

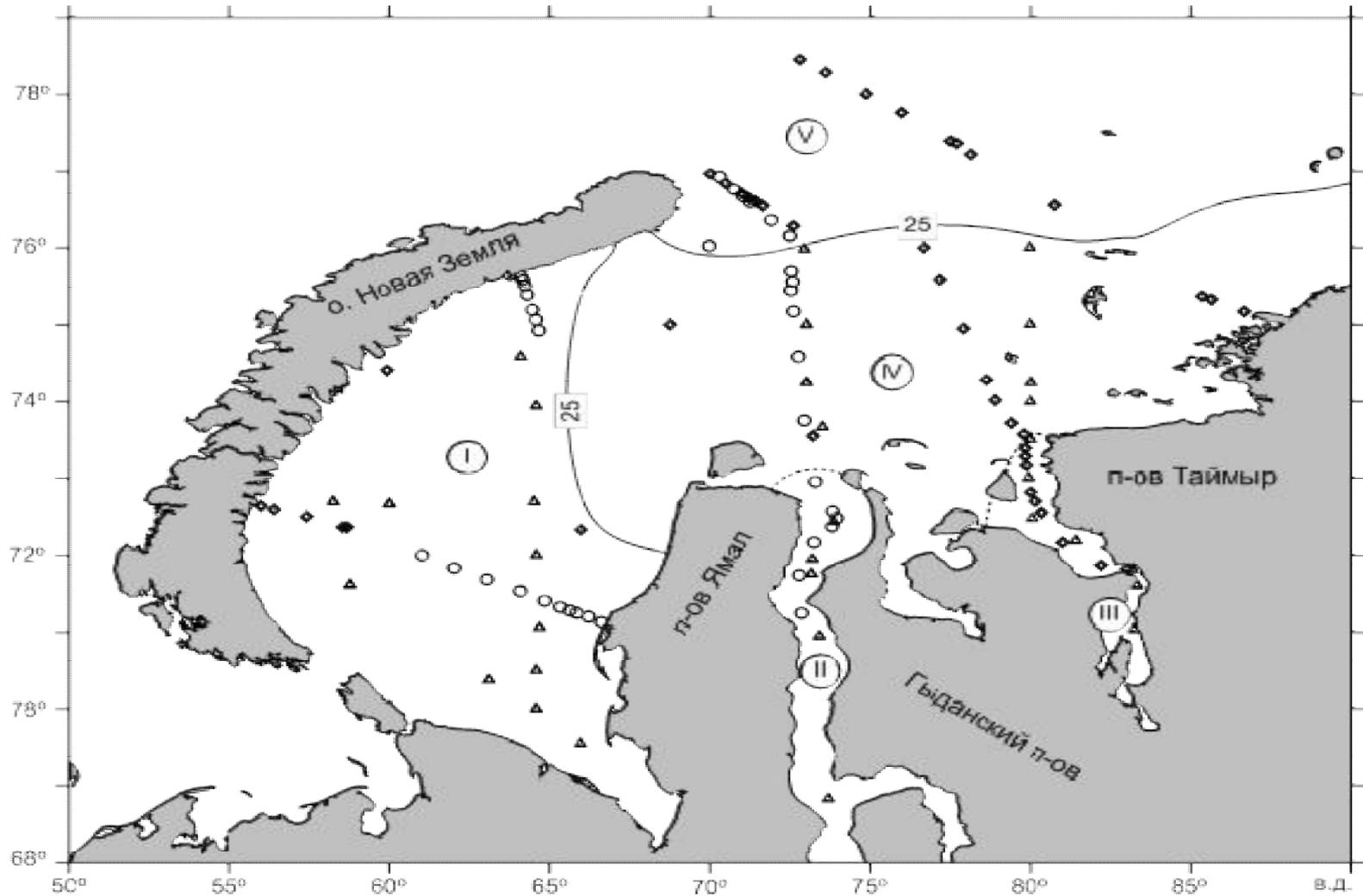


Демидов А. Б., Мошаров С. А.

Первичная продукция Карского моря: изменчивость и моделирование

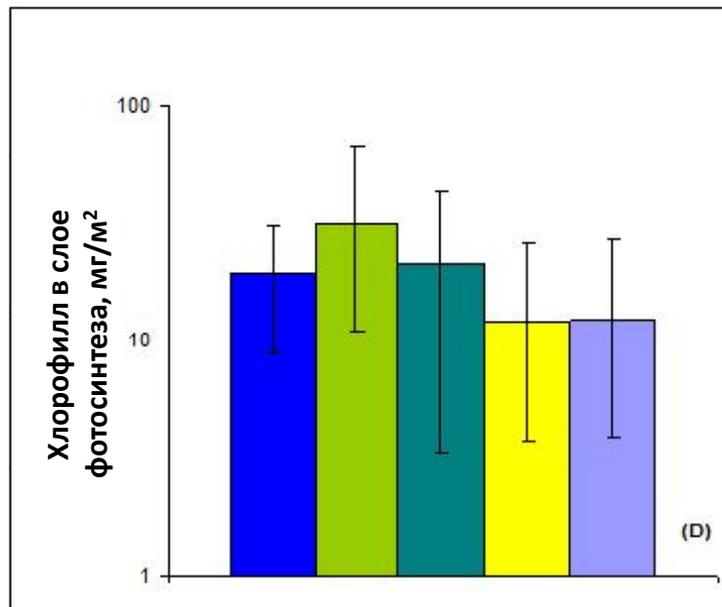
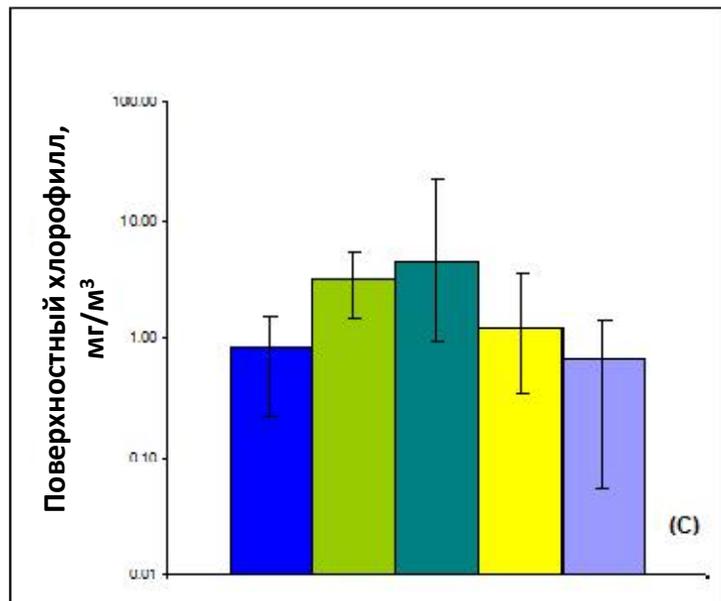
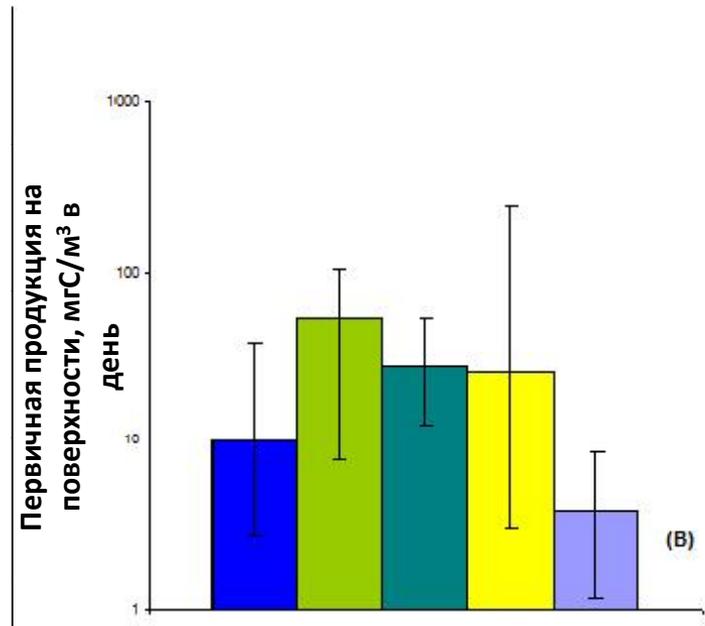
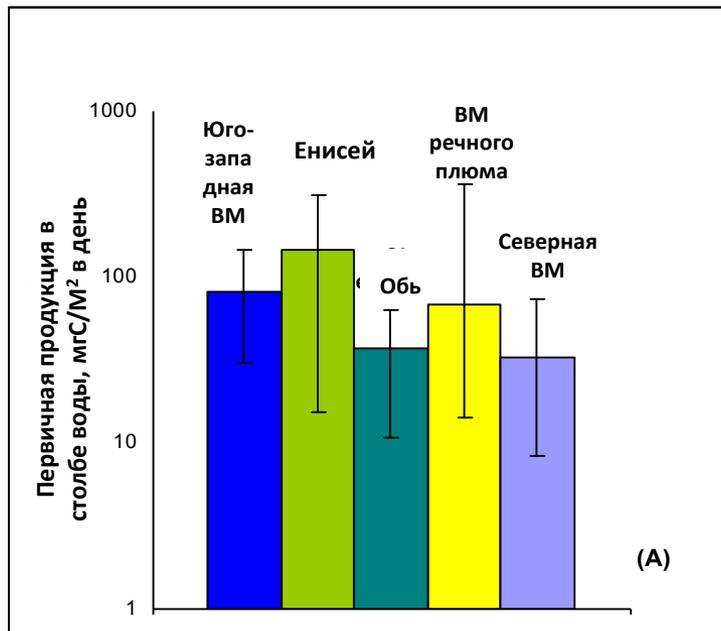


