

Влияние биооптических характеристик морской воды на альbedo океана

Д.И. Глуховец^{1,2}, С.В. Шеберстов¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

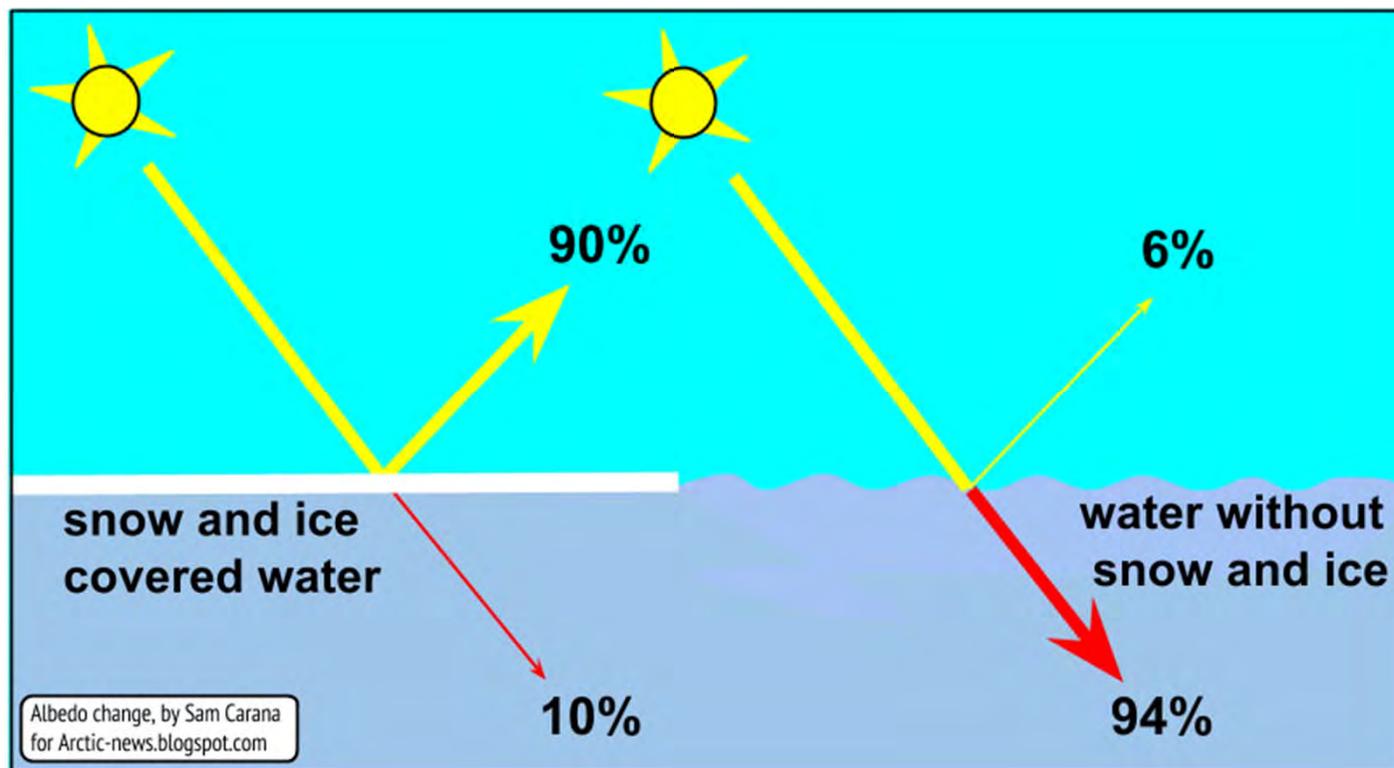
²Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

Альbedo - величина, характеризующая отражающую способность поверхности тела. Измеряется отношением количества отраженного поверхностью света к количеству света, падающего на него. Выражается в процентах или долях единицы. Альbedo измеряется альбедометром. Альbedo поверхности Земли зависит от географической широты, поры года, времени суток, состояния растительного покрова, водной поверхности. Альbedo влажной почвы 5-10%, леса 5-20%, травяного покрова 20-25%, снежного покрова 70-90%. От величины альbedo зависит радиационный баланс поверхности Земли.

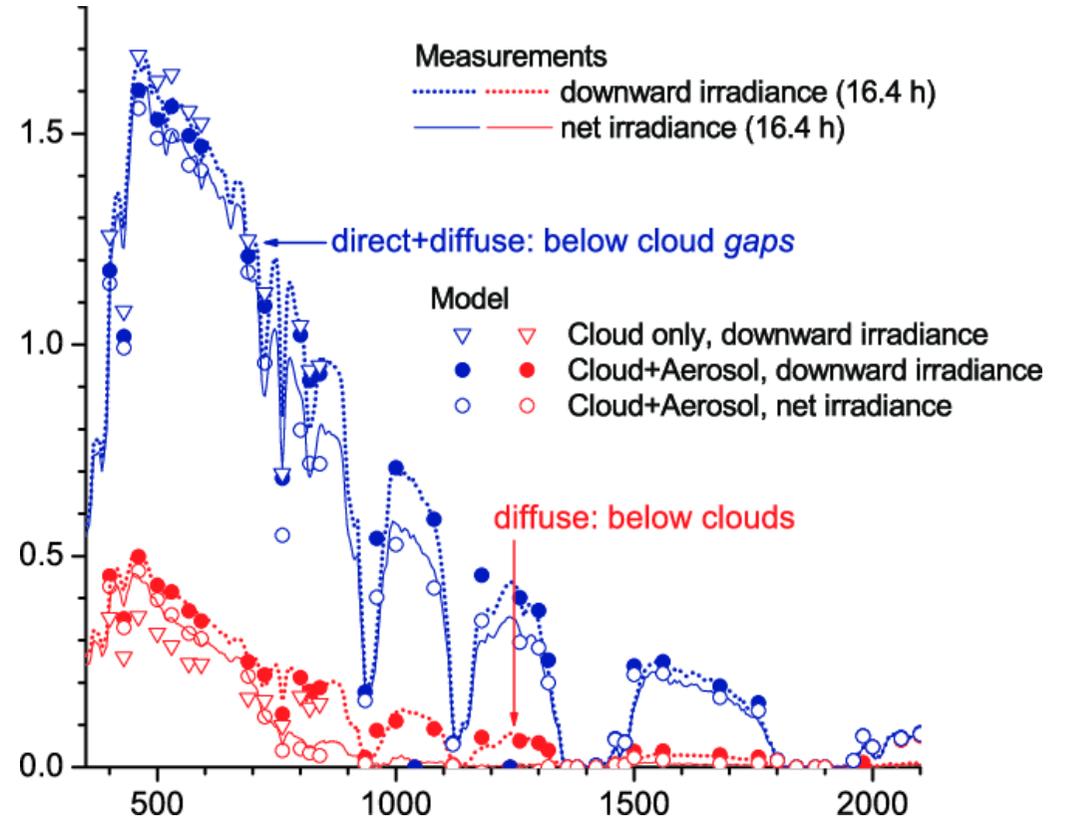
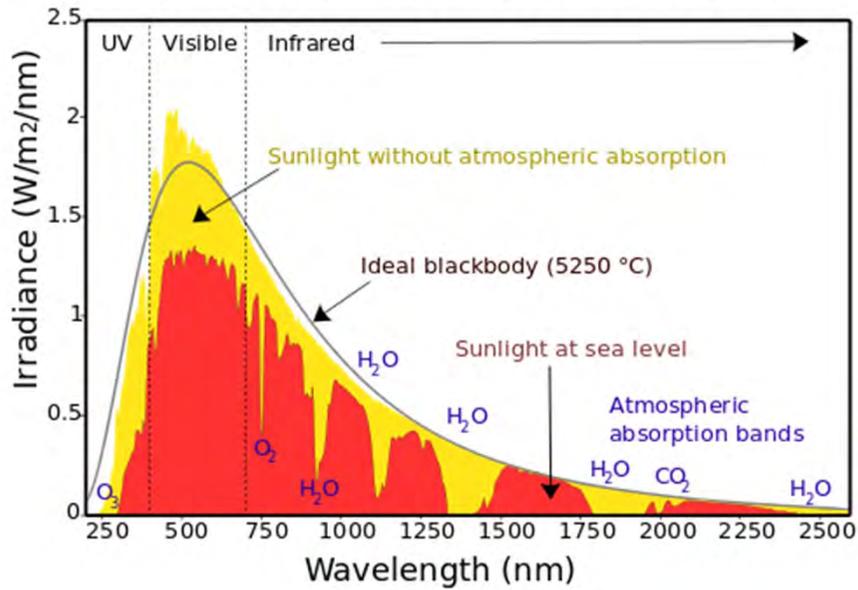
Метеорологическая энциклопедия в интернете

Альbedo - величина, характеризующая отражающую способность поверхности тела. Измеряется отношением количества отраженного поверхностью света к количеству света, падающего на него. Выражается в процентах или долях единицы. Альbedo измеряется альбедометром. Альbedo поверхности Земли зависит от географической широты, поры года, времени суток, состояния растительного покрова, водной поверхности. Альbedo влажной почвы 5-10%, леса 5-20%, травяного покрова 20-25%, снежного покрова 70-90%. От величины альbedo зависит радиационный баланс поверхности Земли.

Метеорологическая энциклопедия в интернете



Spectrum of Solar Radiation (Earth)



Измерения альбедо



$$A(\lambda) = \frac{E_u(\lambda)}{E_d(\lambda)}$$

Albedo of the Sea Surface¹

RICHARD E. PAYNE

Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Mass. 02543

(Manuscript received 1 December 1971, in revised form 6 March 1972)

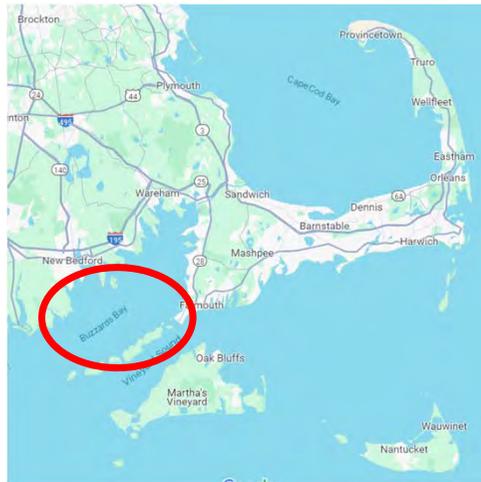


FIG. 2. Buzzards Bay Entrance Light Station.

