

УДК 551.465 + 591.524.12(268.45)

**С.И. Бардан**, к.б.н., **Н.Г. Сербов\***, к.г.н.

*Мурманский морской биологический институт, КНЦ РАН*

*\*Одесский государственный экологический университет*

## **ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ВОД В ЮЖНОМ КОЛЕНЕ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ) В ЛЕТНИЙ СЕЗОН**

*Изучено распределение гидрофизических параметров, структуры светового поля для зоны смешения морских и пресных вод. Показано разделение зоны смешения по гидрооптическим показателям.*

**Ключевые слова:** зона смешения, оптические показатели, гидрофизические параметры

Анализ вертикального распределения гидрооптических параметров и характеристики светового поля в толще воды, являются важными критериями при выявлении тонкой структуры деятельного слоя моря. Гидрооптические свойства водной среды определяют условия распространения и трансформацию фотосинтетически активной радиации (ФАР), формирующей теплобаланс фотической зоны, определяя их значимость как объективных физических параметров. По данным гидрооптических измерений с использованием фотометров (квантометров), оперативно выделяются слои повышенного содержания бактерио- и фитопланктона, скопления взвеси различного генезиса, характеристики нефелоидных прослоек в толще вод и на придонных горизонтах. Учитывая развитие дистанционных методов измерений (выделившихся в отдельное научное направление), прямые наблюдения за параметрами распространения ФАР в толще воды, а также оптические исследования граничных поверхностей, включая зоны смешения вод и снего-ледовый покров, приобретают особую значимость [1].

Выполненные в Южном колене Кольского залива (Баренцево море) комплексные исследования трансформации вещественного состава вод разного генезиса и тонкой структуры области «река-море» гидрооптическими методами, дают возможность охарактеризовать эту часть прибрежной зоны. Ранее, специализированных исследований структуры светового поля в зоне смешения морских и пресных вод Кольского залива не проводили. В специальной литературе опубликованных данных по характеристикам распространения ФАР на исследуемой акватории не выявлено. Некоторое исключение составляют измерения относительной прозрачности по стандартному диску Секи [2, 3, 4], позволяющие оценить этот показатель в периоды вегетации микропродуцентов, средней глубиной ~4.5 м, при диапазоне изменчивости 2.5-12 м. Учитывая нарастающую интенсивность освоения морских ресурсов Русской Арктики, полученные результаты являются актуальными при развитии береговой инфраструктуры в Кольском заливе.

**Использованные материалы наблюдений и метод исследования.** При анализе процессов в зоне смешения морских и материковых вод Южного колена Кольского залива, используются материалы на разрезе «мост» (рис. 1а) за 29 июня 2011 г., расположенного на удалении  $L = 2.8$  км от места слияния рек Тулома и Кола. Глубины на станциях №№ 1-5 изменялись в диапазоне 3-5 м, время съемки соответствовало 3-й четверти приливной волны.

Основной массив физико-химических параметров получен вертикальным профилированием измерительным комплексом приборов, оформленных как полуавтономный зонд ИМП-Квант. В состав зонда включены: стандартный STD-комплекс, измеритель дисперсного состава взвеси (ИМП-2А++), измерительные

модули определения подводной облученности ФАР Квант-АМ++ и гидрохимических параметров (производство НПП «Аквастандарт-Юг», г. Севастополь, Украина). Квантометр «Квант-АМ++» представляет собой погружной измеритель прямой и обратной ФАР $\downarrow\uparrow$  (380-720 нм), для диапазона подводной облученности 0.002-2000  $\mu\text{E}/(\text{м}^2\text{с}^{-1})$ . Он применяется при исследованиях распределения и вертикальной стратификации прямой ФАР $\downarrow$  и отраженной ФАР $\uparrow$  фотической зоны водных объектов [квант  $\text{м}^2\text{с}^{-1}$ ]. Разрешение осредненных отсчетов  $\sim 0.25$  сек, относительная погрешность квантовой чувствительности  $\pm 2.5\%$ .

