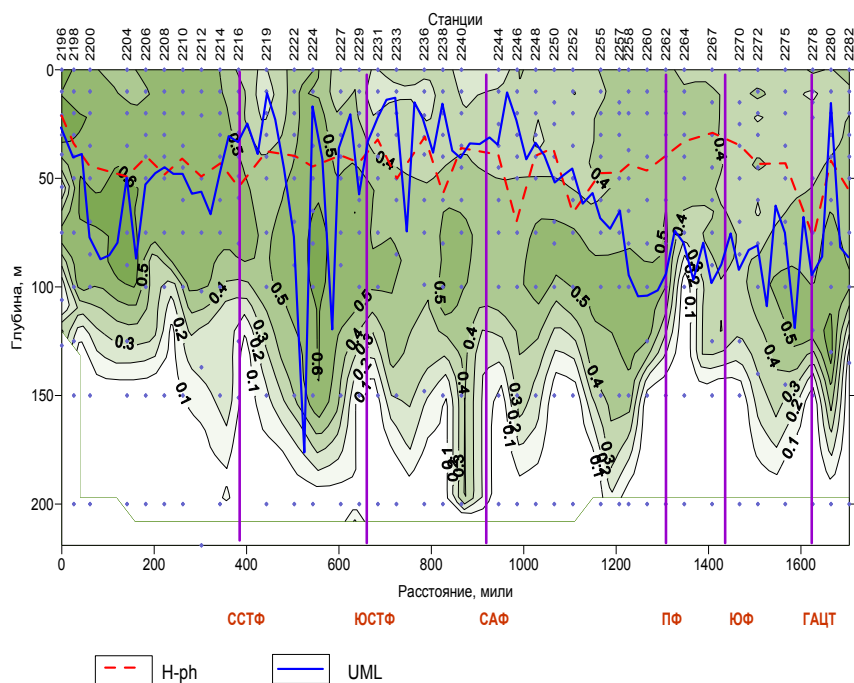
Изучение фотофизиологии фитопланктона – один из путей повышения эффективности оценки первичной продукции



Относительная переменная флуоресценция, как показатель эффективности работы электронно-транспортной цепи

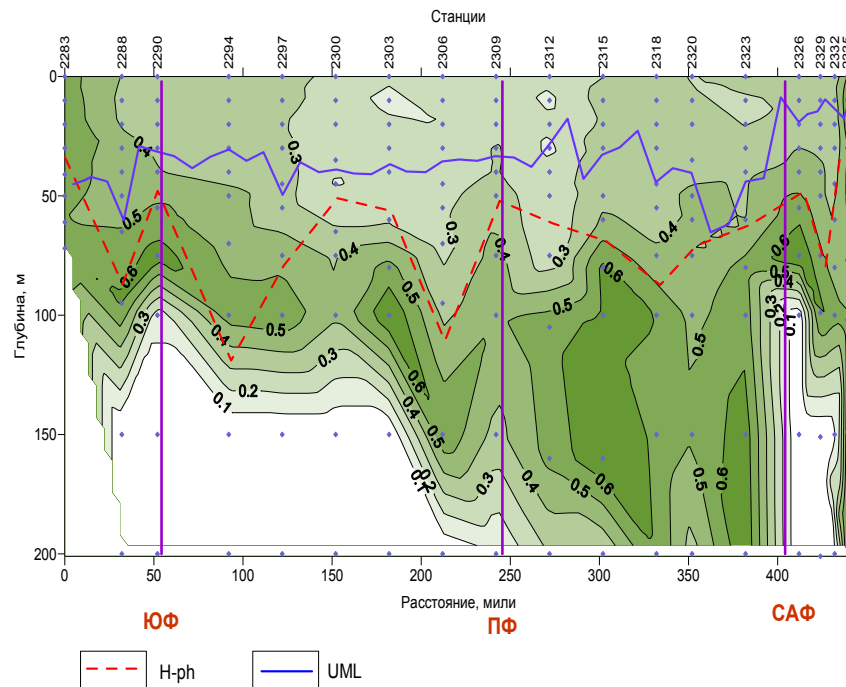
Пространственная изменчивость относительной переменной флуоресценции на разрезе SR-2 и в проливе Дрейка

Переменная флуоресценция (Fv/Fm) на разрезе SR-2



Разрез SR-2

Переменная флуоресценция (Fv/Fm) на разрезе в проливе Дрейка, январь 2010 г.



Пролив Дрейка



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Пути совершенствования оценок первичной продукции

- **Увеличение количества натуральных измерений скорости фотосинтеза параллельно с абиотическими и биотическими факторами среды**
- **Расширение баз данных по физиологическим показателям фитопланктонных сообществ (напр.: параметры световых кривых фотосинтеза, квантовый выход, коэффициент поглощения света пигментной системой, удельное содержание хлорофилла в клетках)**
- **Разработка региональных алгоритмов расчета хлорофилла и первичной продукции**
- **Совершенствование моделей - два пути:
Улучшение качества входящих параметров и коэффициентов, основанных на совершенствовании знаний экологии и физиологии океанического фитопланктона.
Усложнение формул расчетных алгоритмов за счет увеличения входящих параметров.**