Расположение станций отбора проб для определения величин первичной продукции и содержания хлорофилла

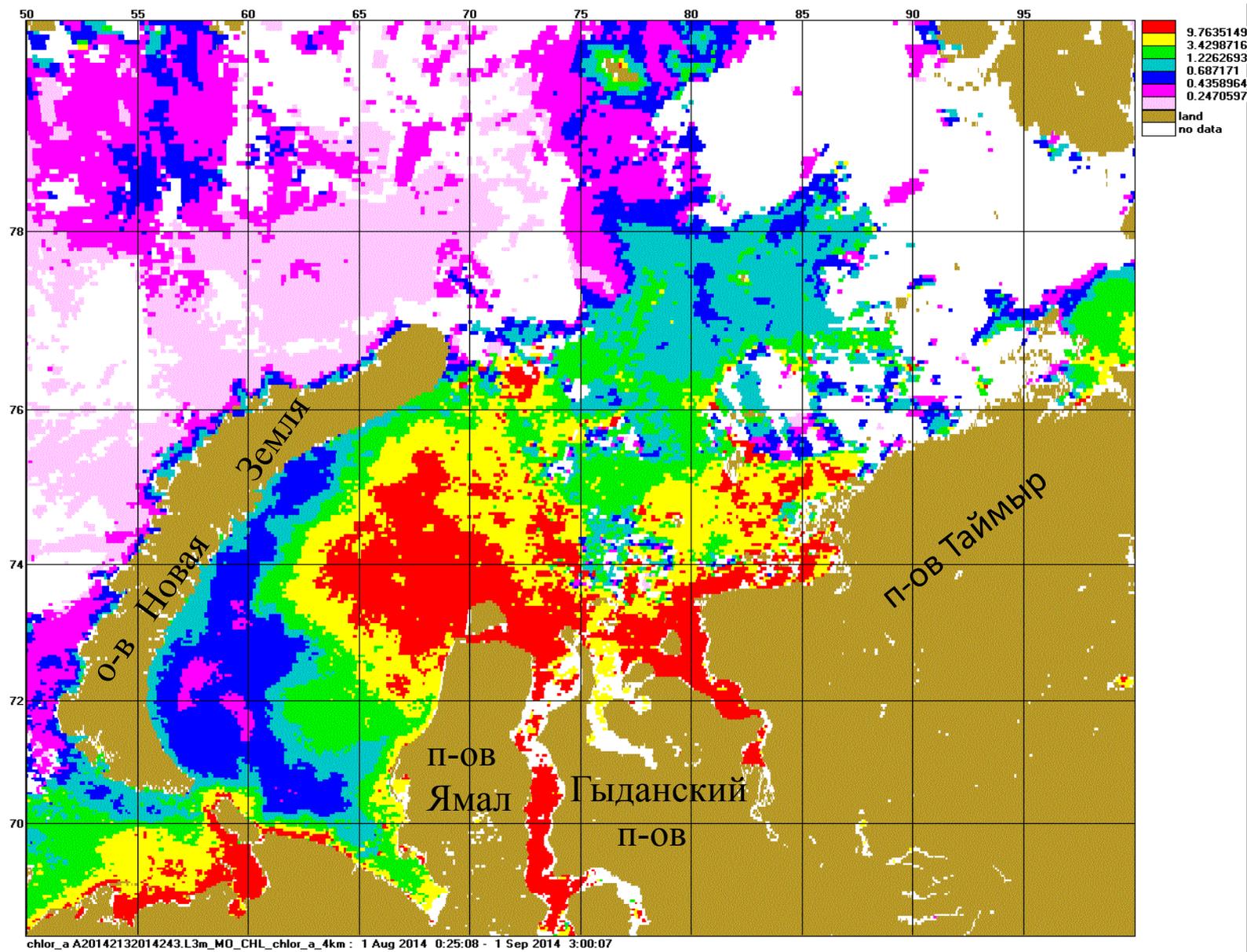


- ▲ 49-й рейс НИС «Дм. Менделеев»
- 54-й рейс НИС «Ак. Келдыш»
- ◆ 59-й рейс НИС «Ак. Келдыш»

Пространственная изменчивость первичной продукции и хлорофилла



Хлорофилл на поверхности Карского моря в августе 2014 г.



Проблема оценки первичной продукции Карского моря

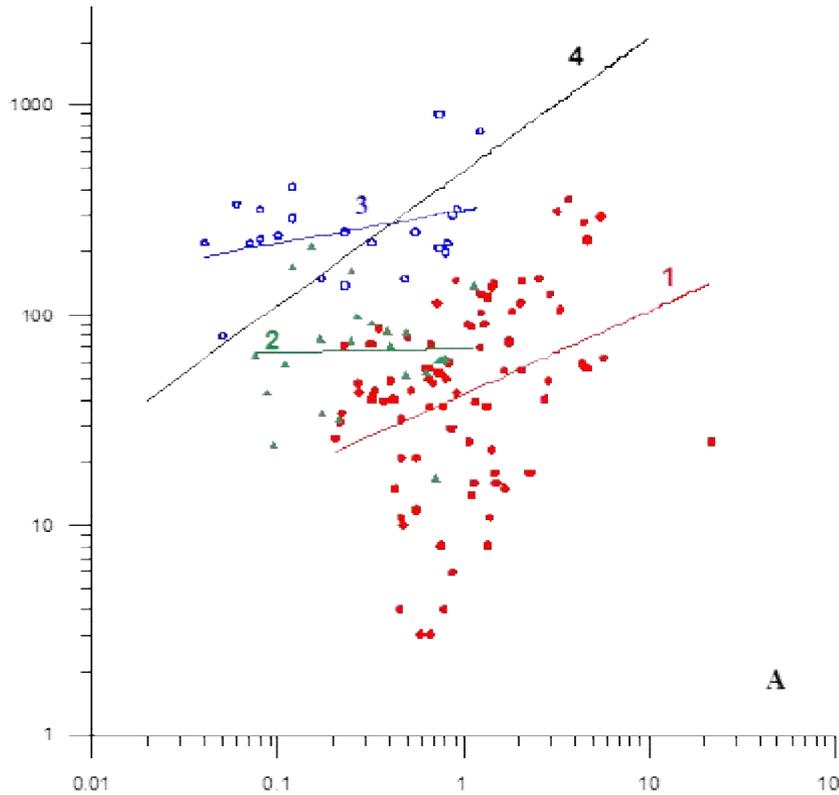


от 3-7 раз
для разных
районов моря

Параметры поверхностного слоя плохо характеризуют ПП в столбе воды. По величинам на поверхности Карское море – эвтрофно-мезотрофный, а по значениям в столбе воды – олиготрофный водоем. **Проблема оценки первичной продукции в столбе воды по спутниковым данным.**