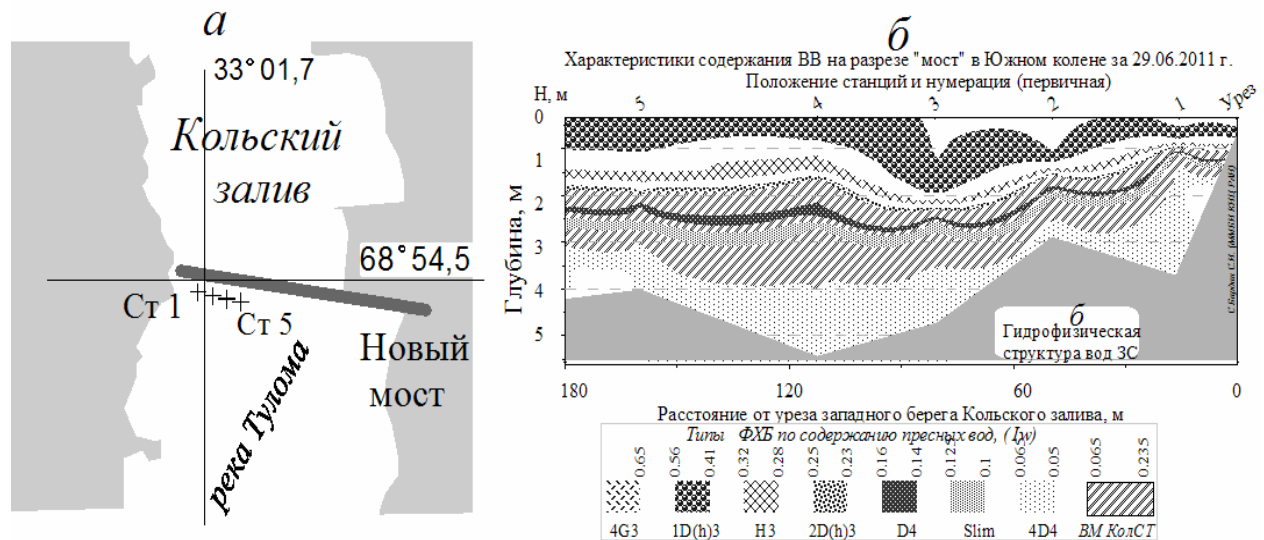


Рис. 1 – Положения станций в Южном колене Кольского залива за 29.6.2011 (расстояние от места слияния рек Кола и Тулома  $L \approx 2.8$  км) и гидрофизические структуры зоны смешения: а – положение станций № 1-5 и разреза «мост» в заливе; б – гидрофизическая структура промежуточных вод в ЗС, штриховкой и аббревиатурами выделены подсистемы материковой ветви перемешивания и каскад ФХБ [5]. Ось ординат – шкала глубин ( $H$ , м), абсцисс – расстояние от уреза западного берега, в легенде приводятся диапазоны смесей по шкале  $I_w$  (см. текст).

Интегральное влияние водной среды на световой поток описывается безразмерным коэффициентом пропускания – ( $\mu_1$ ), характеризующего подводную освещенность, рассчитанного по отношению нисходящего потока ФАР $\downarrow$  ( $E_{\downarrow}(z)$ ) на горизонте  $z_i$ , к потоку пропущенному под поверхность воды ( $E_0$ ), при условии  $z = 0$ . Коэффициент пропускания  $\mu$  интегрирует свойства ФАР $\downarrow$  от поверхности до  $z_i$  и зависит от толщины слоя вод (как и относительная прозрачность по белому диску). Производный от него показатель пропускания ( $\mu_2$ , в %) характеризует интегральное ослабление света с глубиной, показывая долю потока пропущенного через поверхность раздела «вода—воздух» и достигшую данной  $z_i$ :  $\mu_1 = E_z/E_{0\downarrow}$ . Здесь  $E_z$  — подводная освещенность на глубине  $z_i$ ,  $E_{0\downarrow}$  — подводная освещенность «сверху», под поверхностью воды, условно при  $z = 0$  (практически на глубинах 0.02—0.05 м). Величины  $E_{z\downarrow}$  соответствуют измерениям подводным фотометром, а  $E_{0\downarrow}$  получали фиксируя датчик прибора под поверхностью воды (положение поток ФАР «сверху»).

Параметром, описывающим ослабление нисходящего потока и одновременно учитывающего изменение оптических свойств водной среды для слоя  $z_i$ , является показатель ослабления  $\alpha_{\downarrow}$  - коэффициент гашения ФАР. Формально, показатель  $\alpha_{\downarrow}$  определяется как производная по  $z$  от натурального логарифма  $E_{0\downarrow}$ , вида:  $\alpha_{\downarrow}(z) = -(d/dz) \ln E_{\downarrow}(z)$ .

При этом расчет  $\alpha_{\downarrow}(z)$  ведут по формуле разности с десятичным основанием

$$\alpha_{\downarrow}(z_1, z_2) = [1/(z_2 - z_1)] \lg[E_{\downarrow}(z_1)/E_{\downarrow}(z_2)] \cdot \quad (1)$$

Полученный по формуле (1) коэффициент  $\alpha_{\downarrow}$  соответствует десятичному основанию и характеризует скорость убывания интенсивности потока ФАР $\downarrow$  на единицу глубины [м<sup>-1</sup>]. Для достаточно большой оптической толщины слоя воды и в однородной среде, величина  $\alpha_{\downarrow}$  постоянная:  $\alpha_{\downarrow} = \alpha_{\uparrow} = \alpha_{\infty} = const$ , определяемая свойствами воды [6].