- Измерения с платформы в заливе Баззардс Бэй, Массачусетс
- 4 месяца измерений (280-2800 нм) раз в 15 минут при разных состояниях атмосферы и океана

Examples of albedo values are 0.061 ± 0.005 for heavily overcast skies ($0.0 < T \leq 0.1$), indicating isotropic radiance distribution, and a range for clear skies ($T > 0.65$) of 0.03 for high sun to as large as 0.45 at sun altitudes $< 10^\circ$. The uncertainty in the values is less than 7% for sun altitudes $> 25^\circ$ and increases to

the surface. A study of the emergent irradiance (Payne, 1971) in coastal water (Buzzards Bay, Massachusetts) and in the Sargasso Sea showed that the ratio of emergent to downward irradiance is 0.005 ± 0.0005 .



Вклад толщи фиксирован?

Payne RE. Albedo of the sea surface. Journal of Atmospheric Sciences. 1972 Jul;29(5):959-70. (>750 ссылок)







Альbedo в современной океанологии



[Reed 1977]. Albedo monthly values are from Payne [1972] as means of the values at $40^{\circ}N$ and $30^{\circ}N$ for the Atlantic Ocean (hence the same latitudinal band of the Mediterranean Sea). The net long-wave radiation flux [Bignami et al. 1995]

NEMO book, 2019

JULY 1972

RICHARD E. PAYNE

967

TABLE 5. Mean albedos for Atlantic Ocean by month and latitude.

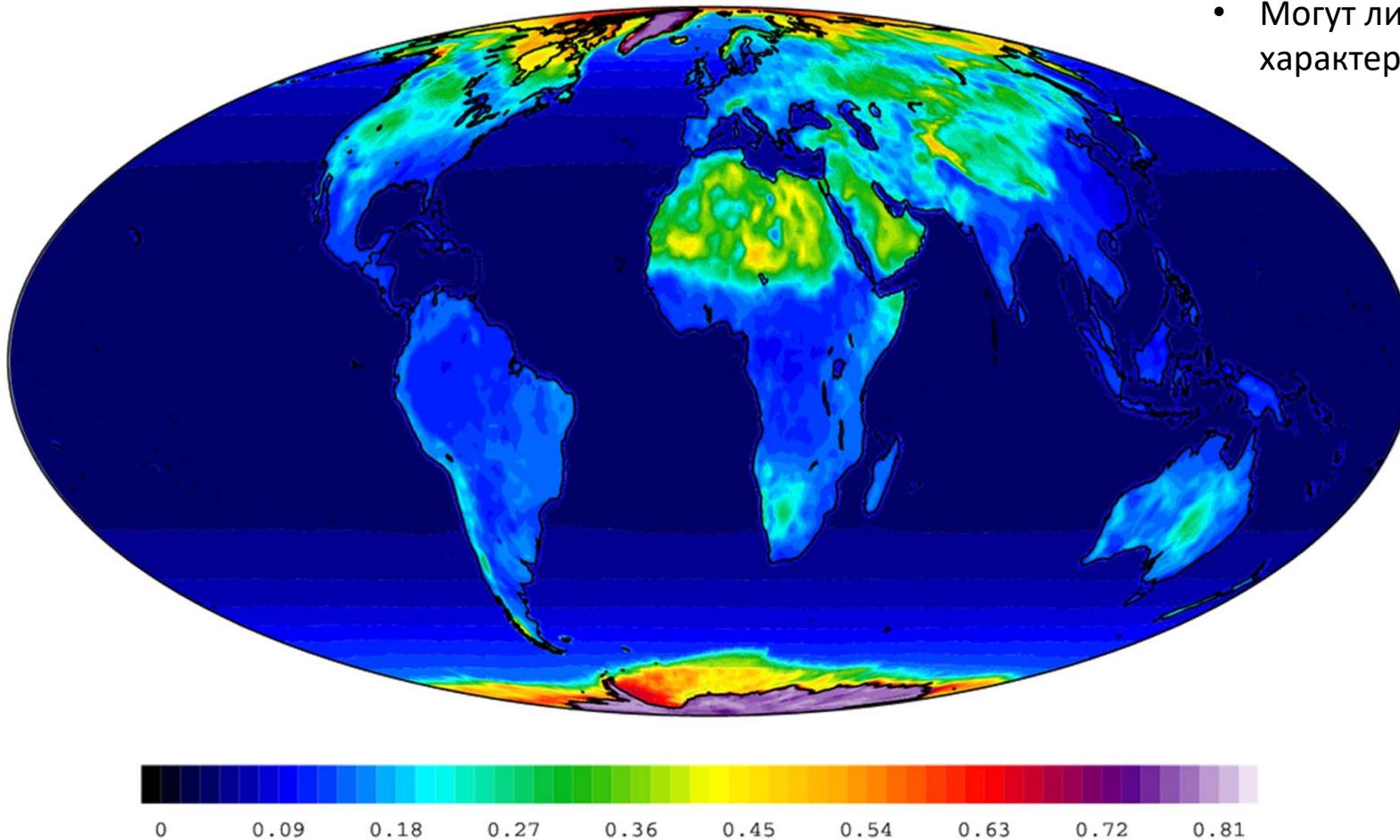
Latitude	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
80N			0.33	0.14	0.10	0.09	0.08	0.08	0.12			
70N		0.41	0.15	0.10	0.08	0.07	0.07	0.09	0.11	0.25		
60N	0.28	0.12	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.10	0.16	0.44
50N	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.11	0.12
40N	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11
30N	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
20N	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
10N	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
0	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
10S	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
20S	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
30S	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
40S	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06
50S	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
60S	0.06	0.07	0.08	0.11	0.13		0.27	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06

*280-2800 nm

Payne RE. Albedo of the sea surface. *Journal of Atmospheric Sciences*. 1972 Jul;29(5):959-70. (>750 ссылок)

Среднее за год альbedo в предположении ясного неба

- Действительно, в среднем $A \sim 6\%$
- Могут ли повлиять оптические характеристики воды?



ВЛИЯНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА АЛЬБЕДО ОКЕАНА

ГЛУХОВЕЦ Д.И.^{1,2}, ШЕБЕРСТОВ С.В.¹

¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный

Тип: статья в сборнике трудов конференции Язык: русский Год издания: 2023

Страницы: 64-69

УДК: 551.463.5

В климатологии традиционно незаслуженно мало внимания уделяется влиянию первичных гидрооптических характеристик на альbedo океана. В частности, в монографии Н.А. Тимофеева (1983), посвященной радиационному балансу океана, прозрачность и «цветность» морской воды лишь упоминаются в контексте влияния волнения на значения альbedo. В современной циркуляционной модели NEMO используются результаты работы Payne 1972, в которой вклад исходящего из воды излучения фиксирован. Для интервала длин волн 280-2800 нм этот вклад составляет 0,005+-0,0005. При этом считается, что такое значение соответствует большинству вод Мирового океана.

Цель работы состоит в проверке этого утверждения, а также **демонстрации изменчивости альbedo океана, обусловленной влиянием гидрооптических характеристик природных вод**, в частности, в случае интенсивного кокколитофоридного цветения.

Биооптические характеристики вод

«Под “биооптическими характеристиками” понимается совокупность биологических и оптических параметров, основной набор которых включает концентрацию **хлорофилла (Хл)** , показатель рассеяния назад взвешенными частицами и показатель поглощения **окрашенным растворенным органическим веществом (ОРОВ)**»

О.В. Копелевич и др., 2018

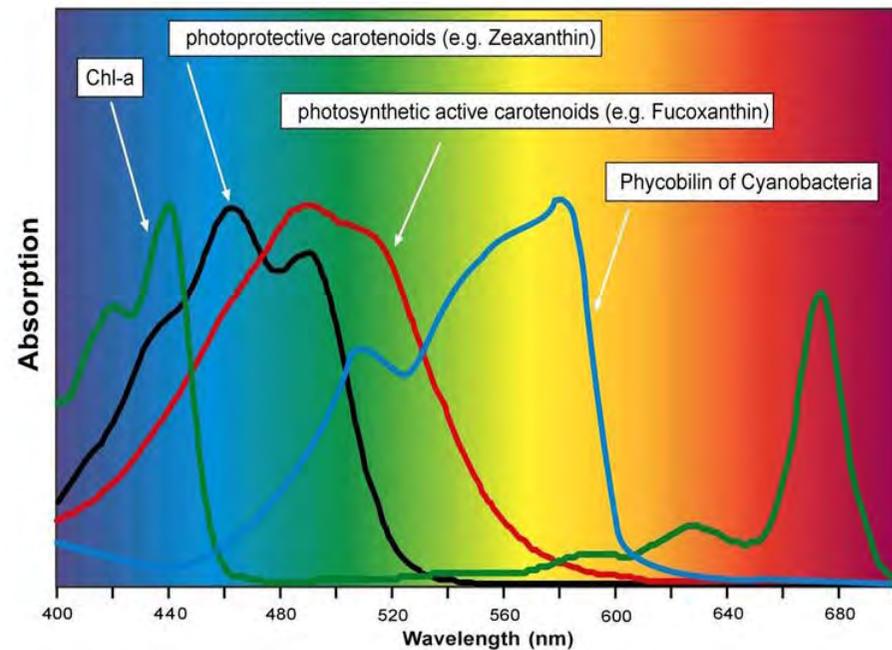
В рейсах измеряются:

1. Интенсивности флуоресценции Хл и ОРОВ
2. Показатели поглощения и ослабления морской воды
3. Концентрации хлорофилла и взвеси

Пигменты фитопланктона

Пигмент (лат. pigmentum — краска)

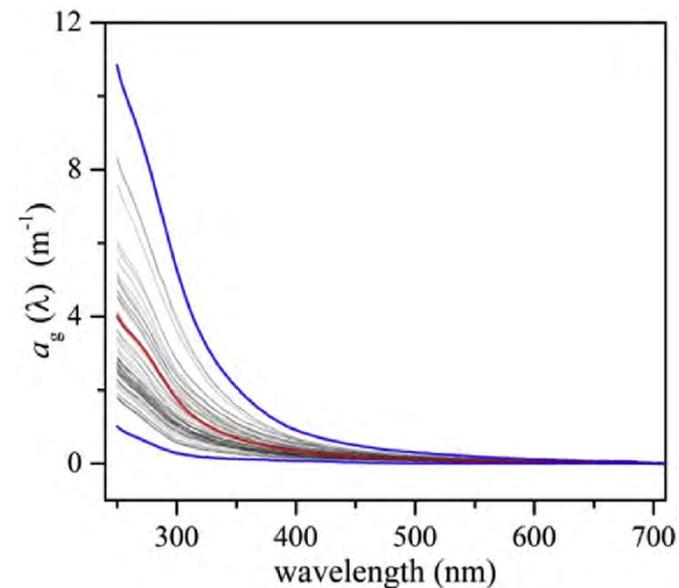
Фитопланктон (от греч. φυτόν — растение и πλανκτον — блуждающий, странствующий) — часть планктона, которая может осуществлять процесс фотосинтеза.