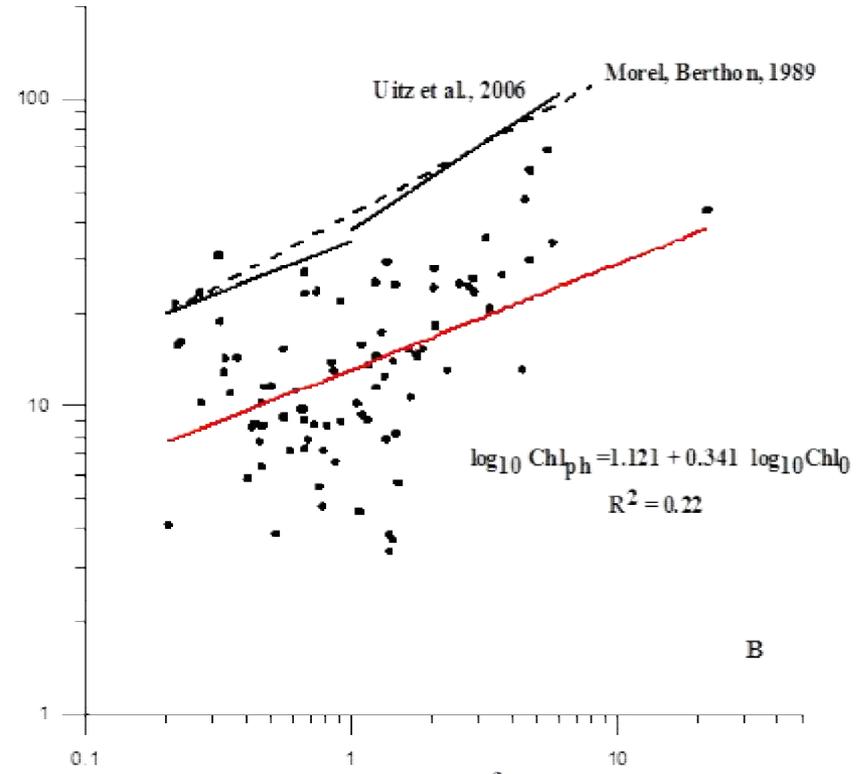
Зависимости первичной продукции и хлорофилла в столбе воды от концентрации хлорофилла на поверхности

Первичная продукция
в столбе воды,
мгС/м² в день



A

Хлорофилл
в слое фотосинтеза,
мг/м³

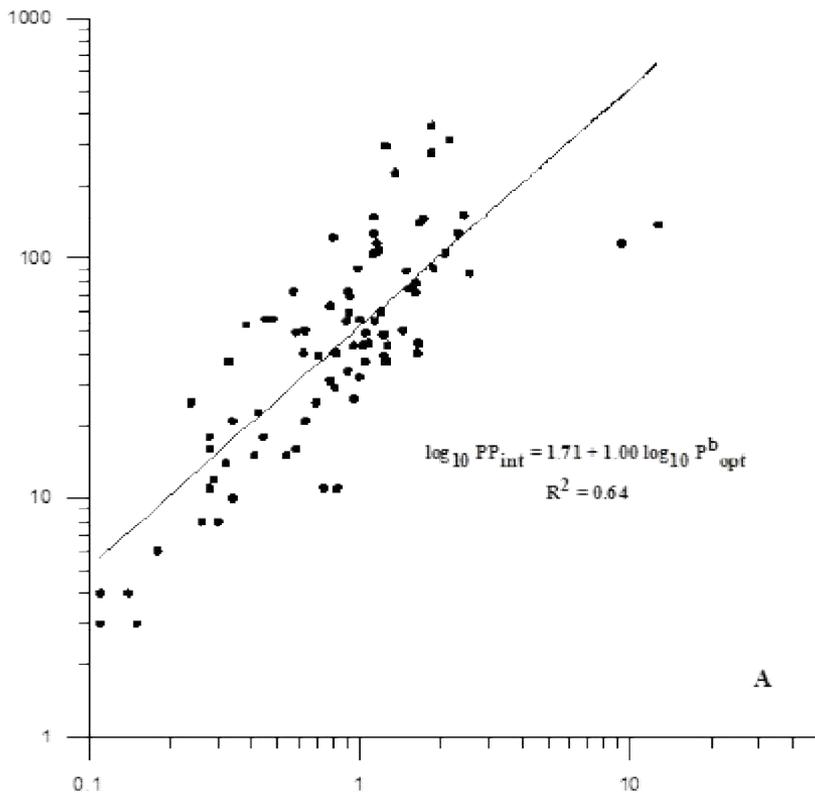


B

Концентрация хлорофилла на поверхности, мг/м³

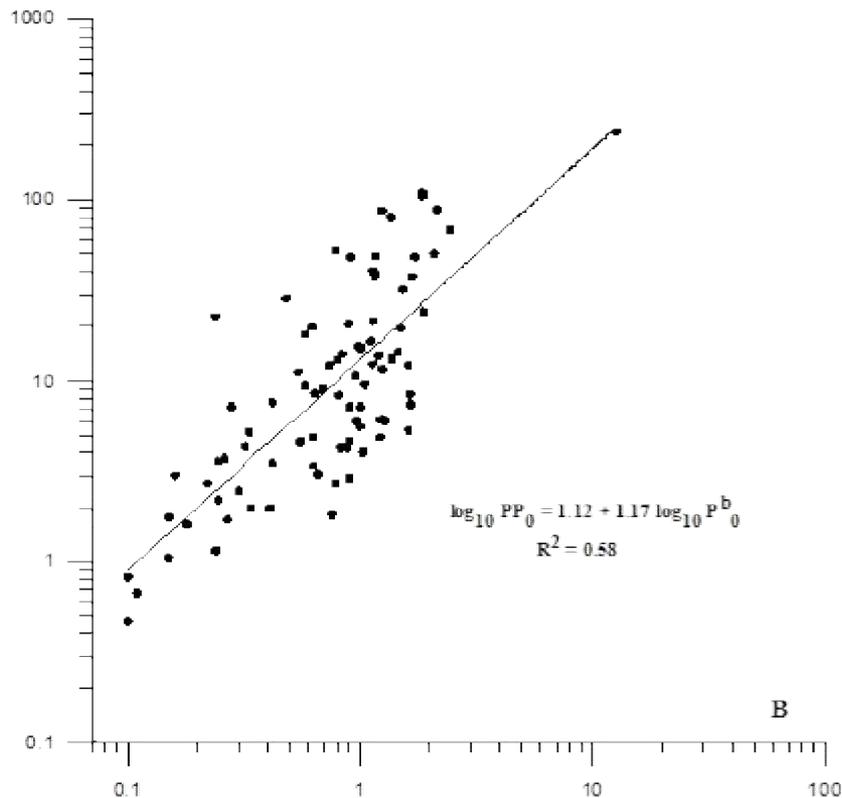
Зависимость первичной продукции Карского моря от ассимиляционной активности фитопланктона

Первичная продукция
в столбе воды,
мгС/м² в день



Максимальное в столбе воды ассимиляционное число,
мгС/мг хл «а» в час

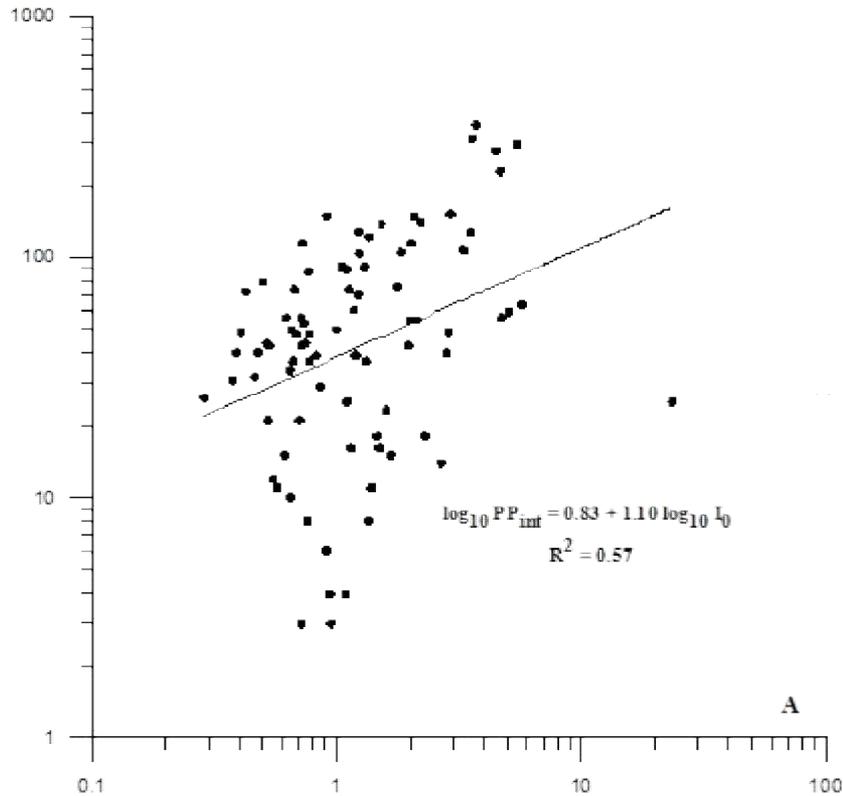
Первичная продукция
на поверхности,
мгС/м³ в день