Объемную долю содержания пресной воды ( $I_w$ ) в промежуточных смесях зоны смешения для любых степеней разбавления морских вод определяли по соотношению ионов солей-полиэлектролитов вступивших во взаимодействие вод. Использовали уравнение по [7]

$$I_w = (S_o - S_i)/(S_o - S'_o), \quad (2)$$

где:  $I_w$  – относительный объем пресных вод (в % либо долях) в данной смеси;  
 $S_i$  – текущая концентрация солей-полиэлектролитов (соленость) в данной смеси;  
 $S_o$  – концентрация солей в морской воде поступающих в область начального контакта вод разного генезиса;  $S'_o$  – то же, для материковых вод (пресный сток).

На рис. 1б приведены результаты выделения основных гидрофизических структур по  $I_w$  на разрезе «мост» в Южном колене, включающие такие элементы: ступенчатую структуру (ламелла зоны смешения), показанную на как смежные области  $lmA$ ,  $lmB$  и  $lmC$ , воды Кольского стокового течения (*КолСТ*), а также поверхностные баренцевоморские воды прибрежной зоны двух разновидностей: мало трансформированные (*БарВМпов*) и трансформированные (*БарВМпов<sub>mp</sub>*) пресным стоком.

**Полученные результаты.** Характерными чертами зоны смешения, для исследуемого сезона являются, с одной стороны, наличие развитой ступенчатой структуры - ламеллы зоны смешения вод [5], в которой присутствуют ее характерные области (*A*, *B* и *C*). С другой стороны, наблюдается сосуществование ламеллы с блокированной в толще вод морской ветвью ЗС - *КолСТ*. Это указывает на независимость их развития в этой части Кольского залива, при общем сопряжении границ всех подсистем зоны смешения Южного колена приливными циклами [5]. Соотношение объема поступления материковых вод в Кольский залив и размера его водной призмы, а также сочетание других условий (морфометрия котловины, распределение глубин, ориентация и др.) определяют отсутствие разрыва подсистем ЗС вдоль пути их распространения для этой части акватории [5]. Переход промежуточных смесей в геохимический класс морских вод, наблюдается на сравнительно коротком участке, охватывающем акватории Южного и Среднего колен [5, 7, 8].

На рис. 2а приведены результаты измерений подводной облученности квантометром прямой ФАР $\downarrow$  (μЕ/(м<sup>2</sup>с<sup>1</sup>)) в сечении зоны смешения (ст. № 1-5, рис. 1а), при среднем разрешении по глубине ~ 0.05 м. На рис. 2б приводится послойное ( $z_i - z_{i+1}$ ) распределение для коэффициента  $\alpha_{\downarrow}$  (м<sup>-1</sup>), характеризующего оптические свойства.

Результаты осреднения гидрофизических и оптических характеристик для разных структур зоны смешения, выделенных по промежуточным растворам в сечении Южного колена по данным зондирования, сведены в табл. 1.