Окрашенное растворенное органическое вещество

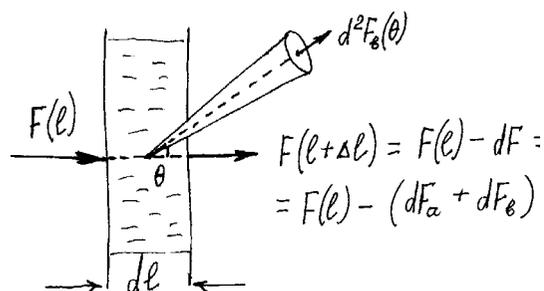
РОВ - преобладающая форма существования органического вещества в морских и пресных водах. В основной своей массе РОВ представлено водным гумусом, состоящим из труднорастворимых гуминовых кислот.

ОРОВ (или *желтое вещество*) – поглощает свет в видимой области спектра.



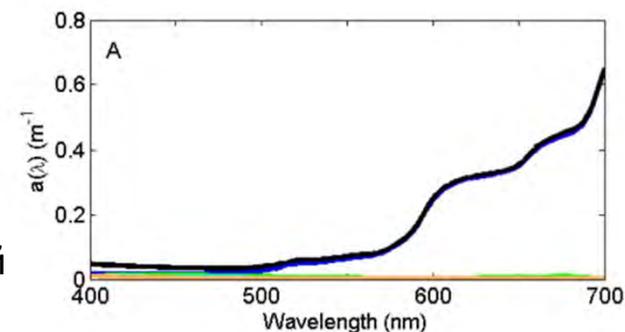
Поглощение

$$\alpha = -dF_a / F dl,$$



На что влияет:

- Фотосинтез
- Тепловой баланс
- Видимость под водой



Что поглощает в морской воде:

- Сама вода
- Растворенные вещества
- Взвешенные частицы: терригенные и биогенные

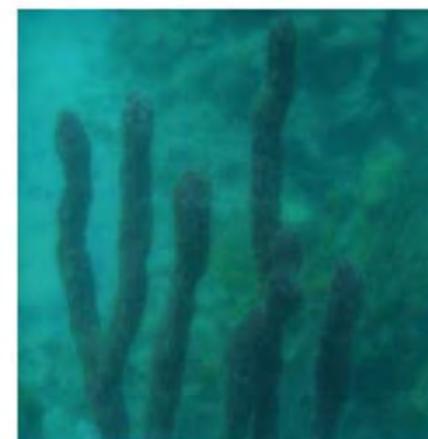
$$a(\lambda) = \sum_{i=1}^N a_i(\lambda)$$

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{\text{phyt}}(\lambda) + a_{\text{NAP}}(\lambda) + a_{\text{CDOM}}(\lambda)$$

R = 0



R = 5 m



С расстояния 5 метров красная губка перестает быть красной (Mobley, 2020)

Рассеяние

$$b = -dF_b / F dl,$$

$$d^2 F_b(\theta) = -\beta(\theta) \cdot F \cdot dl \cdot d\Omega,$$

$$\beta(\theta) = -d^2 F_b(\theta) / F \cdot dl \cdot d\Omega, \quad [\text{м}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}];$$

$$b = \int_{4\pi} \beta(\theta) d\Omega = 2\pi \int_0^\pi \beta(\theta) \sin\theta d\theta$$

Индикатриса рассеяния

$$P(\theta) = \beta(\theta)/b; \quad \int_{(4\pi)} P(\theta) d\Omega = 1.$$

Упругое:

- Молекулярное
- На частицах

Неупругое:

- Комбинационное рассеяние
- Флуоресценция

$$d^2 F_b(\theta) = -\beta(\theta) \cdot F \cdot dl \cdot d\Omega,$$

$$\beta(\theta) = -d^2 F_b(\theta) / F \cdot dl \cdot d\Omega, \quad [\text{м}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}];$$

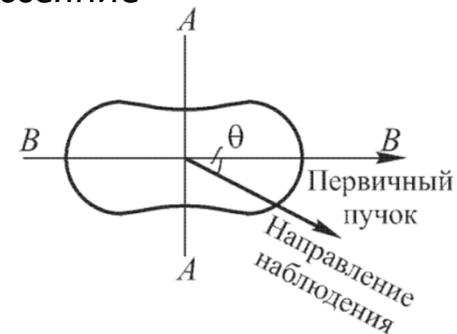
$$b = \int_{4\pi} \beta(\theta) d\Omega = 2\pi \int_0^\pi \beta(\theta) \sin\theta d\theta$$

Индикатриса рассеяния

$$P(\theta) = \beta(\theta)/b; \quad \int_{(4\pi)} P(\theta) d\Omega = 1.$$

Пример: рэлеевское рассеяние

$$I \sim 1 + \cos^2 \theta$$



Характеристики подводного светового поля

Облученность сверху (Downwelling irradiance):

$$E_d = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} L(\theta, \varphi) \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta;$$

Облученность снизу (Upwelling irradiance):

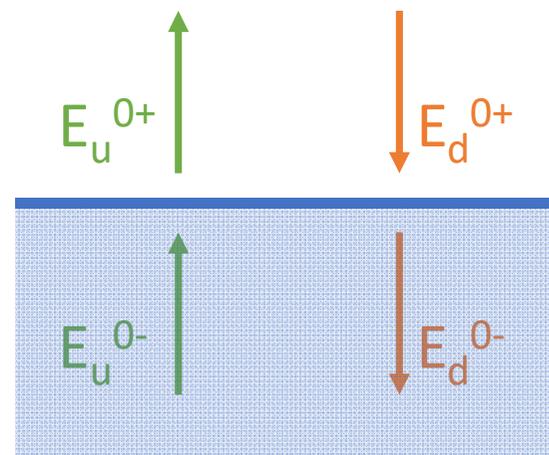
$$E_u = - \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\pi/2}^{\pi} L(\theta, \varphi) \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta;$$

Пространственная облученность (Scalar irradiance):

$$E_o = \int_{(4\pi)} L(\theta, \varphi) \cdot d\Omega;$$

Фотосинтетически активная радиация (ФАР):

$$PAR = \int_{400}^{700} E(\lambda) d\lambda.$$



$$A(\lambda) = \frac{E_u(\lambda)}{E_d(\lambda)}$$

Модель ПГХ Morel case 1 new

Morel, Antoine, and Gentili, 2002. Applied Optics 41(30), 6289-6406.

Поглощение

$$a_{\text{total}}(z, \lambda) = a_w(\lambda) + a_p(z, \lambda) + a_y(z, \lambda),$$

$$\begin{aligned} a_p(z, \lambda) &= a^*(Chl, \lambda) Chl(z) \\ &= A(\lambda) [Chl(z)]^{-B(\lambda)} Chl(z) \\ &= A(\lambda) [Chl(z)]^{E(\lambda)}. \end{aligned}$$

$$a_y(z, \lambda) = a_y(z, \lambda_o) \exp[-S(\lambda - \lambda_o)].$$

рассеяние

$$b_p(z, \lambda) = b_o [Chl(z)]^n \left(\frac{\lambda}{550} \right)^v,$$

$$\begin{aligned} v &= 0.5 [\log_{10} Chl - 0.3] \quad \text{for } 0.02 < Chl < 2 \\ &= 0 \quad \text{for } Chl > 2. \end{aligned}$$

$$\tilde{\beta}_p(\psi, Chl) = \alpha_s(Chl) \tilde{\beta}_s(\psi) + \alpha_l(Chl) \tilde{\beta}_l(\psi),$$

$$\alpha_s(Chl) = 0.855 [0.5 - 0.25 \log_{10}(Chl)]$$

Вернемся к альбедо

По определению альбедо $A = E_u / E_d$ (над поверхностью)

Поток солнечной энергии (W/m^2) $P = (1 - A) E_d$;

$E_d = E_{TOA} T$ - определение коэффициента пропускания (transmittance)

На платформе были размещены два пиранометра непрерывно с 25 мая по 28 сентября 1970 измерявшие величины E_u и E_d , а следовательно и T в спектральном интервале от 280 до 2800 нм

Максимальная высота Солнца не превышала 72 градуса

При экстраполяции предполагалось, что вклад в альбедо выходящего из воды излучения составляет ~ 0.005 .

При обработке данных выяснилось, что разброс значений

альбедо, соответствующих заданным значениям T и высоты

Солнца незначителен, что оправдывает представление

результатов в виде таблицы



Fig. 2. Buzzards Bay Entrance Light Station.

Payne RE. Albedo of the sea surface. *Journal of Atmospheric Sciences*. 1972 Jul;29(5):959-70.