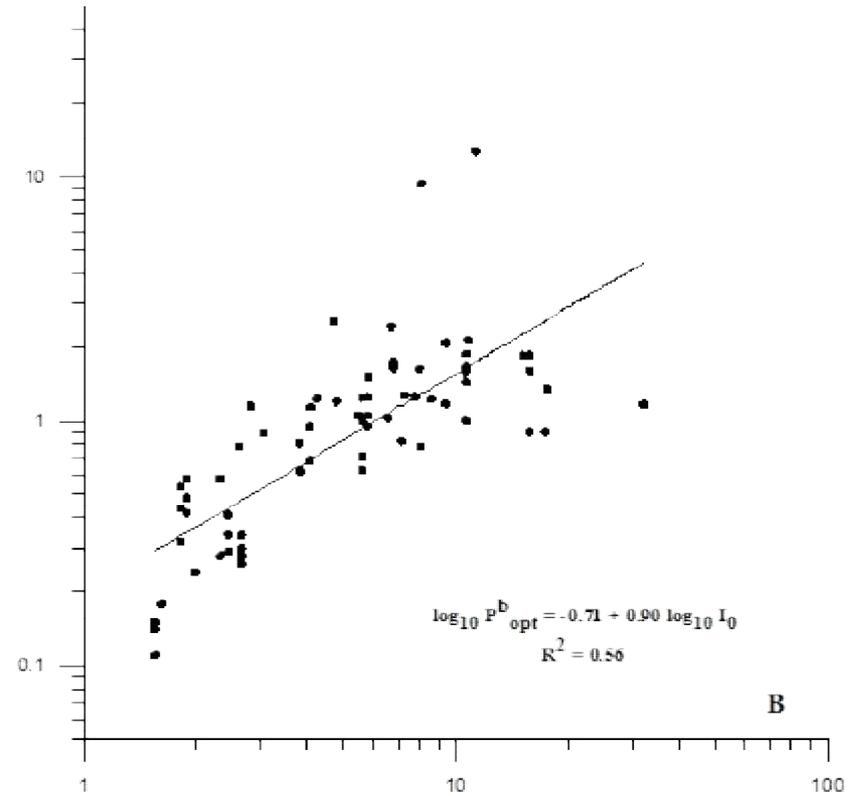
Ассимиляционное число на поверхности,
мгС/мг хл «а» в час

Зависимость продукционных показателей фитопланктона от уровня приходящей солнечной радиации

Первичная продукция
в столбе воды,
мгС/м² в день



Максимальное в столбе воды
ассимиляционное число,
мгС/мг хл «а» в час



Приходящая фотосинтетически активная солнечная радиация, Ein/м² в день

Факторы определяющие уровень первичной продукции (ПП) Карского моря в осенний период

Абиотические факторы

Биотические факторы

Слой фотосинтеза
(в среднем 22 м)

период

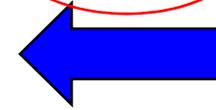
Свет
(надводная облученность)

$R^2 = 0.57$



ПП

$R^2 = 0.64$



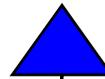
Уровень ассимиляционной активности
(удельная скорость фотосинтеза)

$R^2 = 0.13 - 0.22$

Биогенные элементы
N, P

Si

$R^2 = 0.35$



$R^2 = 0.12$

Биомасса фитопланктона
(хлорофилл «а» на поверхности)

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ И ХЛОРОФИЛЛА

Особенность – степень выраженности подповерхностного хлорофильного максимума в водах разной продуктивности

Воды разной продуктивности выделены по концентрации хлорофилла на поверхности

I – 0.1 – 0.5 мг/м³

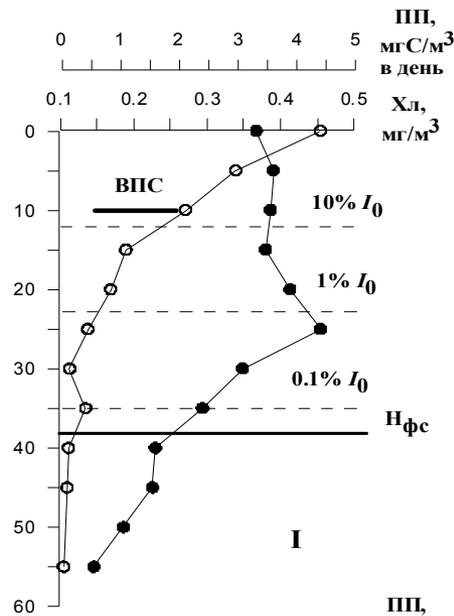
III – 1.0 – 2.0 мг/м³

II – 0.5 – 1.0 мг/м³

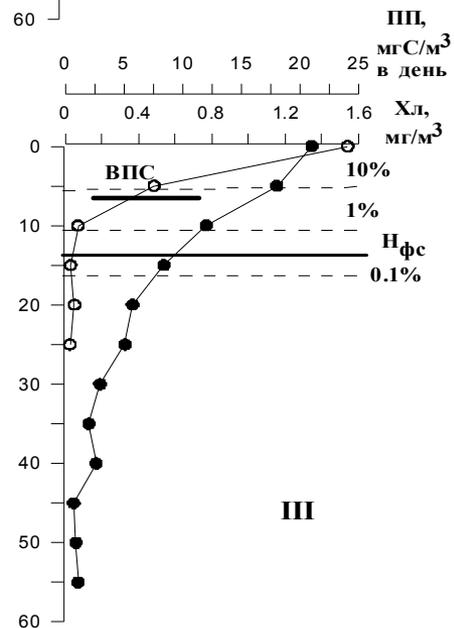
IV – > 2.0 мг/м³

Средние кривые вертикального распределения первичной продукции и хлорофилла в водах Карского моря разной продуктивности