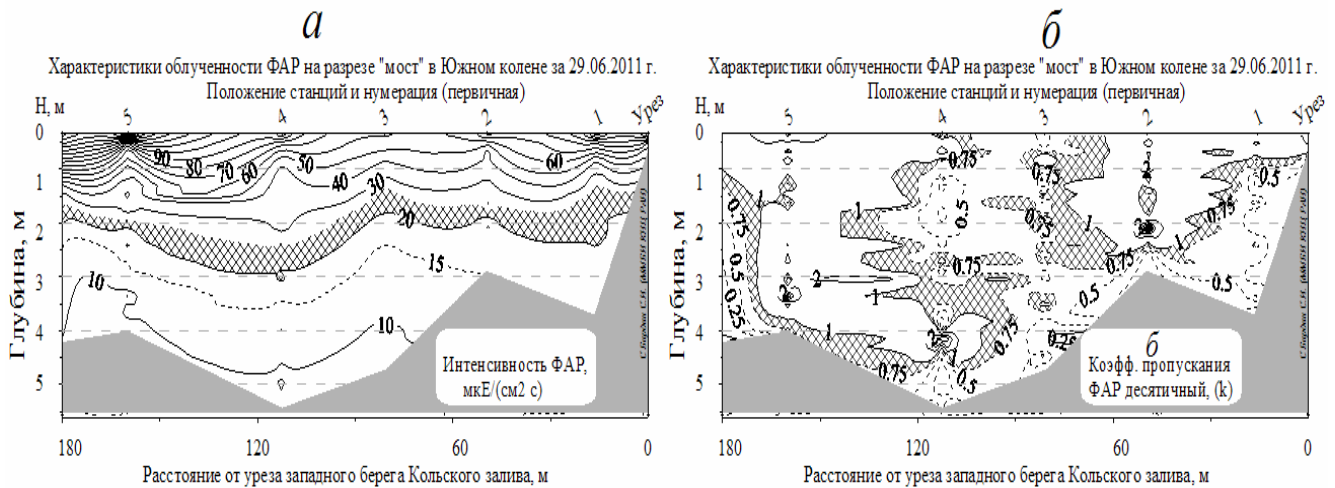


Рис. 2 – Распределение подводной облученности прямой ФАР↓ ( $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), по сечению разреза «мост» (ст. №1-5, за 29.06.2011), оси ординат – шкалы глубин ( $H$ , м), абсцисс – расстояние (м) от уреза западного берега залива: а – абсолютные значения ФАР↓, основные изолинии проведены через  $10 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , вспомогательные –  $5 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , штриховкой выделен диапазон средневзвешенных ФАР↓ в слое 0-дно  $20\text{-}25 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; б - коэффициент гашения ( $\alpha_1$ ,  $\text{m}^{-1}$ , по десятичному основанию) входного потока ФАР↓ в слое ( $z_1\text{-}z_2$ ), основные изолинии проведены через  $1.0 \text{m}^{-1}$ , вспомогательные –  $0.25 \text{m}^{-1}$ , штриховкой выделен диапазон средневзвешенных  $\alpha_1 = 0.75\text{-}1.00 \text{m}^{-1}$ .

Таблица 1 - Гидрооптические характеристики осредненные по основным разновидностям вод сечения ЗС Южного колена (ст. № 1-5, разрез «мост» от 29.6.2011), обозначения и единицы измерения приводятся в примечаниях\*

Тип вод**	Ряд	$H_{\text{сл}}$ м	$V_i$ б/р	$z_{\text{ср}}$ м	$S$ ‰	ФАР↓		
	$n$					$\mu_1$ $\mu\text{E}$	$\mu_2$ $\mu\text{E}$	$\alpha_1$
Ламелла ЗС	100	2.45	0.49	1.2	18.642	43.8	40.7	0.48
Слой $lm A$	6	0.20	0.04	0.13	13.334	77.7	78.8	1.92
Слой $lm B$	56	1.20	0.24	0.59	16.116	50.8	49.7	0.43
Слой $lm C$	38	1.05	0.21	1.19	23.428	31.4	25.2	0.27
ФХБ{НЗ}	18	0.20	0.04	1.27	23.922	29.4	25.4	0.03
Слой $max BB$	37	0.18	0.036	0.98	20.782	30.8	31.4	0.26
КолСТ	99	1.5	0.30	2.34	30.379	18.7	18.9	0.41
БарВМпов <sub>тр</sub>	74	0.95	0.19	3.44	32.204	13.4	13	0.14
БарВМпов	16	0.1	0.02	3.78	32.396	10.7	6.5	0.05
$X_{\text{ср}} = \Sigma(x_i V_i)$					26.16	31.4	29.6	0.33
Средние по массиву ст. 1-5 за 29 июня 2011								
Среднее ( $x_i$ )					26.86	26.2	24.9	0.28
Min					11.90	2.2	1.4	0.00
Max					32.42	222.4	100	18
Ст. откл. ( $\sigma$ )					6.59	22.8	19.7	2.25
$(C_v)\%$					24.5	87	79.1	800.0
					26.86	26.2	24.9	0.28

Прим.: \* $n$  – длина ряда;  $H_{\text{сл}}$  – средняя толщина слоя воды, м;  $V_i$  – относительная доля объема вод данного типа в сечении зоны смешения (ЗС), б/р;  $z_{\text{ср}}$  – среднее заглубление данного слоя, м;  $S$  – соленость, ‰; ФАР↓ - величина потока солнечной энергии,  $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ;  $\mu_2$  - относительная доля входного потока на уровне  $z_{\text{ср}}$  данного слоя от потока на горизонте  $z = 0$  м, %;  $\alpha_1$  – прозрачность среды в форме коэффициента гашения ФАР↓ ( $\lg k = \alpha_1$ ,  $\text{m}^{-1}$ ).

\*\*В столбце 1, аббревиатурами выделены разновидности вод ЗС: для ламеллы ЗС в целом, а также ее характерных областей  $lm A$ ,  $lm B$  и  $lm C$ , БарВМпов<sub>тр</sub>, БарВМпов, КолСт и смеси вод относящиеся к внутренним границам физико-химического барьера (ФХБ) типа НЗ,  $max BB$  – слой с максимальными концентрациями взвеси (характеристика перечисленных структур ЗС приведена в таблице и по тексту).