Средние альбедо для заданных значений высоты Солнца и коэффициента пропускания

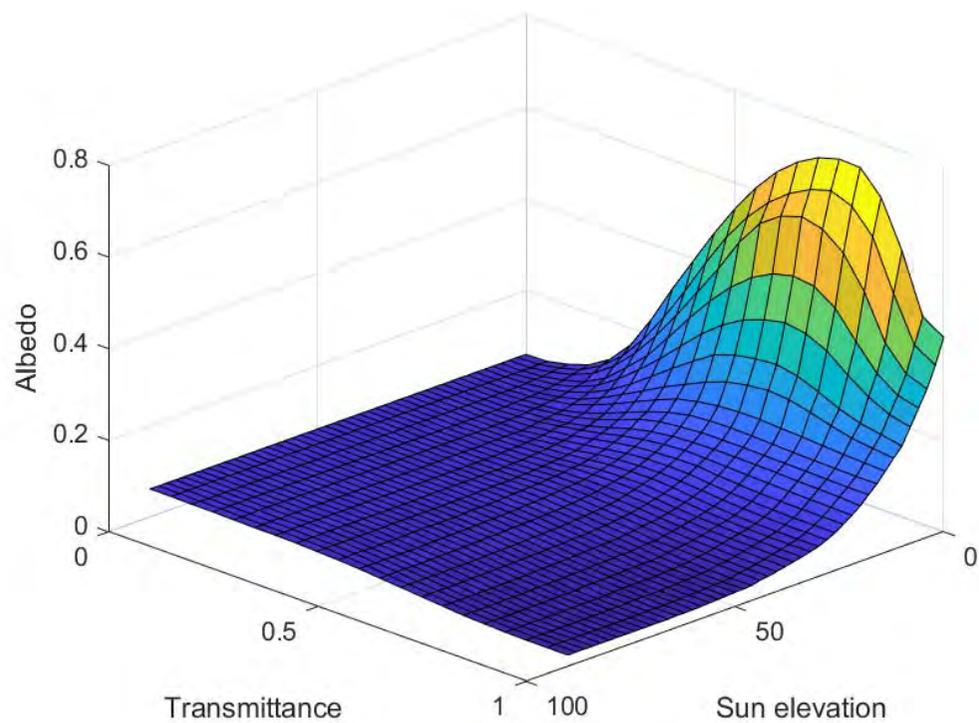
Atmospheric transmittance T	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	Sun altitude θ	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	
T	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	42°
0	.00	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061
.05	.062	.062	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.060	.060	.060	.060
.10	.072	.070	.068	.065	.065	.063	.062	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060
.15	.087	.083	.079	.073	.070	.068	.066	.065	.064	.063	.062	.061	.061	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060
.20	.115	.108	.098	.086	.082	.077	.072	.071	.067	.067	.065	.063	.062	.061	.061	.061	.061	.061	.060	.060	.060	.060
.25	.163	.145	.130	.110	.101	.092	.084	.079	.072	.072	.068	.067	.064	.063	.062	.061	.061	.061	.060	.060	.060	.060
.30	.235	.198	.174	.150	.131	.114	.103	.094	.083	.080	.074	.074	.070	.067	.065	.064	.063	.062	.061	.060	.060	.060
.35	.318	.263	.228	.192	.168	.143	.127	.113	.099	.092	.084	.082	.076	.072	.070	.067	.065	.064	.062	.062	.060	.060
.40	.395	.336	.290	.248	.208	.176	.151	.134	.117	.107	.097	.091	.085	.079	.075	.071	.068	.067	.065	.063	.062	.061
.45	.472	.413	.357	.306	.252	.210	.176	.154	.135	.125	.111	.102	.094	.086	.081	.076	.072	.071	.068	.066	.065	.063
.50	.542	.487	.424	.360	.295	.242	.198	.173	.150	.136	.121	.110	.101	.093	.086	.081	.076	.073	.069	.067	.065	.064
.55	.604	.547	.498	.407	.331	.272	.219	.185	.160	.141	.127	.116	.105	.097	.089	.083	.077	.074	.069	.066	.063	.061
.60	.655	.595	.550	.444	.358	.288	.236	.190	.164	.145	.130	.119	.107	.098	.090	.084	.076	.073	.068	.064	.060	.058
.65	.693	.631	.588	.469	.375	.299	.245	.193	.165	.145	.131	.118	.106	.097	.088	.081	.074	.069	.065	.061	.057	.055
.70	.719	.656	.603	.480	.385	.300	.250	.193	.163	.143	.129	.116	.103	.092	.084	.076	.071	.065	.061	.057	.054	.051
.75	.732	.670	.592	.474	.377	.291	.246	.190	.162	.144	.130	.114	.100	.088	.080	.072	.067	.060	.055	.051	.047	.044
.80	.730	.652	.556	.444	.356	.273	.235	.188	.160	.143	.129	.115	.097	.086	.077	.069	.064	.060	.055	.051	.046	.042
.85	.681	.602	.488	.366	.270	.232	.222	.185	.159	.142	.127	.111	.096	.084	.075	.067	.062	.058	.054	.050	.046	.042
.90	.581	.494	.393	.333	.288	.237	.211	.182	.158	.141	.126	.110	.095	.083	.074	.066	.061	.057	.053	.049	.045	.041
.95	.453	.398	.342	.301	.266	.266	.205	.180	.157	.140	.125	.109	.095	.083	.074	.065	.061	.057	.052	.048	.044	.038
1.00	.425	.370	.325	.290	.255	.220	.200	.178	.157	.140	.122	.108	.095	.083	.074	.065	.061	.056	.052	.048	.044	.038

TABLE I. (continued)

Atmospheric transmittance T	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	Sun altitude θ	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	
T	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	68°	72°	74°	76°	78°	80°	82°	84°	86°	88°	90°
0	.00	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061
.05	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061	.061
.10	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060
.15	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060	.060
.20	.060	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059
.25	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059
.30	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059
.35	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.059	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058	.058
.40	.060	.060	.059	.059	.058	.058	.058	.057	.057	.057	.057	.057	.057	.056	.056	.056	.056	.056	.056	.056	.056	.056
.45	.061	.060	.059	.058	.057	.057	.055	.055	.055	.055	.055	.055	.054	.054	.054	.053	.053	.053	.053	.053	.053	.053
.50	.060	.059	.058	.057	.056	.055	.055	.054	.053	.053	.052	.052	.051	.051	.050	.050	.050	.050	.050	.050	.050	.050
.60	.054	.053	.051	.050	.049	.048	.048	.047	.046	.045	.045	.045	.044	.044	.044	.044	.044	.044	.044	.044	.044	.044
.65	.050	.049	.047	.046	.046	.044	.044	.043	.042	.041	.041	.040	.040	.039	.039	.039	.039	.039	.039	.039	.039	.039
.70	.047	.045	.043	.043	.042	.041	.040	.039	.039	.038	.038	.037	.036	.036	.035	.035	.034	.034	.034	.034	.034	.034
.75	.043	.041	.039	.039	.038	.037	.036	.036	.035	.035	.034	.033	.032	.032	.032	.031	.031	.031	.030	.030	.030	.030
.80	.039	.037	.035	.035	.034	.033	.033	.032	.032	.031	.031	.030	.029	.029	.029	.029	.028	.028	.028	.028	.028	.028
.85	.036	.035	.033	.032	.032	.031	.030	.030	.030	.029	.029	.027	.027	.027	.026	.026	.026	.026	.026	.026	.026	.026
.90	.034	.033	.032	.031	.030	.029	.028	.028	.028	.028	.027	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025
.95	.033	.032	.031	.030	.029	.028	.027	.027	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025
1.00	.033	.032	.031	.030	.029	.028	.027	.026	.026	.026	.026	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025	.025

* Values based on observations are within the outlined area.

Графическое представление Таблицы 1



Расчеты выполнялись в спектральном диапазоне 400-1000 нм

Методы решения УПИ

Hydrolight (HL)

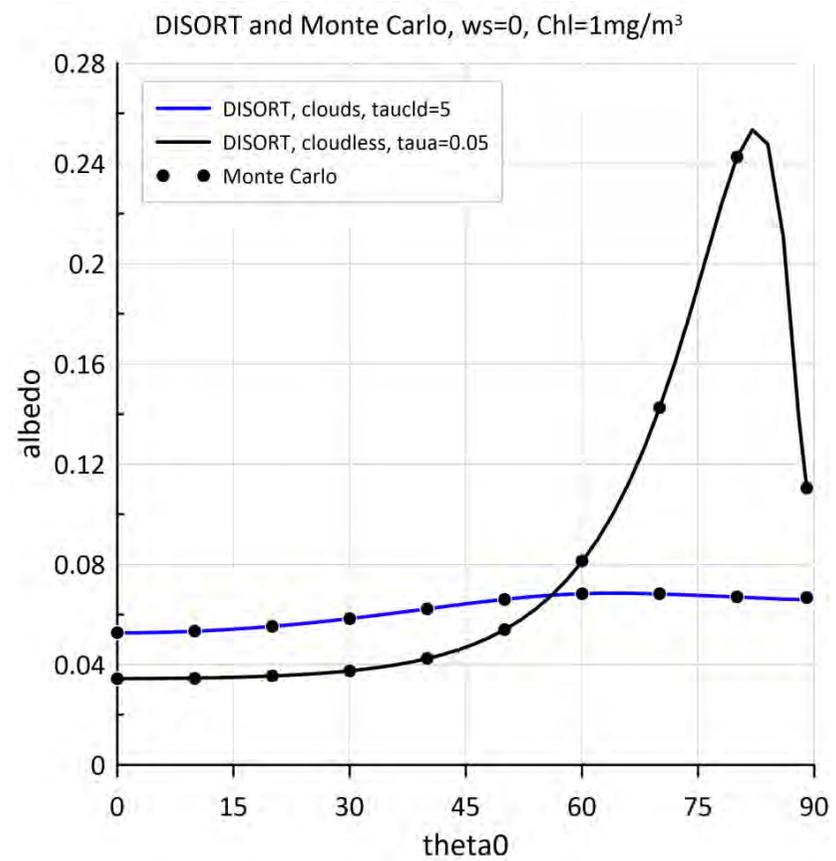
DISORT (D)

Монте-Карло (MC)

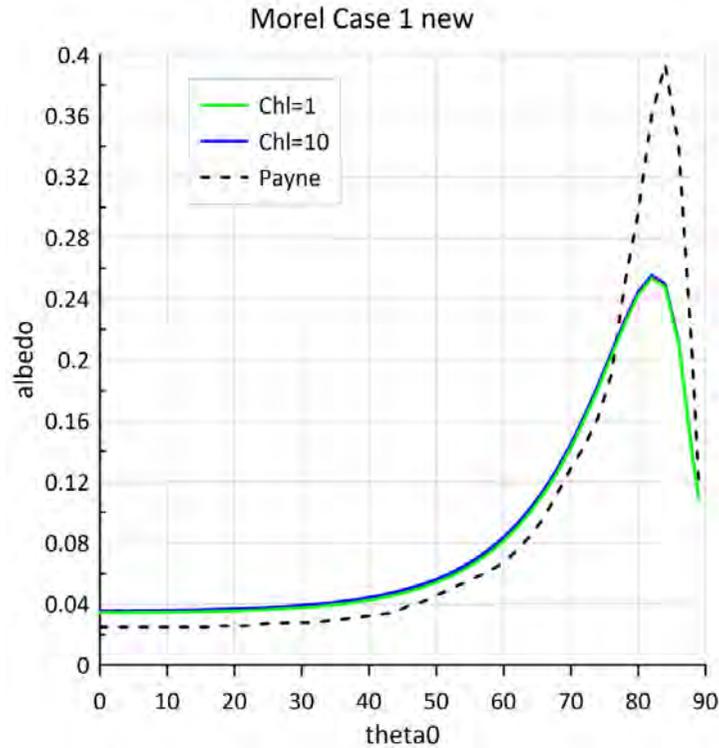
Модели ПГХ

- Morel Case 1 new (HL, D, MC)
- Morel Case 2 (HL)
- Копелевич (D)

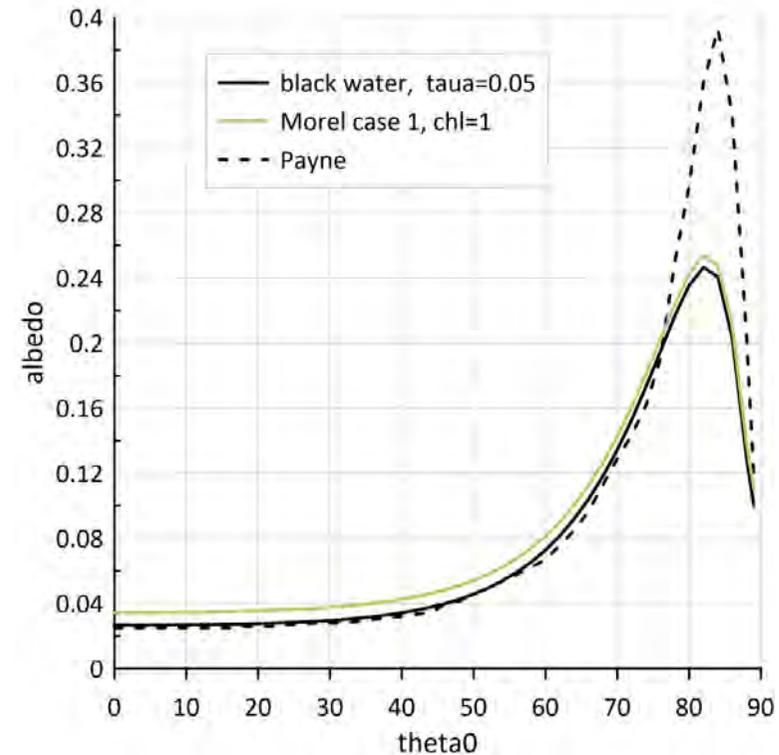
Сравнение методов дискретных ординат и Монте-Карло