Малопараметрическая диагностическая модель первичной продукции в столбе воды

- Относится к интегрированным по спектру и глубине
- В модели использованы коэффициенты, выведенных как средние величины из базы данных по продукционным показателям фитопланктона Южного океана
- Входящие параметры – концентрация поверхностного хлорофилла (Chl_0) и приходящая солнечная радиация (I_0).
- $\Sigma PP = k \times \psi \times Chl_0 \times I_0$,
- где ΣPP – первичная продукция в столбе воды, k – отношение величины суммарного содержания хлорофилла в слое фотосинтеза (Chl_{ph}) к концентрации этого пигмента на поверхности:
- $k = Chl_{ph} / Chl_0$
- ψ (индекс продуктивности) – отношение среднего для слоя фотосинтеза суточного ассимиляционного числа (САЧ) и приходящей подповерхностной облученности в диапазоне ФАР (I_0)
- $\psi = САЧ / I_0$
- Параметр ψ характеризует эффективность утилизации света фитопланктоном в столбе воды. Величина k представляет поправочный коэффициент для Chl_0 . Значения ψ и k рассчитаны, как средние величины для массива данных, собранного во время проведения экспедиций Института океанологии в районе Гринвичского меридиана и проливе Дрейка в октябре–ноябре 2004–2008 гг.
- Суммарная формула расчета
- $\Sigma PP = 24.034 \times Chl_0 \times I_0$

УДК 581.132:574.583

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ХЛОРОФИЛЛА “а” В ПРОЛИВЕ ДРЕЙКА В ВЕСЕННИЙ СЕЗОН

© 2011 г. А. Б. Демидов, С. А. Мошаров, В. И. Гагарин, Н. Д. Романова

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
e-mail: demspa@rambler.ru*

Поступила в редакцию 9.03.2010 г., после доработки 9.06.2010 г.

По результатам двух экспедиций, проведенных в октябре–ноябре 2007 и 2008 гг., изучены пространственные изменения первичной продукции и хлорофилла “а” в проливе Дрейка. На основании банка данных, собранных в 2004–2008 гг. в Атлантическом секторе Южного океана, для оценки продуктивности пролива Дрейка в этот период разработан и применен алгоритм расчета первичной продукции в столбе воды по величинам концентрации хлорофилла “а” на поверхности и приходящей солнечной радиации. По экспериментальным и модельным данным показано, что район Полярного фронта в октябре–ноябре является зоной низких величин первичной продукции ($<100 \text{ мгС/м}^2$ в день) и хлорофилла ($0,08\text{--}0,20 \text{ мг/м}^3$). Исходя из низких величин хлорофилла и относительно высоких значений феофитина “а” можно заключить, что в проливе Дрейка в октябре–ноябре фитопланктон находился в зимней стадии сезонной сукцессии в Антарктике и южной части Полярной фронтальной зоны. На севере этого района и в Субантарктике весенний прогрев приповерхностного слоя и образование пикноклина привели к массовому развитию фитопланктона с величинами хлорофилла на поверхности $>1 \text{ мг/м}^3$.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на повышенное внимание к изучению условий формирования первичной продукции (ПП) в Южном океане в рамках различных международных программ [например: 38, 54, 65, 71], существующих экспериментальных данных для этого региона недостаточно не только для формирования представлений об особенностях фотосинтеза фитопланктона высоких широт, но и для простого описания пространственно-временной изменчивости его продукционных характеристик. Такое утверждение справедливо, прежде всего, для открытых районов Южного океана в зоне действия Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Известно, что современные модели расчета интегральной для столба воды первичной продукции (ПП_{инт}) дают наименее адекватные оценки в районах с экстремально низкой температурой поверхностного слоя и в системах HNLC (high nutrient-low chlorophyll), к которым относятся акватории АЦТ [21].

Как и для всего Южного океана, особенностью гидрологической структуры поверхностных вод пролива Дрейка является ее фронтальный характер [23, 33, 56]. На акватории пролива прослеживаются три основных фронта: Субантарктический (САФ), Полярный (ПФ) и Южный фронт (ЮФ). Последний очень близко расположен к южной границе АЦТ (ГАЦТ). В районе материкового склона у границы континентальных вод (ГКВ) расположен склоновый фронт [68, 74]. Гидрологические фронты, являясь разделами между поверхностными водны-

ми массами, служат также границами биогеохимических зон Южного океана [44].

Пространственно-временная изменчивость первичной продукции и хлорофилла “а” (хл “а”) в проливе Дрейка экспериментальными методами изучена на ограниченных акваториях. Широко известно немного работ, в которых исследовалась изменчивость содержания хл “а” и ПП в открытых районах пролива [11, 17, 27, 28, 51, 58, 69]. Сезонные изменения хл “а” на поверхности (Хл₀) в различных гидрологических зонах изучены по материалам съемок 2001–2002 гг. [8]. Как правило, изучение изменчивости продукционных параметров фитопланктона в проливе Дрейка ограничивается прибрежными районами к северу от Южных Шетландских островов [9, 10, 19, 22, 32, 34, 35, 39, 45, 50, 72]. Сезонные изменения хл “а” и ПП в этих районах на протяжении практически всего вегетационного периода прослежены в рамках программы RACER [36]. В северной части пролива Дрейка, у берегов Южной Америки исследования изменчивости хл “а” и ПП выполнялись редко [27, 40]. Из вышесказанного следует, что для всей акватории пролива в настоящее время существуют немногочисленные данные, характеризующие изменчивость ПП и хл “а”. Этот вывод можно отнести в первую очередь к весеннему календарному сезону.

В настоящей работе проанализированы результаты исследования пространственной изменчивости ПП и хл “а” в проливе Дрейка по данным, полученным в 24-м рейсе НИС “Академик Иоффе” (ноябрь 2007 г.) и 25-м рейсе НИС “Академик Сергей Вавилов” (октябрь–ноябрь 2008 г.).