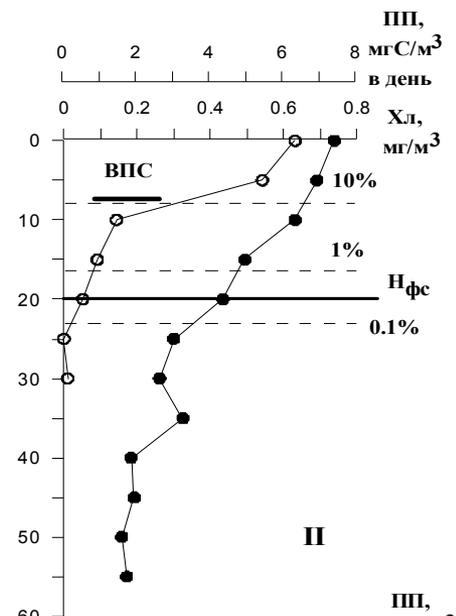
Хлорофилл
на поверхности
0.1-0.5 мг/м³



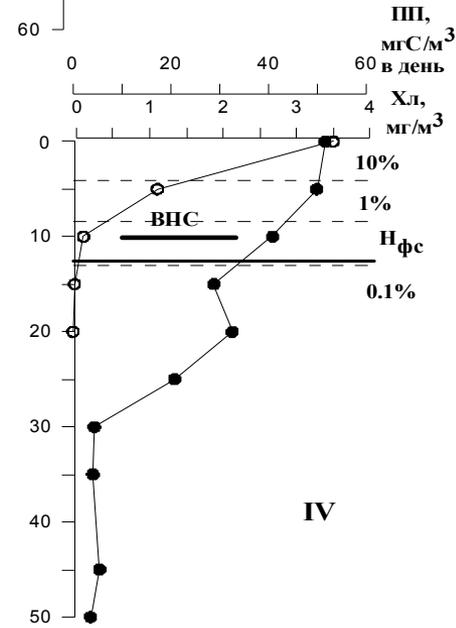
Хлорофилл
на поверхности
1.0-2.0 мг/м³



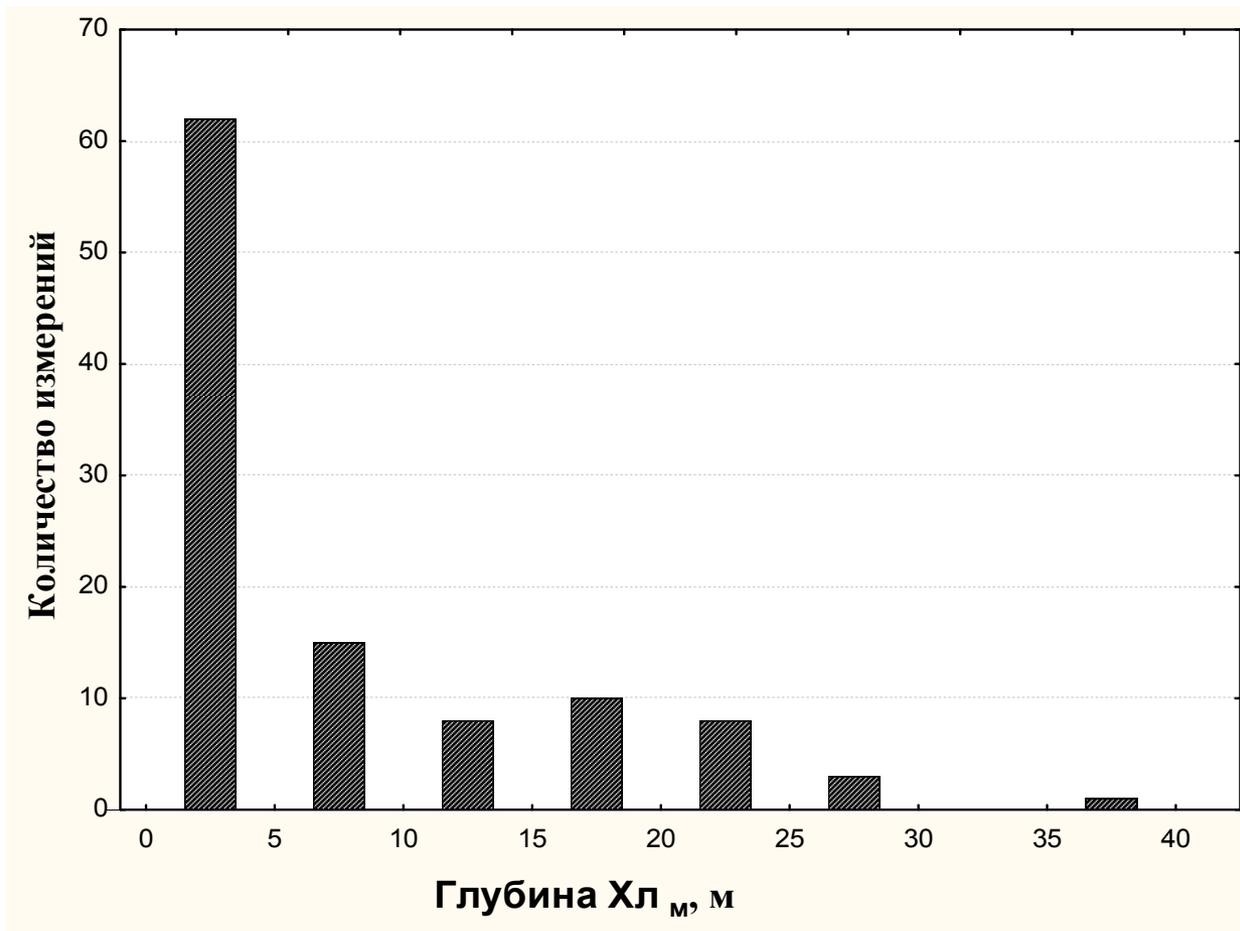
Хлорофилл
на поверхности
0.5-1.0 мг/м³



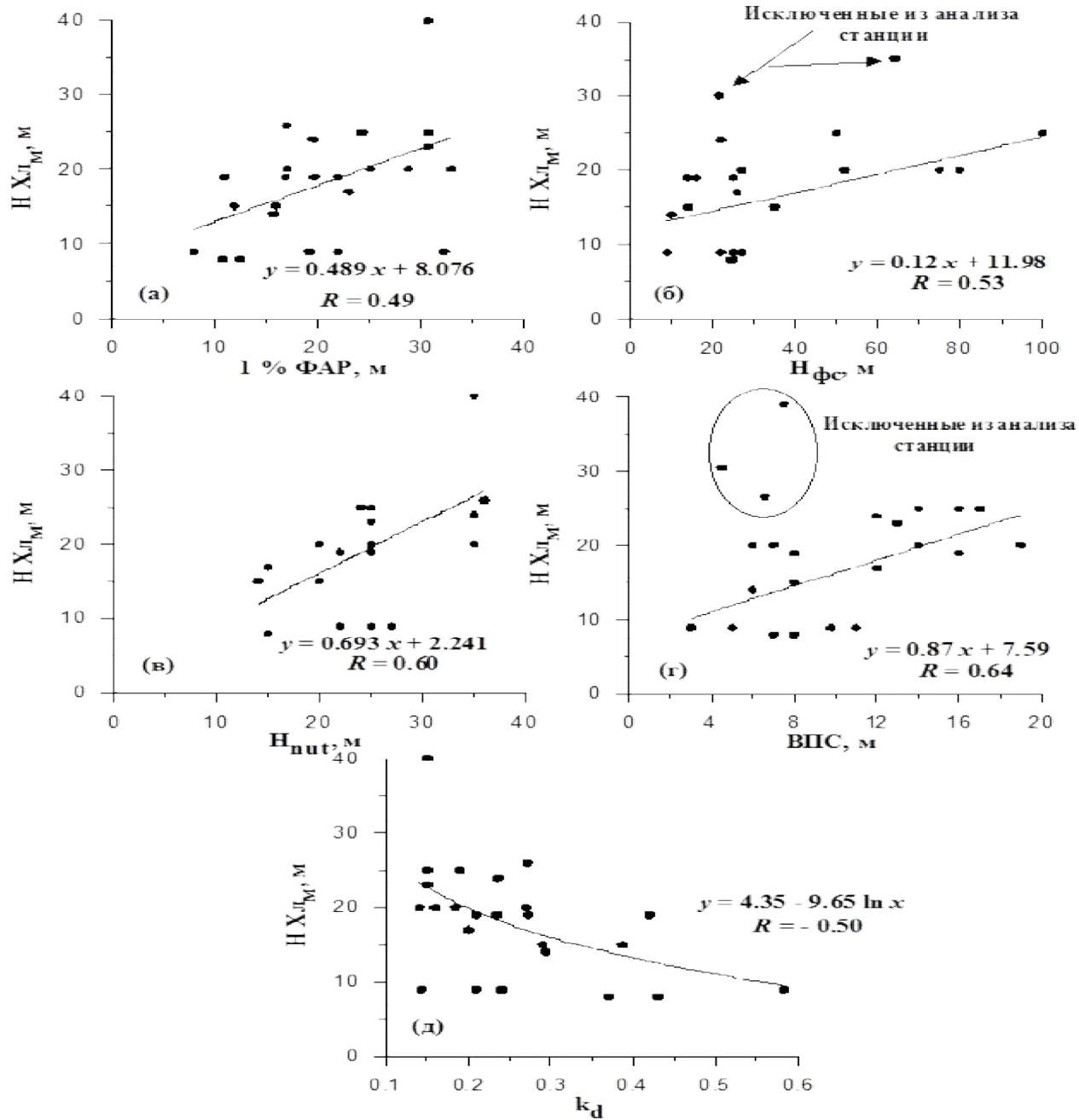
Хлорофилл
на поверхности
>2.0 мг/м³



Частота встречаемости глубины подповерхностного хлорофильного максимума в Карском море