Альbedo не зависит от концентрации хлорофилла

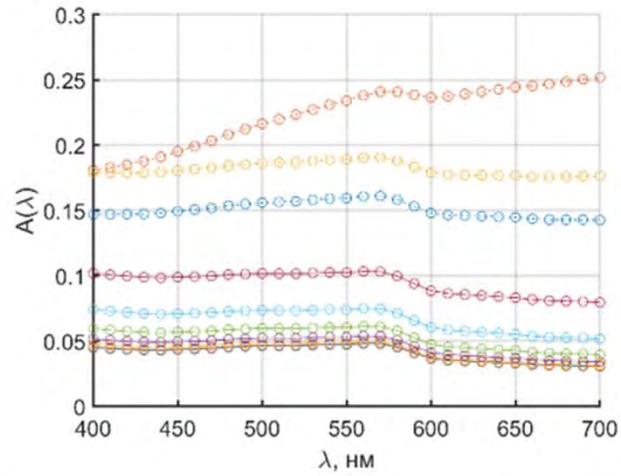
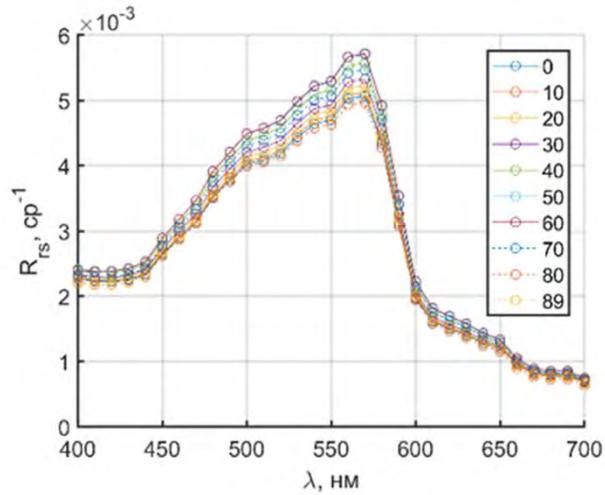
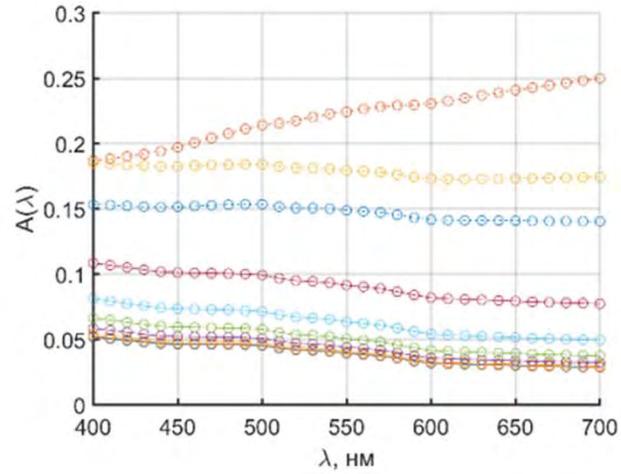
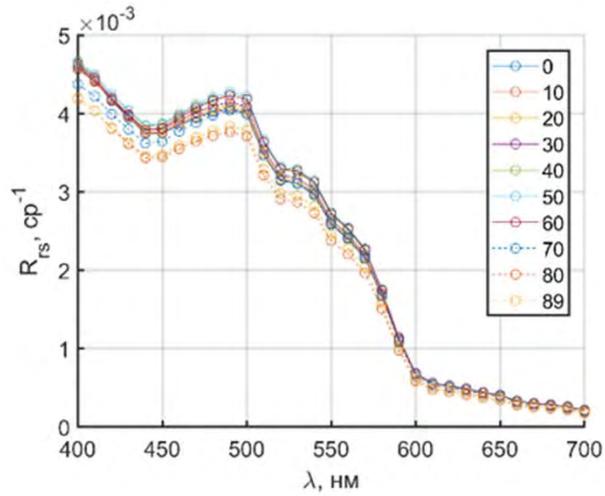


Результаты выполненных для случая вод первого типа расчетов показывают, что вклад отраженного от поверхности излучения в значения A существенно больше вклада выходящей из толщи морской воды радиации даже при относительно высокой концентрации $X_l = 10$ мкг/л.



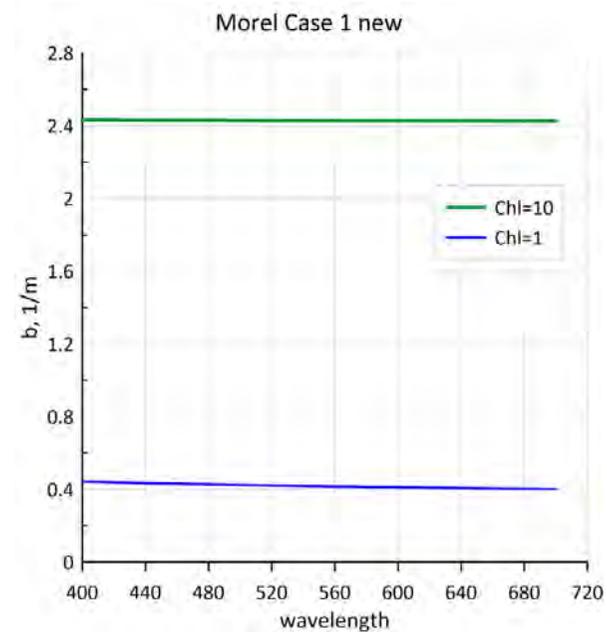
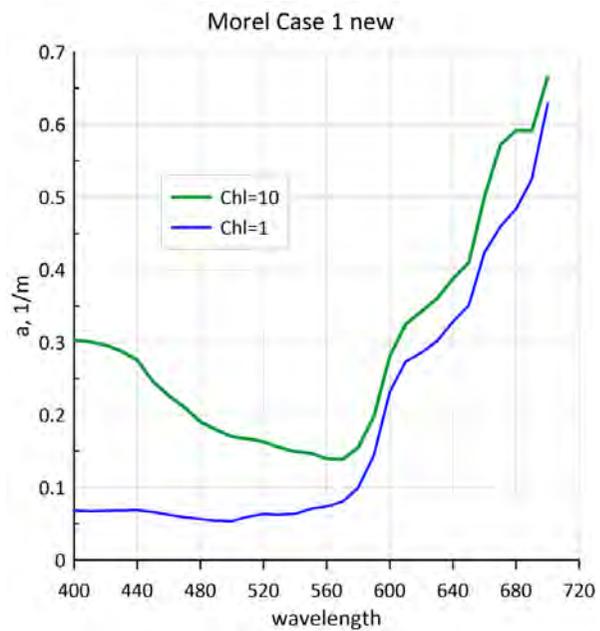
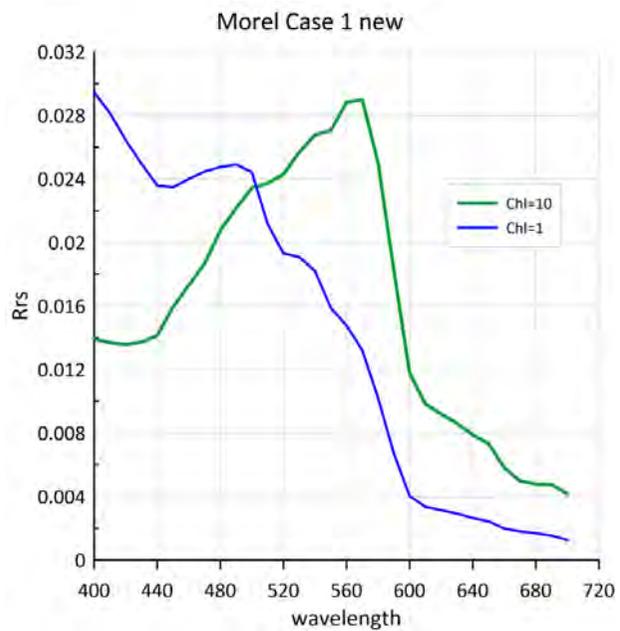
В статье измерения проводились в интервале θ от 18 до 72°. Остальные значения получены с использованием экстраполяции. Вероятно, расхождения связаны с ошибками этой процедуры.

Альbedo не зависит от концентрации хлорофилла



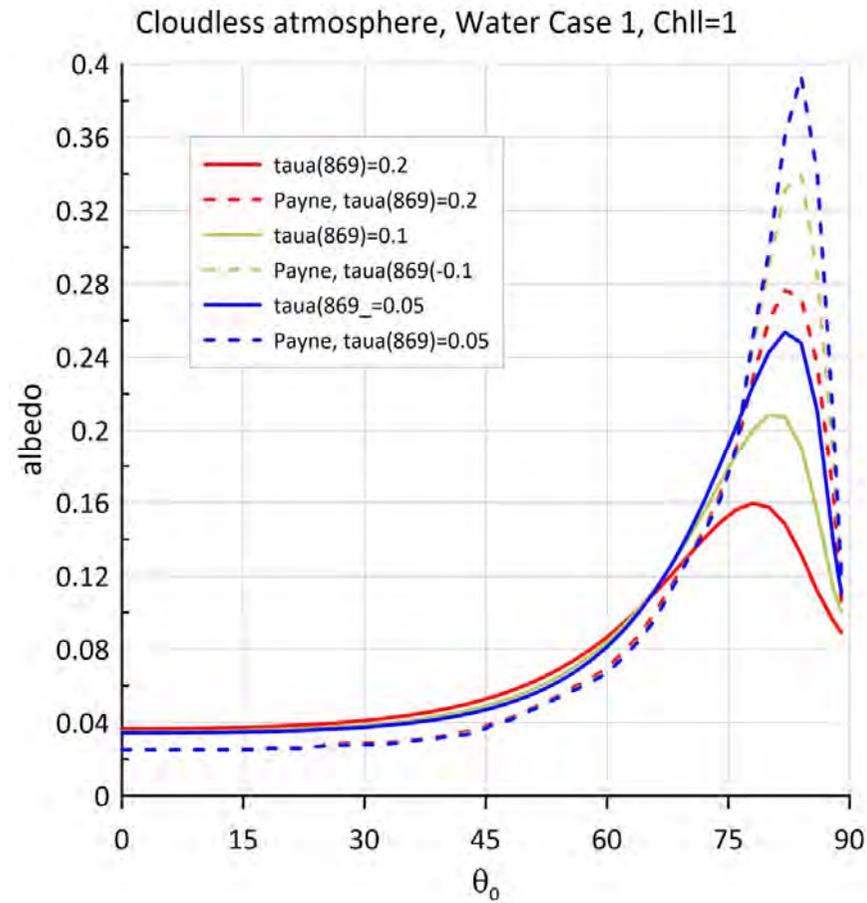
Спектральные значения коэффициента яркости моря (левый столбец) и альbedo (правый столбец), полученные с помощью HydroLight для различных зенитных углов солнца θ_0 . Модель Case 1, $X_l = 1$ мкг/л (верхний ряд) и $X_l = 10$ мкг/л (нижний ряд).