**Обсуждение результатов.** Для абсолютных величин  $\Phi AP \downarrow$ , приведенных на рис. 2а и в табл. 1, характерно стратифицированное распределение по вертикали, закономерно меняющееся «сверху-вниз» при переходе к разным структурам ЗС. Величины входного потока  $\Phi AP \downarrow$  на горизонте  $z = 0$  м, в период съемки менялись в пределах  $55-320 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Выявленный в зоне смешения слой аномального обогащения взвесью  $BV_{\max}$ , а также смеси вод на физико-химическом барьере (ФХБ) типа *НЗ*, образующихся в областях ламеллы *lmB* и *lmA*, характеризуются близкими уровнями облученности  $\Phi AP \downarrow \sim 29.4-30.8 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$  (см. табл. 1). Распределение  $\mu_2$ , в общих чертах воспроизводит изменчивость абсолютных значений  $\Phi AP \downarrow$  по  $z_1$ . Причем, в отличие от абсолютных значений  $\Phi AP \downarrow$ , доля пропущенного на глубину  $z_1$  потока меняется с большей амплитудой, а их изолинии не соответствуют рельефу дна (см. далее). Согласно распределению величин  $\mu_2$  нормированных по входному  $\Phi AP \downarrow$ , уровня дна достигает от 4 до 25% (в зависимости от  $z_1$  станций), откуда прозрачность для «линзы» опресненных вод составляющих ламеллу ЗС, близка к 10% от входного потока  $\Phi AP \downarrow$ . Следовательно, глубина компенсационной точки первичной продукции (1%  $\Phi AP \downarrow$ ) намного превышает максимальные глубины как на разрезе «мост», так и для Южного колена (средняя  $z = 13.7$  м). Поэтому, лимитирования развития микропродуцентов солнечной энергией в области смешения морских и материковых вод, для этой части залива не происходит.

Анализ вертикального распределения величин  $\Phi AP \downarrow$  в толще вод показал, что характерной чертой для всех станций являлось разделение на две области: подповерхностную и глубинную. При этом положение внутренней поверхности раздела по оптическим и гидрофизическим показателям совпадает (см. рис. 1б и 2а). Первая область относится к опресненным смесям (ламелла+*КолСТ*), вторая - к морским водам (*БарВМпов* + *БарВМпов<sub>тр</sub>*). Средние значения облученности в диапазоне  $\Phi AP \downarrow$  для приповерхностного слоя толщи 0-2.5 м составляют  $\sim 45 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , для глубинной области  $\sim 14 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Другой особенностью является резкое изменение коэффициента гашения  $\alpha_d$  и прозрачности для слоя вод разделяющих поверхностную и глубинную зоны. Причем, значения интенсивности  $\Phi AP \downarrow$  для опресненных смесей в верхней части ламеллы (*lmA*), характеризуются высокой динамичностью по входному  $\Phi AP \downarrow$ , что определяется изменчивостью поверхностной облученности определяемой метеорологическими факторами (облачность). Вместе с этим, уже для верхней части глубинной зоны, занятой трансформированными *БарВМпов<sub>тр</sub>* (см. рис. 1б), при тех же условиях наблюдается высокая устойчивость потока  $\Phi AP \downarrow$ , достигающего поверхности раздела опресненных и морских вод. В сочетании с гидродинамическими факторами, это приводит к тому, что изолинии абсолютных  $\Phi AP \downarrow$  в собственно морских водах, фактически воспроизводят рельеф дна (см., например, изолинии 10 и 20  $\mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$  на рис. 2а). По нашему мнению, абсолютные значения потока  $\Phi AP \downarrow$  на поверхности раздела подповерхностной и глубинной зон, следует рассматривать как стабилизированные оптическими свойствами опресненного слоя вод ЗС. Такая квазистабильзация потока  $\Phi AP \downarrow$  наблюдается на уровне  $\sim 20-25 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , со средней по разрезу толщиной слоя опреснения  $\sim 2.2$  м (диапазон 1.9-3.0 м).

Можно предполагать, что характер процессов протекающих в аномальном нефеллоидном слое, образующемся за счет коагуляции РОВ материкового генезиса, как и изменения структуры водной среды, наблюдаемые при таком уровне опреснения морских вод [5, 7], могут приводить к подобному эффекту. Например, за счет изменений размерного состава взвеси, при формировании равновесного распределения ее дисперсного состава, наблюдаемого при седиментации за пределы области массового развития флокуляции и коагуляции под действием морских солей-полиэлектролитов [7, 9]. Возникающие при этом процессы отражения и переизлучения

в разных частях спектра, как и эффекты самофокусировки излучений множественными поверхностями раздела, могут приводить к такому несколько парадоксальному явлению, известному в океанологии как область с глубинным режимом [1, 10]. Механизм формирования этого эффекта в областях взаимодействия «река-море», вне всякого сомнения, подлежит более детальным исследованиям.

Отметим, что эффект квазистабиллизации потоков ФАР наблюдается и при наличии снего-ледового покрова (в зимний период), также представляющего светорассеивающую среду с множеством внутренних поверхностей раздела [11]. Сходное явление выявлено и в период открытой воды, для глубинных вод субарктического оз. Имандра (Кольский полуостров). Круглогодичные наблюдения показывают [10, 11], что интенсивность облученности в глубинной части озера слабо зависит от интенсивности входного потока ФАР↓ к поверхности воды, величина которого менялась на 4 порядка. Следовательно, в самых разных условиях, включая исследуемую ЗС в области «река-море», при наличии множественных поверхностей раздела обладающих определенными светорассеивающими свойствами, уровень ФАР↓ в толще вод оказывается слабо зависящим от величины входных потоков на  $z = 0$  м.