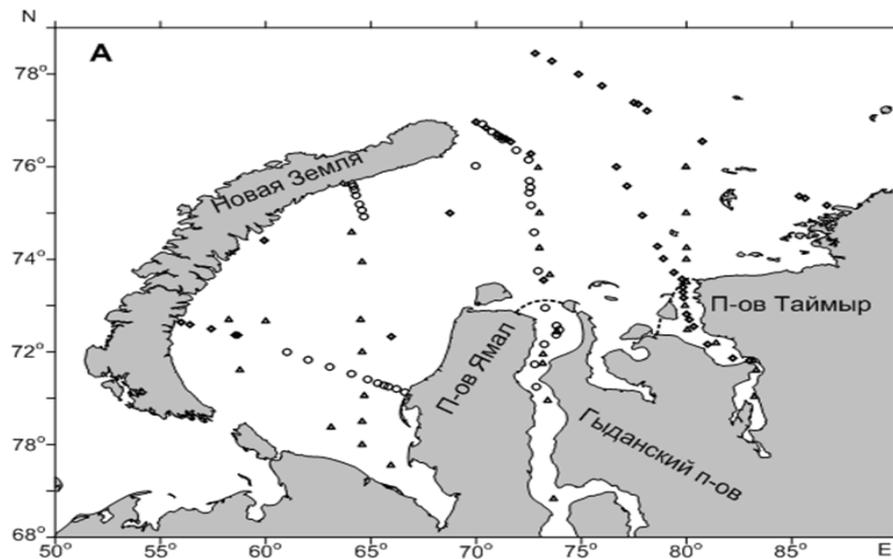
Зависимость положения подповерхностного хлорофильного максимума от факторов среды



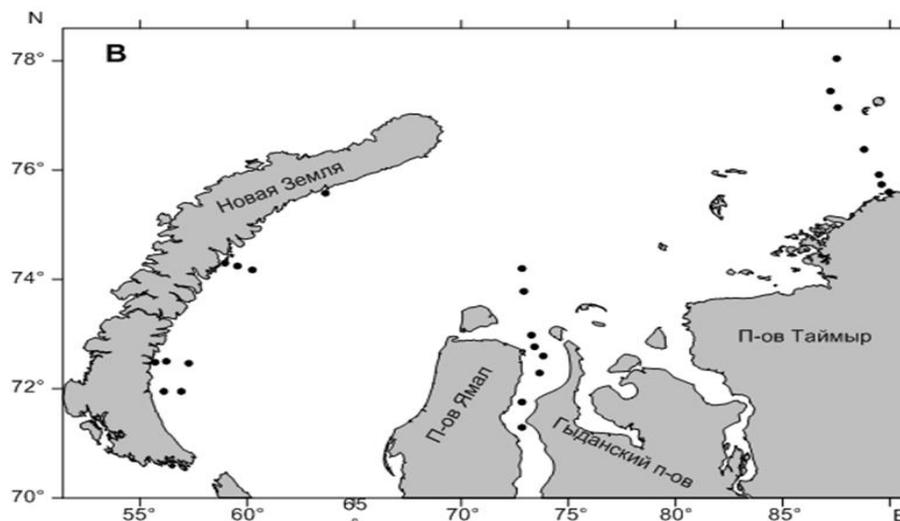
Характеристики хлорофильного максимума в водах Карского моря разной продуктивности

Трофический уровень	Число станций с Хл _м	Кол-во ст. с Хл _м в % от общего числа	Толщина слоя Хл _м , м	Хл _м , мг/м ³	Глубина залегания Хл _м , м	Хл _м /Хл ₀	ΣХл _м /ΣХл _{1.5фс} , %	ΣПП _м /ПП _{фс} , %	Кол-во станций с хлорофильным максимумом ниже Н _{фс}
0.1 – 0.5	17	68	<u>6–28**</u> 13	<u>0.29–1.26</u> 0.71	<u>9–40</u> 20	<u>1.22–3.56</u> 2.16	<u>30–39</u> 34	<u>5–46</u> 23	1
0.5 – 1.0	5	17	<u>4–6</u> 5	<u>0.71–1.73</u> 1.06	<u>8–30</u> 19	<u>1.22–1.90</u> 1.44	<u>33–40</u> 35	27	3
1.0 – 2.0	2	6	<u>4–5</u> 5	<u>2.20–2.68</u> 2.44	<u>8–15</u> 12	<u>1.51–2.45</u> 1.98	<u>33–35</u> 34	<u>1–13</u> 7	–
> 2.0	1	5	5	2.93	9	1.15	37	1	—

Источники данных для создания и верификации моделей первичной продукции



- ▲ 49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев»
- 54-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»
- ◆ 59-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»

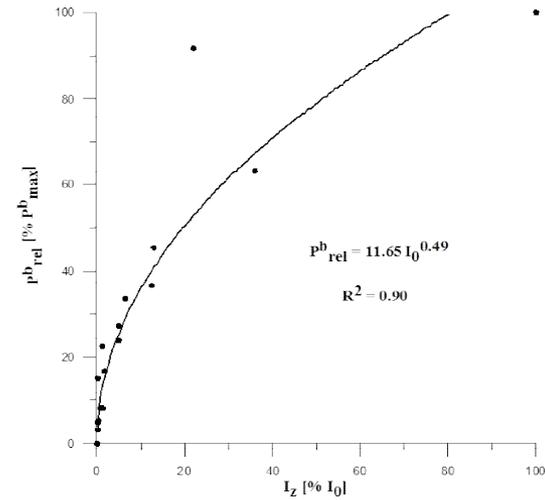
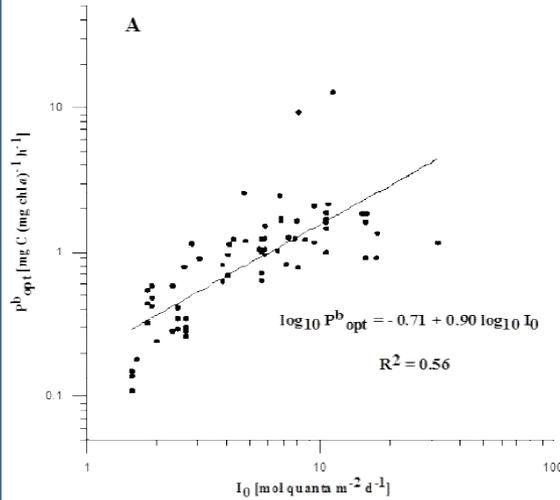
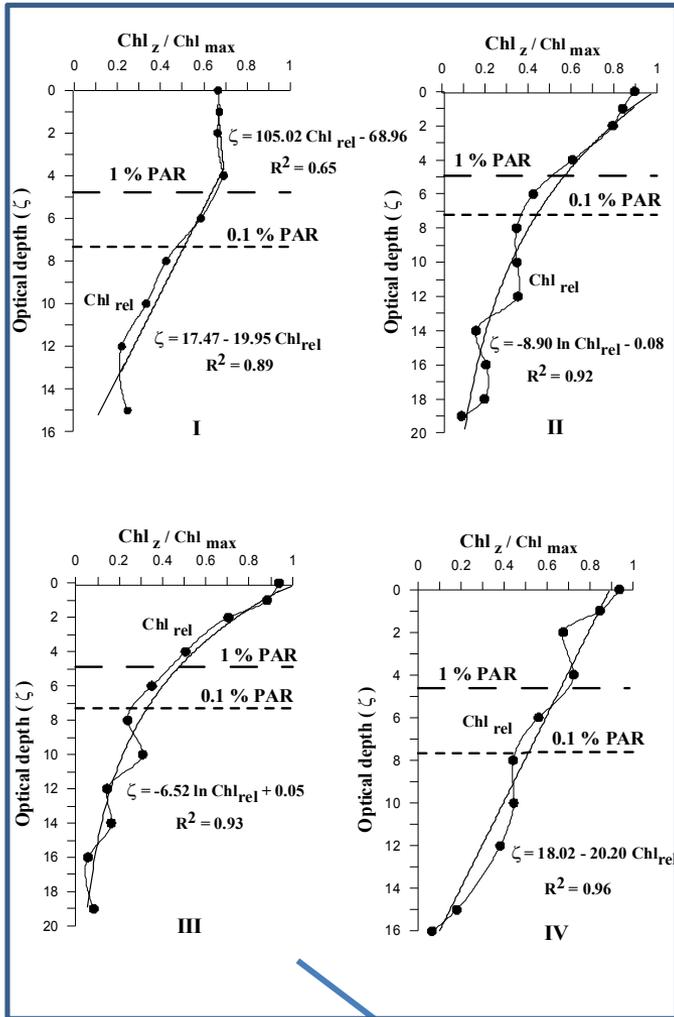