Почему альbedo не зависит от концентрации хлорофилла



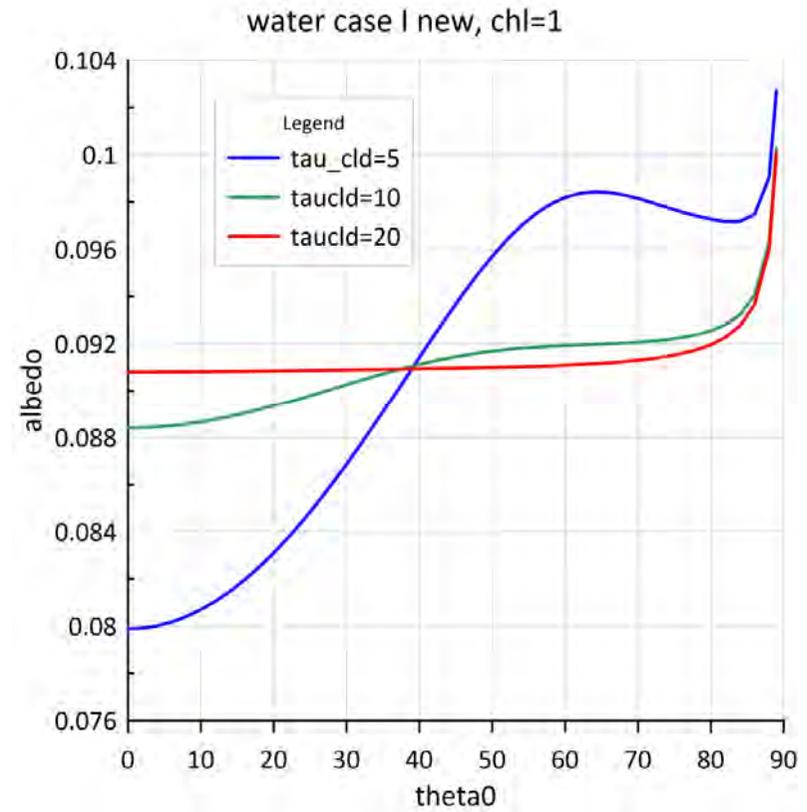
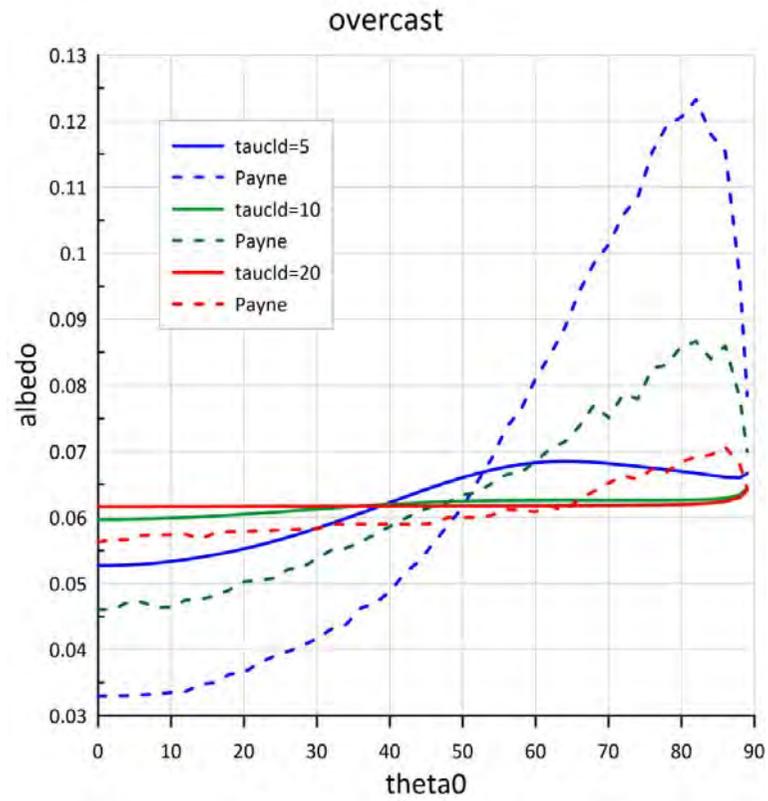
Увеличение поглощения компенсируется увеличением рассеяния

Влияние аэрозоля

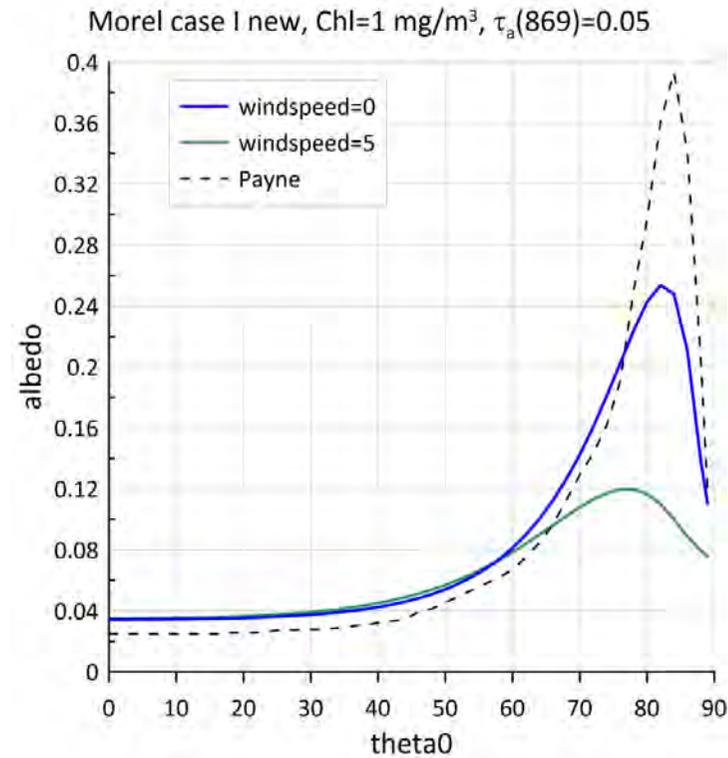


При $\theta_0 < 70$ альbedo почти не зависит от оптической толщины аэрозоля

Влияние облачности



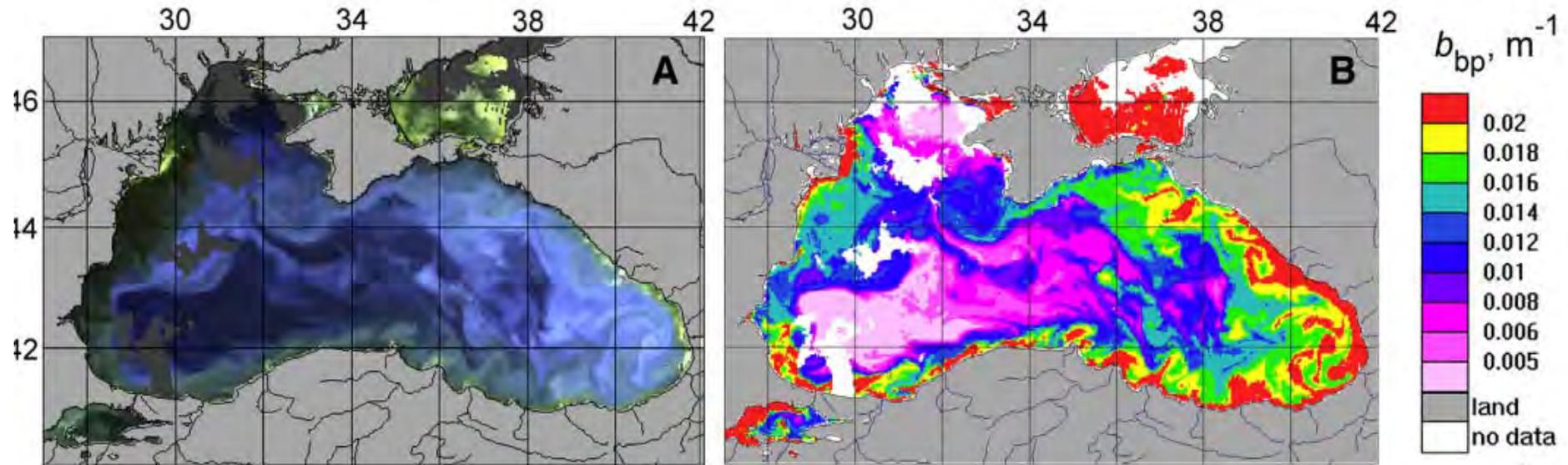
Зависимость от скорости ветра



Для $\text{SZA} < 60$ зависимость от скорости ветра незначительна

Кокколитофоридные цветения

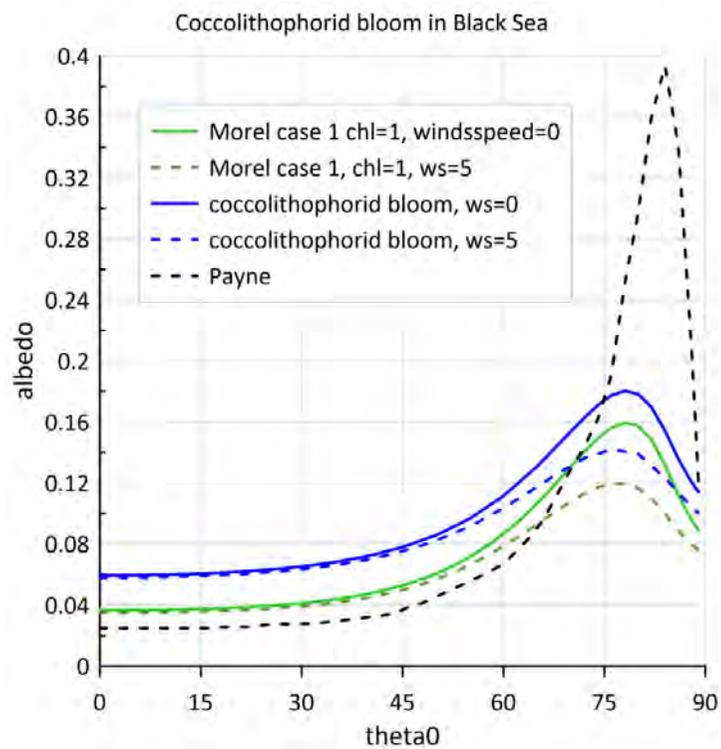
O. Kopelevich et al. / Remote Sensing of Environment xxx (2013) xxx–xxx