Распределение коэффициента гашения  $\alpha_{\downarrow}$  приведенного на рис. 2б и характеризующего абсолютную прозрачность среды ( $\text{м}^{-1}$ ), резко отличается от распределения облученности, как в относительных, так и в абсолютных величинах. Общий диапазон изменений оптической прозрачности вод для ЗС составил около 2-х порядков, охватывая диапазон от сильно «мутных» вод  $\alpha_{\downarrow} = 1.92 \text{ м}^{-1}$  в верхней части ламеллы, до оптически прозрачных морских вод придонного слоя, при  $\alpha_{\downarrow} = 0.05 \text{ м}^{-1}$  (см. табл. 1). При этом уже в пределах ламеллы зоны смешения, оптическая прозрачность скачкообразно нарастает от мутных смесей в  $lmA$ , до уровня  $0.23 \text{ м}^{-1}$  в области  $lmC$ , составляя порядок величин для слоя опреснения (см. табл. 1). В нижней части зоны смешения, смеси вод относящиеся к  $КолСТ$ , также могут быть охарактеризованы как оптически «мутные», с  $\alpha_{\downarrow} = 0.41 \text{ м}^{-1}$  (табл. 1). Подстилающие их морские воды, поступающие из прибрежной зоны Баренцева моря, характеризуются как «оптически чистые», с диапазоном  $\alpha_{\downarrow} = 0.05-0.14 \text{ м}^{-1}$ . При этом в растворах вод, формирующих физико-химический (ФХБ) барьер  $НЗ$ , значения  $\alpha_{\downarrow}$  достигают абсолютного минимума, при  $\alpha_{\downarrow} = 0.03 \text{ м}^{-1}$ . Подобные оптические характеристики регистрируются в особо прозрачных морских водах халистаз [1]. Таким образом, максимальная прозрачность в смешивающихся водах приходится на тонкий слой толщиной  $\sim 0.18$  м, расположенный в нижней части ламелл (область  $lmC$ ). Он формируется промежуточными растворами ЗС, в которых происходит изменение молекулярной структуры водной среды при уровнях солености 24-25‰ [7, 12, 13].

Коэффициент  $\alpha_{\downarrow}$  закономерно распределен в толще вод зоны смешения исследуемого сечения, исключая аномальный по оптическим показателям слой области ФХБ типа  $НЗ$  (см. табл. 1). При этом для выделенного слоя с аномально высокими концентрациями взвеси ( $ВВ_{\text{max}}$ ), образующихся при флокуляции РОВ и развитии процессов коагуляции первичных частиц под действием морских солей-полиэлектролитов, значения  $\alpha_{\downarrow}$  имеют промежуточное значение, в среднем  $\sim 0.24 \text{ м}^{-1}$ . Следовательно, в слое аномального обогащения диспергированной взвесью, существенных отклонений для коэффициента гашения  $\alpha_{\downarrow}$  от общего характера его изменений, не происходит (см. табл. 1). По данным табл. 2, количественная зависимость вертикального распределения  $\alpha_{\downarrow}$  описывается степенным уравнением общего вида  $\alpha_{\downarrow} = f(z_i)$ , показанного на рис. 3.

Количественно, эта зависимость имеет вид

$$\alpha_{\downarrow} = 0.327 Z_i^{-0.84}, \text{ м}^{-1}, \text{ при } R^2 = 0.80 \text{ и } r_{xy} = 0.90. \quad (3)$$

Само существование зависимости  $\alpha_{\downarrow} = f(z_i)$  показывает, что геометрические размеры отдельных гидрофизических структур в ЗС, в значительной мере определяют структуру светового поля области смешения морских и материковых вод. Подобная зависимость установлена и для вод субарктического озера Имандра в зимний период. Предполагается, что размеры подсистем зоны смешения входят в систему естественных единиц, определяющих внутренний масштаб процессов формирующих гидрооптические свойства водной среды, по сходным принципам и вне зависимости от типа водного объекта [10]. Отметим, что реализация таких свойств, возможна при изменениях спектрального состава ФАР с формированием определенного типа распределений, описываемых показателями общего ослабления потока  $\alpha_{\downarrow}$  и изменением интенсивности облученности в разных частях спектра, т.е. величинами  $\alpha_{\lambda\downarrow}$ .