- 125-й рейс НИС «Профессор Штокман»

Интегрированная по глубине модель первичной продукции Карского моря

- В модели использованы коэффициенты, выведенных как средние величины из базы данных по продукционным показателям фитопланктона Карского моря
- 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 Карском море
- Суммарная формула расчета
- $\Sigma PP = 8.27 \times Chl_0 \times I_0$

Модель первичной продукции Карского моря с разрешением по глубине



$$P^b_{opt} = 10^{-0.71+0.90 \log_{10} I_0}$$

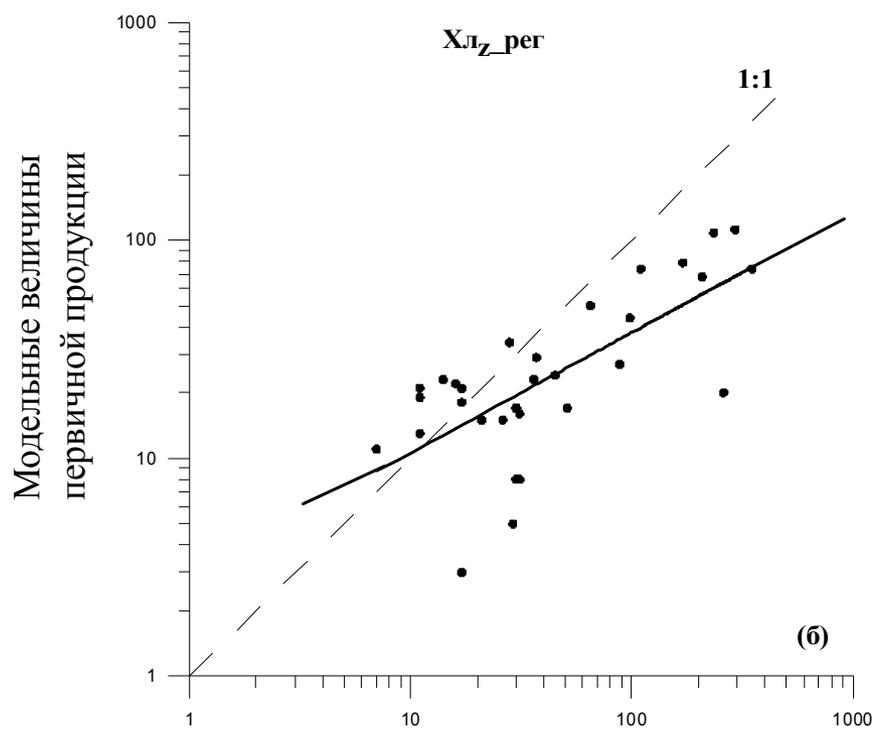
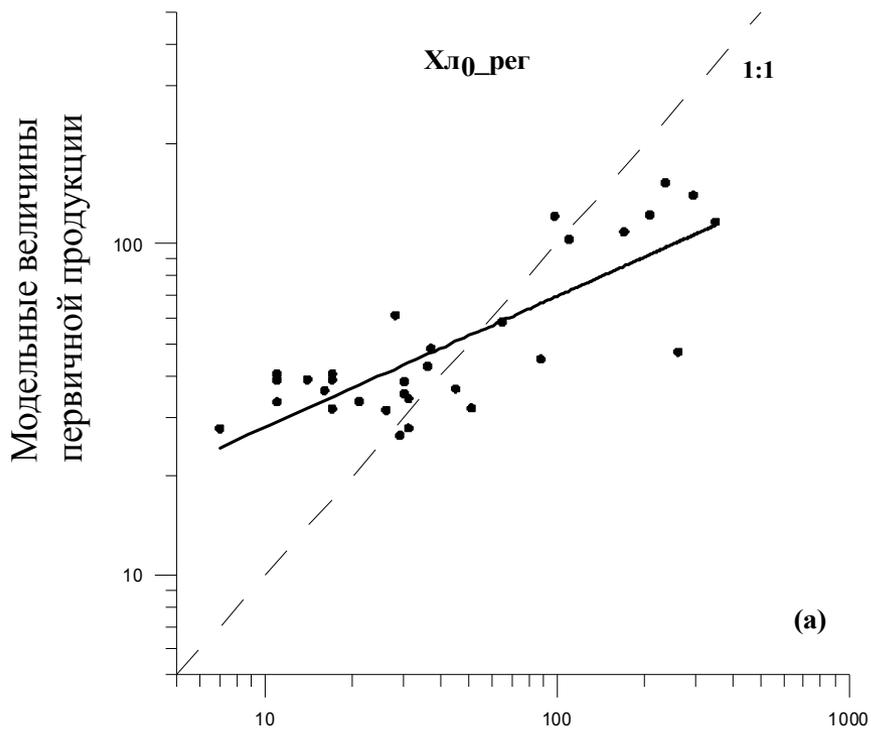
$$P^b_{rel} = 11.65 I_z^{0.49}$$

$$P^b_z = (P^b_{opt} (11.65 I_z^{0.49}))/100$$

$$P^b_z = ((10^{-0.71+0.90 \log_{10} I_0}) (11.65 I_z^{0.49}))/100$$

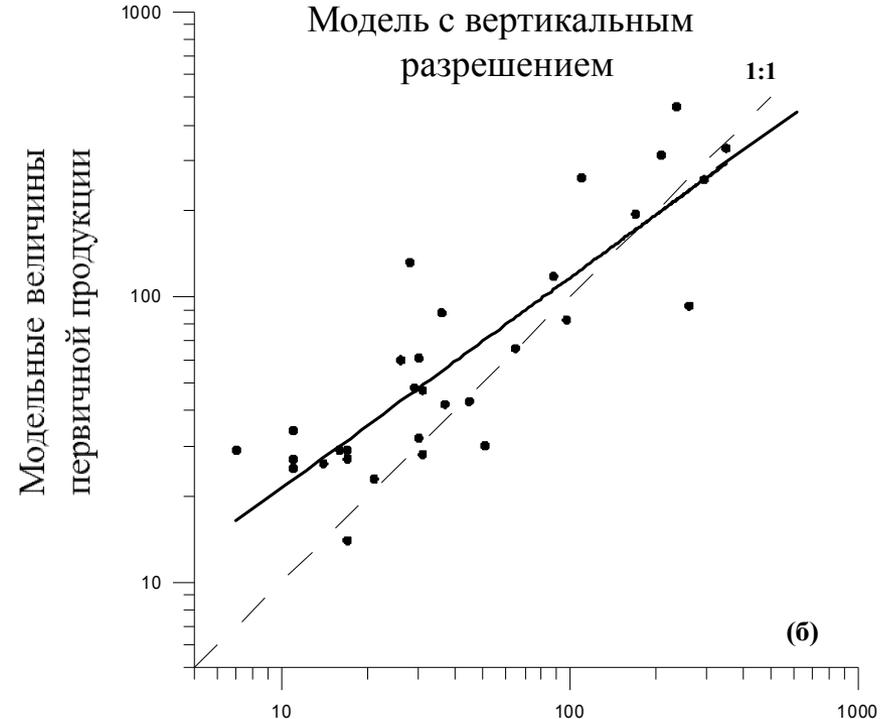
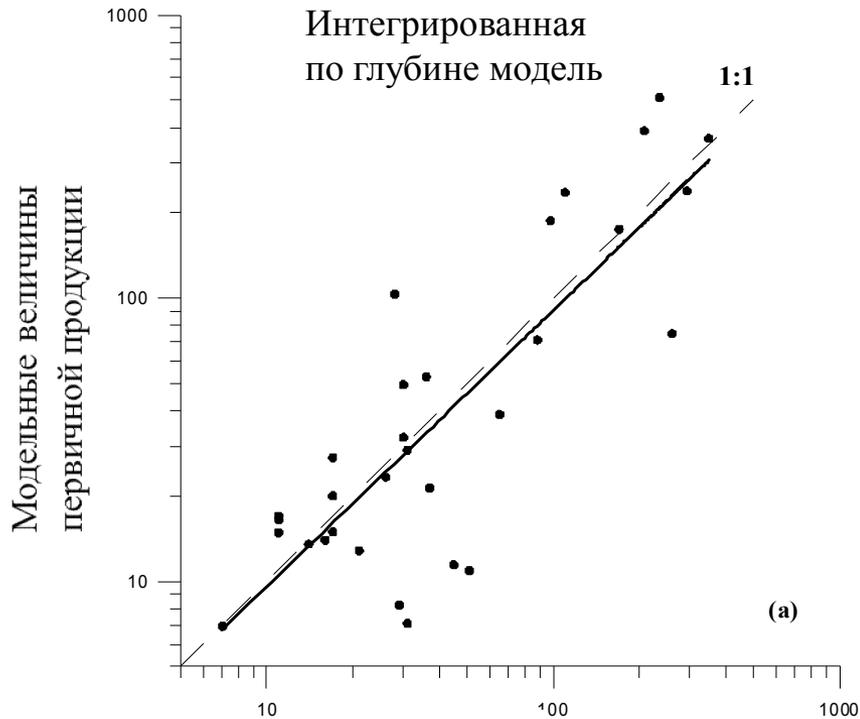
$$IPP_{meas} = \int_z^0 P^b_z Chl_z DL (dz)$$