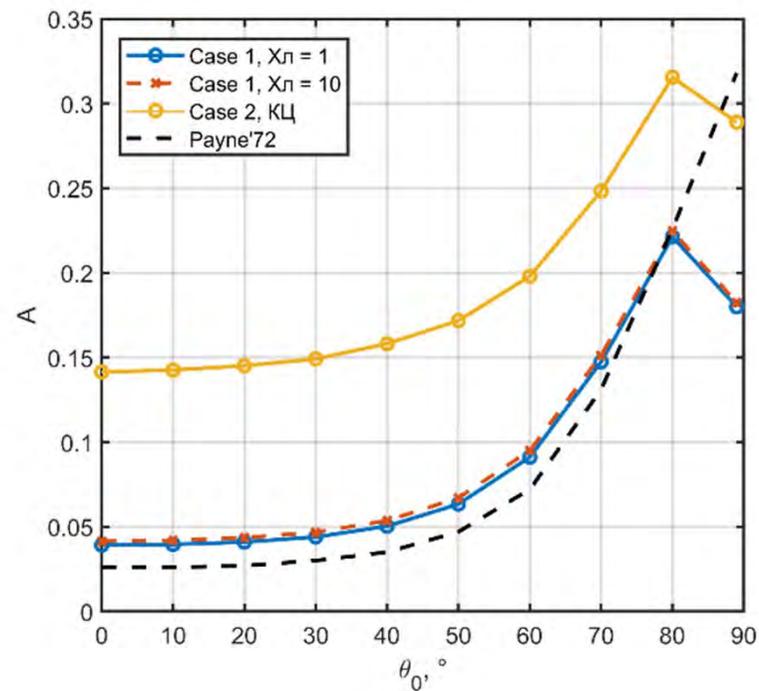
$$b_{bp} = C_{coc} \cdot N_{coc} + C_{river} \cdot a_g$$

$$C_{coc} = 0.0022, \quad C_{river} = 0.124$$

Кокколитофоридные цветения



DISORT $N_{\text{coc}}=3 \cdot 10^6$ кл/л



HYDROLIGHT $N_{\text{coc}}=10 \cdot 10^6$ кл/л

Для вод первого типа изменчивость $X_{\text{л}}$ от 1 до 10 мкг/л не приводит к изменениям A .

В случае же кокколитофоридного цветения альbedo океана в интервале 400-700 нм может увеличиваться более чем в три раза

Среднемесячные значения A для периода кокколитофоридного цветения в случае цветения и без, а также данные из работы Payne 1972

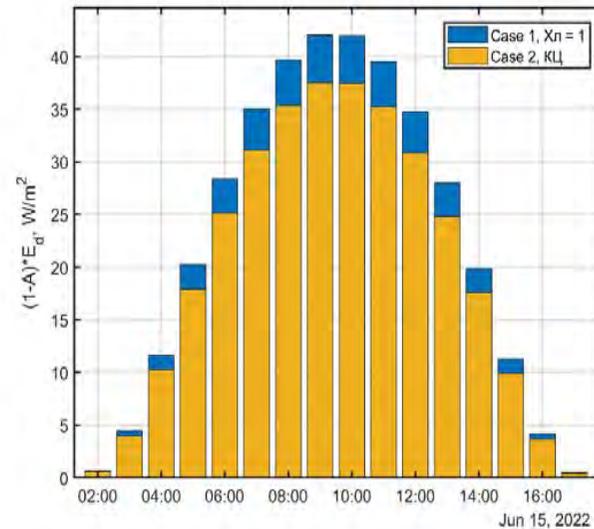
	Case 1, Chl=1	КЦ	Payne
Баренцево море, август	0.115	0.218	0.09
Черное море, июнь	0.063	0.168	0.06

В Баренцевом море в августе литературные данные ниже наших результатов на 20%.

Расхождение может быть связано с различием спектральных диапазонов и пропускания атмосферы.

Наличие интенсивного кокколитофоридного цветения существенно увеличивает среднемесячные значения альбедо: более чем вдвое в Баренцевом море и почти втрое в Черном

Зависимость величин поглощенного в толще морской воды излучения от времени суток в случае интенсивного кокколитофоридного цветения и без, Черное море, 15 июня.



Существенные различия обусловлены значительной изменчивостью альбедо. Вклад рассветных и закатных часов в общее поглощение в этом случае составляет 0,4%. Это объясняется тем, что на величину поглощенной в толще воды энергии существенно сильнее влияют условия освещения, чем значения альбедо. В рассветные и закатные часы значения зенитного угла солнца превышают 80°. Поэтому неточности оценок альбедо, приведенные в работе [3], не приводит к заметным ошибкам в расчетах дневного потока поглощенной в толще морской воды радиации. Аналогичные результаты получены для точки в Баренцевом море.

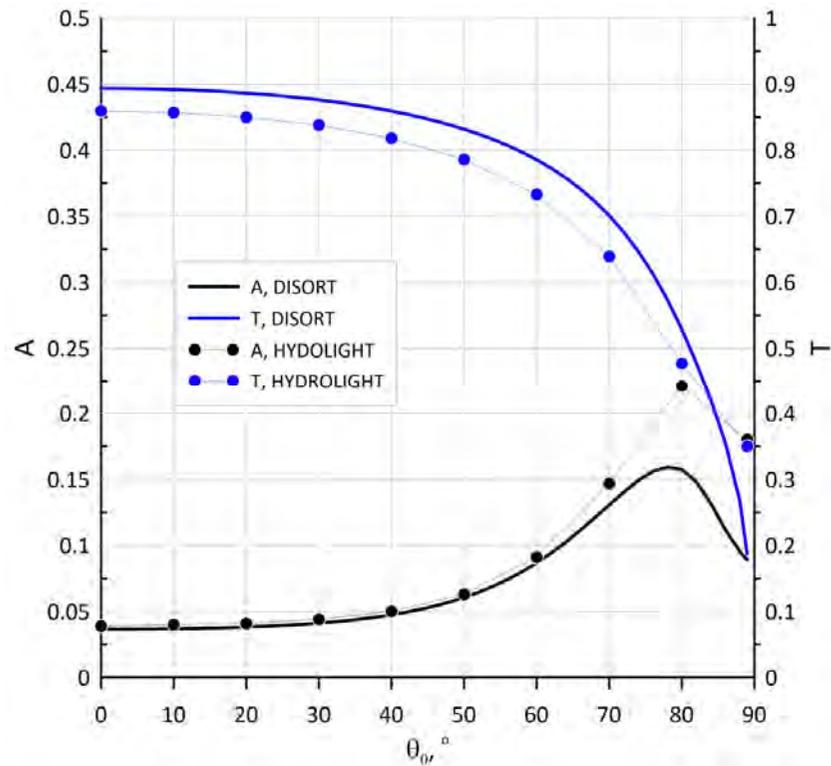
Проверка тезиса работы Payne 1972 о том, что вклад выходящего из воды излучения в альбедо составляет $0,005 \pm 0,0005$.

$$A_w = \pi \frac{\int_{300}^{1000} R_{rs}(\lambda) E_d(\lambda) d\lambda}{\int_{300}^{1000} E_d(\lambda) d\lambda}$$

Для случая вод первого типа при концентрации хлорофилла 1 мкг/л значение $A_w = 0,0054$, что полностью соответствует данным Payne 1972

В случае же интенсивного кокколитофоридного цветения эта величина становится равной $A_w = 0,077$, что более чем в 14 раз выше соответствующего значения для отсутствия цветения

Сравнение методов дискретных ординат и Hydrolight

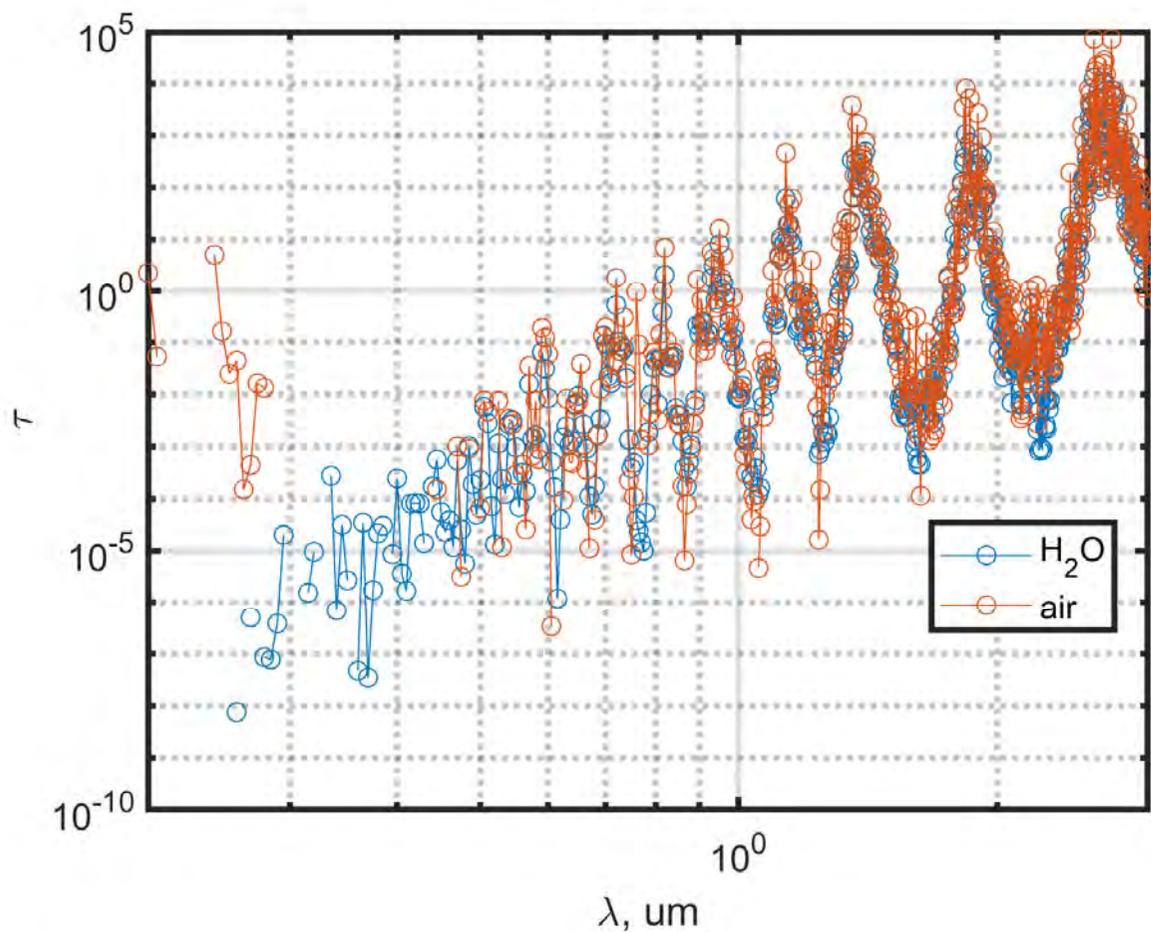


Различия обусловлены отличием подходов HydroLight и DISORT к моделированию распространения излучения в атмосфере. При $\theta_0 < 60^\circ$, где величина альбедо определяется, в основном, свойствами воды и водной поверхности, различие результатов двух алгоритмов незначительно. В то же время, величина коэффициента пропускания почти полностью определяется оптическими характеристиками атмосферы и поэтому для всех значений θ_0 наблюдается заметное отличие результатов.