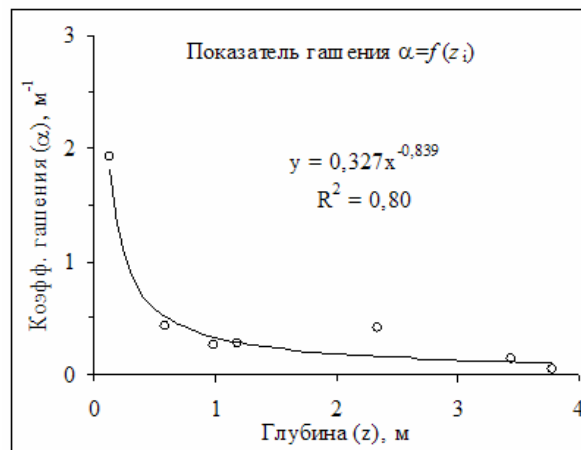


Рис. 3 – Связь вертикального распределения коэффициента  $\alpha_{\downarrow}$  с глубиной слоя ( $z_i$ ) в сечении зоны смешения Южного колена на разрезе «мост» за 29.6.2011 г.

Совместный анализ распределения гидрофизических параметров и характеристик оптического поля (см. рис. 1 и 2) показывает, что характер изменений изолиний  $\alpha_{\downarrow}$ , наиболее вероятно, в общих чертах воспроизводит конфигурацию локальных циркуляционных ячеек – вихрей с продольной (винтовой) осью вращения. Предполагается, что такие циркуляционные ячейки формируются в исследуемом сечении за счет гидродинамических факторов: сочетания влияния реверсивных течений и действия инерционных сил на отдельные слои в ступенчатой структуре ламеллы зоны смешения. Например, вертикально ориентированные области оконтурены в толще вод изолиниями повышенных  $\alpha_{\downarrow} > 0,75-1,00 \text{ м}^{-1}$ , которые на рис. 2б, соответствуют осям их вращения. Мы считаем, что выделение и возможность идентификации циркуляционных ячеек по значениям  $\alpha_{\downarrow}$  (фактически, по оптическим свойствам отдельных прослоек ламеллы), определяется как различиями гидрооптических свойств среды между смесями вод с разной степенью опреснения [12, 13], так и в связи с образованием слоя повышенных концентраций взвеси в центральной части этих структур. Предположительно, прослойки таких смесей оконтуривают устойчивые ячейки (локальные вихри) проходящие через сечение зоны смешения в период наблюдений, что и дает возможность их инструментальной регистрации. В определенной степени, вышесказанное подтверждается и распределением концентраций разных фракций взвеси.



**Заключение.** Проведенный выше анализ распределения абсолютной прозрачности среды по  $\alpha_{\downarrow}$ , в общих чертах показывает их соответствие классическим представлениям о характере изменения структуры светового поля в области взаимодействия вод разного генезиса. С другой стороны, выявляется ряд особенностей связанных с образованием аномальных по оптическим свойствам прослоек и «мутных» смесей для интенсивно смешивающихся вод ламеллы: области формирования ФХБ или «оконтуривание» локальных циркуляционных ячеек оптически различающимися смесями.

1. Экспериментальное исследование формирования гидрооптических показателей и анализ вертикального распределения уровней ФАР $\downarrow$  в толще вод зоны смешения Южного колена Кольского залива по распределению показателя  $\alpha_{\downarrow}$ , характеру углового распределения яркости, значениям облученности и совокупности других показателей, позволяет провести для светового поля выделение двух характерных областей: подповерхностной и глубинной. Первая относится к опресненным смесям вод (ламелла+КолСТ), вторая - к морским мало трансформированным водам (БарВМпов).

2. Средние значения облученности в опресненном слое толщи вод 0-2.5 м составили  $\sim 45 \mu\text{E м}^2\text{с}^{-1}$ , в глубинной области занятой морскими водами ФАР $\downarrow \sim 14 \mu\text{E м}^2\text{с}^{-1}$ . Согласно распределению относительных величин ФАР $\downarrow$  нормированных по входному потоку (%), дна достигает  $\sim 10\%$ . Соответственно, средние значения компенсационной точки при фотосинтезе превышают максимальные глубины на разрезе, а лимитирования развития микропродуцентов уровнем солнечной энергии, в области смешения вод не происходит.

3. Диапазон изменений абсолютных значений оптической прозрачности по  $\alpha_{\downarrow}$  оценивается в 2 порядка величин, охватывая диапазон от сильно «мутных» вод с  $\alpha_{\downarrow} = 1.92 \text{ м}^{-1}$  (верхняя область ламеллы), до оптически прозрачных морских вод придонного слоя, при  $\alpha_{\downarrow} = 0.05 \text{ м}^{-1}$ . Смеси растворов относящиеся к КолСТ могут быть охарактеризованы как «мутные», при  $\alpha_{\downarrow} = 0.41 \text{ м}^{-1}$ , тогда как подстилающие их морские воды, характеризуются как «оптически чистые», с диапазоном  $\alpha_{\downarrow} = 0.05\text{-}0.14 \text{ м}^{-1}$ , что подтверждает отсутствие их интенсивного перемешивания в данном сечении.