Сравнение измеренных и рассчитанных величин первичной продукции по моделям, основанным на концентрации хлорофилла



Измеренные величины первичной продукции

Сравнение измеренных и рассчитанных величин первичной продукции по моделям, использующим фотоадаптивные параметры и ФАР



Измеренные величины первичной продукции

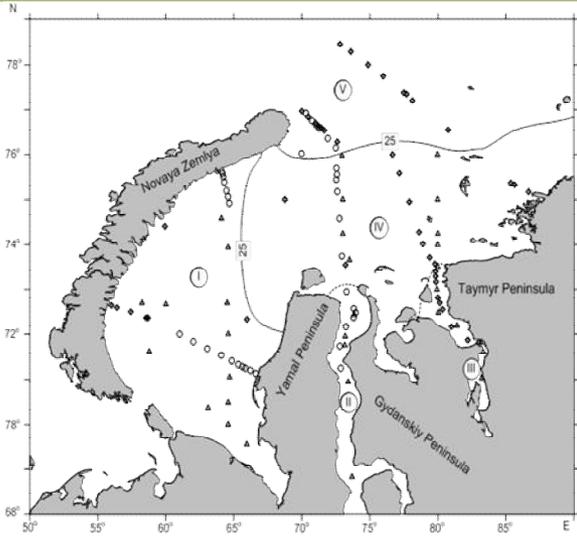
Показатели эффективности моделей

Модель	Регрессионная статистика				Показатели эффективности			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	<i>p</i>	<i>B</i>	σ	RMSD	ME
Поверхностный хлорофилл-продукция	0.40	1.05	0.65	< 0.01	0.07	0.23	0.32	0.53
Интегрированная по глубине модель	0.98	0.01	0.69	< 0.01	-0.03	0.56	0.31	0.58
Хлорофилл-продукция	0.55	0.48	0.50	< 0.01	-0.25	0.37	0.42	0.21
Модель с вертикальным разрешением	0.74	0.59	0.74	< 0.01	0.17	0.41	0.29	0.62

Сравнение эффективности адаптированных и неадаптированных для Карского моря моделей первичной продукции

Mode I	Average d <i>IPP_{mod}^a</i>	Regression statistics				Performance indices							
		slope	intercep t	R^2	p value	B	σ	RMSD	uRMSD	ME	F_{med}	F_{max}	F_{min}
SCHL_reg	58±38	0.40	1.05	0.65	< 0.01	0.07	0.23	0.32	0.31	0.53	1.18	2.46	0.56
Ψ_MOD	90±130	0.98	0.01	0.69	< 0.01	-0.03	0.56	0.31	0.30	0.58	0.92	1.88	0.45
VGPM	141±175	1.02	0.21	0.93	< 0.01	0.24	0.50	0.27	0.13	0.66	1.73	2.35	1.27
VGPM_Arc	196±188	0.59	1.19	0.60	< 0.01	0.51	0.36	0.59	0.30	-0.60	3.27	6.55	1.63
VGPM_TR	104±106	0.62	0.84	0.58	< 0.01	0.21	0.39	0.37	0.31	0.37	1.64	3.34	0.80
ZCHL_reg	33±29	0.55	0.48	0.50	< 0.01	-0.25	0.37	0.42	0.33	0.21	0.56	1.22	0.26
KSDRM	99±113	0.74	0.59	0.74	< 0.01	0.17	0.41	0.29	0.24	0.62	1.47	2.56	0.84
ArcPP	160±163	0.54	1.17	0.47	< 0.01	0.42	0.37	0.54	0.34	-0.34	2.62	5.87	1.17
Averaged <i>IPP_{meas}^a</i>	77±94												

Региональный подход



- ▲ 49th cruise R/V Dm. Mendeleev
- 54th cruise R/V Akademik Mstislav Keldysh
- 59th cruise R/V Akademik Mstislav Keldysh

Повышение эффективности моделей первичной продукции Карского моря

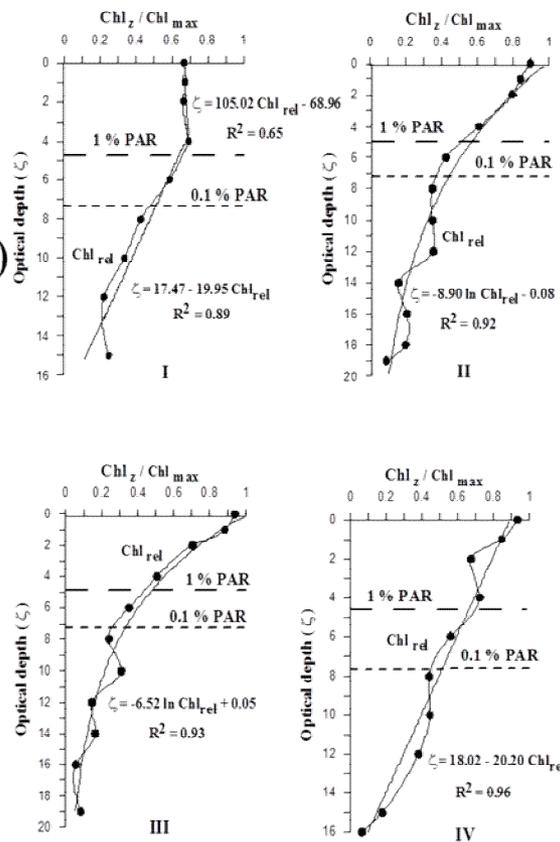
Вертикальное разрешение

Включение в модели ассимиляционного числа, эффективности фотосинтеза и приходящей ФАР

$$P_z^b = (10^{-0.71 + \log_{10} I_0}) ((11.65 I_z^{0.49}) / 100)$$

$$IPP_{meas} = \int_z^0 P_z^b Chl_z DL (dz)$$

$$Chl_z = Chl_0 \exp(-(k_d z) + 0.08) / 8.90$$



$$IPP_{mod} = k \psi Chl_0 I_0$$

$$IPP_{mod} = 8.27 Chl_0 I_0$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

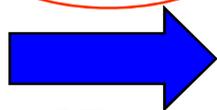
Абиотические факторы

Биотические факторы

Слой фотосинтеза
(в среднем 22 м)

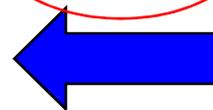
Свет
(надводная
облученность)

$R^2 = 0.57$



ППП

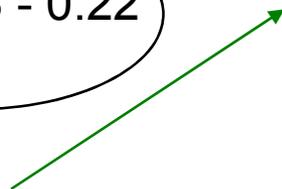
$R^2 = 0.64$



Уровень
ассимиляционной
активности
(удельная скорость
фотосинтеза)

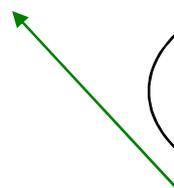
$R^2 = 0.13 - 0.22$

Биогенные
элементы
N, P



$R^2 = 0.12$

Биомасса
фитопланктона
(хлорофилл «а»
на поверхности)



$R^2 = 0.35$

Si