Выводы

- С использованием численных методов решения уравнения переноса излучения в системе атмосфера-океан HydroLight и DISORT рассчитаны значения альбедо океана для набора первичных гидрооптических характеристик, соответствующих различным ситуациям: умеренно продуктивным водам (концентрация хлорофилла = 1 мкг/л), высокопродуктивным ($X_l = 10$ мкг/л) и случаю интенсивного кокколитофоридного цветения (8-12 млн кл./л).
- Неточности определения A при больших зенитных углах солнца не приводят к заметным ошибкам в расчетах дневного потока поглощенной в толще морской воды радиации в летние месяцы как в Черном, так и в Баренцевом море
- Показано, что принятый ранее вклад в альбедо выходящего из воды излучения, составляющий $0,005 \pm 0,0005$, соответствует только водам первого типа. Интенсивное цветение кокколитофорид может привести к увеличению этого вклада более чем в 14 раз.
- Полученные результаты показывают важность учета гидрооптических характеристик при расчетах альбедо океана, в частности, в областях цветения кокколитофорид

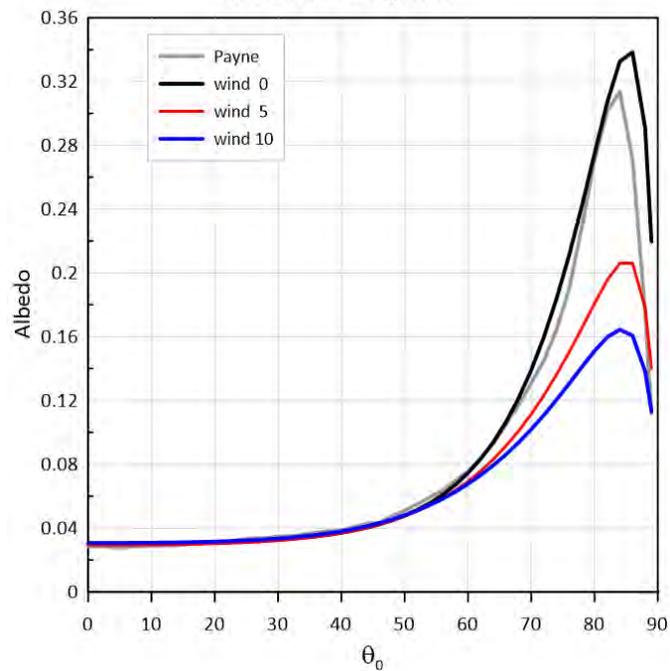
Расширение интервала до 280-2800 нм



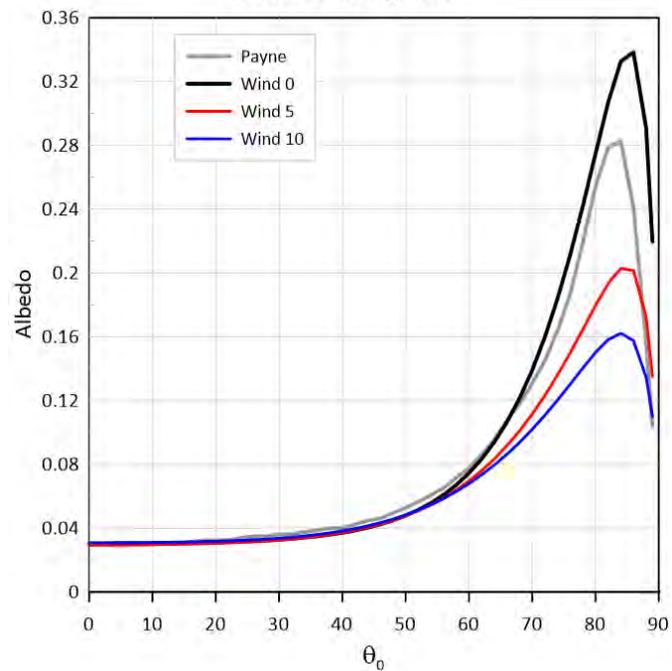
Данные о поглощении газами в атмосфере
HITRAN IOA CO PAH <https://hitran.iao.ru/home>
расчет Gas mixtures -> Pure H₂O (tau_H₂O) и
USA model, high latitude, summer, H=0 (tau_air)

Влияние влажности воздуха

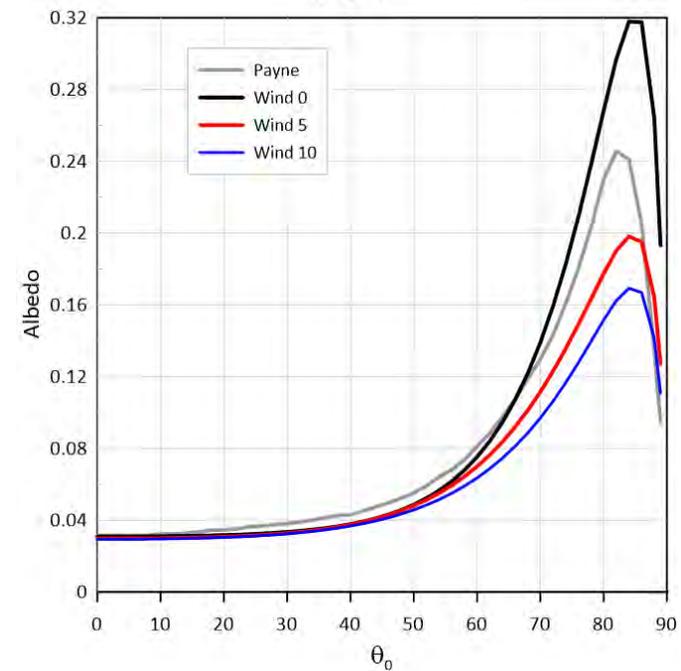
WV=25, Chl=1 mg/m³



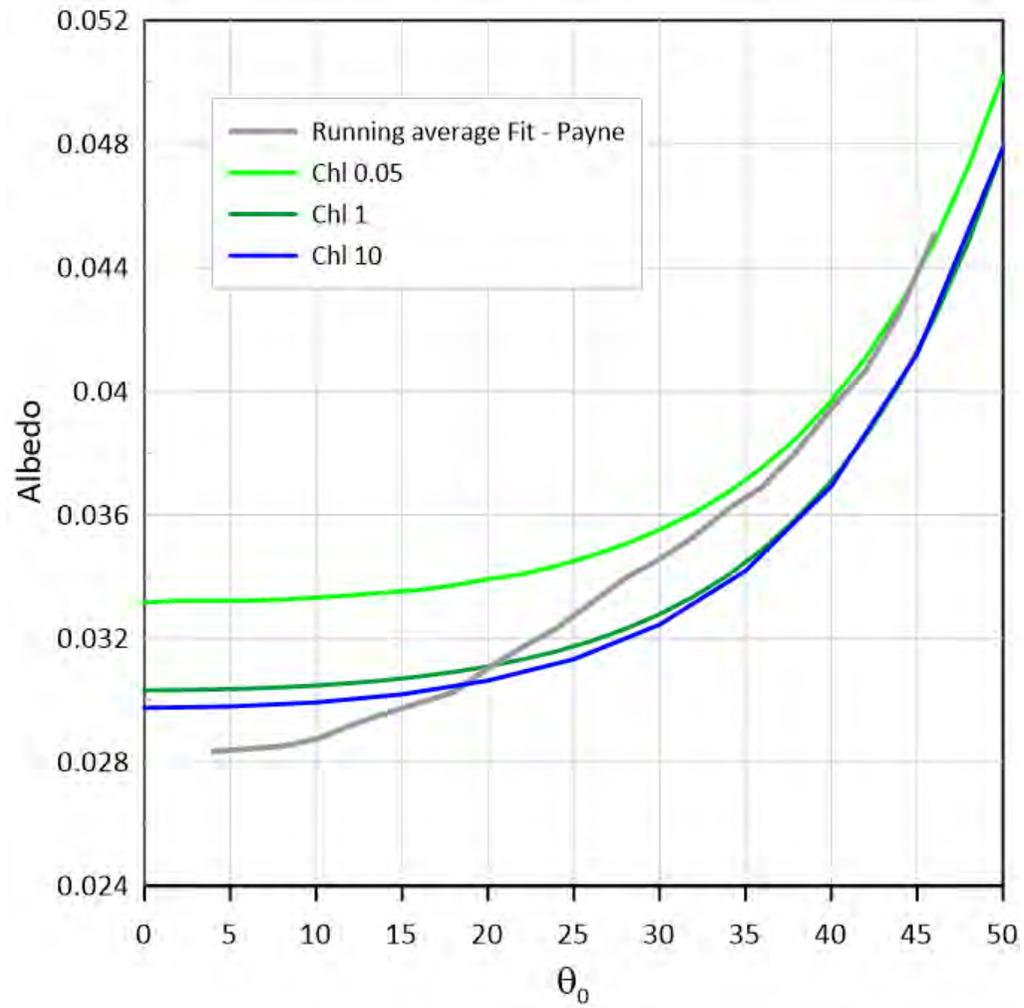
WV=40 Chl=1 mg/m³



WV=75



Уточнение влияния Хл



Заключение

- Расширение спектрального диапазона и учет ветра позволяет сравнить получаемые нами данные с результатами измерений из работы Payne'72
- Для $SZA < 60$ зависимость от скорости ветра незначительна (Неточности определения A при больших зенитных углах солнца не приводят к заметным ошибкам в расчетах дневного потока поглощенной в толще морской воды радиации)
- На основе полученных результатов готовится статья

Зависимость коэффициента пропускания от свойств подложки