4. Коэффициент гашения  $\alpha_{\downarrow}$  закономерно распределен в толще зоны смешения, исключая аномальный по оптическим показателям слой из области ФХБ типа НЗ. Количественно, зависимость имеет вид:  $\alpha_{\downarrow} = 0.327 Z_i^{-0.839}$ ,  $\text{м}^{-1}$ .

5. Геометрические размеры гидрофизических структур зоны смешения, вполне вероятно, являются одной из естественных единиц, определяющих внутренние масштабы процессов формирующих световые поля водных систем, вне зависимости от их типа. Реализация таких свойств возможна через формирование определенного типа спектрального распределения и интенсивности светового потока в разных частях спектра  $\alpha_{\lambda\downarrow}$  соответствующих диапазону ФАР.

6. Аномально высокая прозрачность по  $\alpha_{\downarrow}$  наблюдается в тонком слое промежуточных растворов зоны смешения, образующих внутреннюю поверхность раздела в нижней части ламеллы – области *lmC*. Его характерной чертой является изменение молекулярной структуры водной среды. Для растворов содержащих барьер НЗ, величина прозрачности достигает абсолютного максимума, при  $\alpha_{\downarrow} = 0.03 \text{ м}^{-1}$ . При этом для слоя с аномально высокими концентрациями взвеси ( $\text{ВВ}_{\text{max}}$ ), выделенного независимым методом, и образующегося при развитии процессов флокуляции и коагуляции первичных частиц под действием морских солей-полиэлектролитов, значения коэффициента  $\alpha_{\downarrow}$  имеют промежуточное значение, в среднем составляя  $\alpha_{\downarrow} = 0.24 \text{ м}^{-1}$ . Это может указывать на независимость формирования этих явлений, имеющих разную физико-химическую природу. Для процессов образования взвеси это явное преобладание химических процессов с их реализацией на макроуровне первичных



частиц или агрегатов взвеси (размер 0.1-10 мкм). В свою очередь, аномалии гидрооптических характеристик имеют физическую природу с масштабом их реализации на молекулярном уровне - структура  $H_2O$ .

7. Абсолютные значения потока ФАР↓ на глубинах разделения на глубинную и поверхностную зоны смешения, в определенной степени, следует рассматривать как стабилизированные, за счет оптических свойств выше лежащего слоя опресненных вод. Такую стабилизацию в летний период наблюдали для уровня ФАР↓  $\sim 15-25 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , при средней глубине опресненного слоя  $\sim 2.2$  м, с диапазоном изменчивости 1.9-2.5 м, соответственно. Стабилизированный поток наблюдался при изменениях величин входного потока ФАР↓  $55-320 \mu E \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Образование такого явления связывается нами с изменениями структуры светового потока, проходящего через слои вод с разными свойствами соответствующих им подсистем зоны смешения и уровне опреснения морских вод. Вероятным является и влияние процессов связанных с образованием аномального нефелоидного слоя (при коагуляции РОВ материкового генезиса). Возникающие при этом явления отражения и переизлучения в разных участках спектра ФАР↓, совместно с эффектами самофокусирования, приводят к наблюдаемому явлению.

8. Установлена возможность идентификации локальных ячеек циркуляции вод зоны смешения, связанных с гидродинамическими процессами, по величине  $\alpha_1$ . Это связано с различиями гидрооптических свойств среды образующихся смесей с разными степенями опреснения, а также в связи с образованием в центральной части зоны смешения нефелоидного слоя, оконтуривающего устойчивые вихревые образования, проходящие через сечение зоны смешения морских и пресных вод.

### Список литературы

1. *Оптика океана*. Т.2. Прикладная оптика океана. - М.: Наука, 1983. – 326 с.
2. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*.– Т.1, Баренцево море. Вып.2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Под ред. Ф.С.Терзиева, Б.М.Затучной и др. – Л.: Гидрометеоиздат, 1992. – 182 с.
3. *Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты*/Отв. ред. Г.Г. Матишов. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. - 265с.
4. *Кольский залив: освоение и рациональное природопользование*/ Отв. редактор Г.Г. Матишов. - М.: Наука, 2009. - 381 с.
5. *Бардан С.И.* Количественный анализ и динамика области смешения морских и материковых вод Южного колена Кольского залива (Баренцево море)//Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Материалы международной научной конференции (6–10 июня 2011 г., Ростов–на–Дону). - Ростов–на–Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 20—24
6. *Ерлов Н.Г.* Оптика моря. - Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 247 с.
7. *Бардан С.И.* Система однородных показателей при количественном описании смешения морских и пресных вод и классификационные критерии деления областей их взаимодействия//Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: Тез.докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 10-12 марта 2010 г.). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. - С. 24—27.

8. Бардан С.И. Ишкулова Т.Г. Суточная изменчивость гидрохимических параметров в начальный период органотрофной фазы функционирования экосистемы Кольского залива (Баренцево море)//Изв. РАН сер. географ. - 2010. - №4. - С. 90-100.

9. Долгоносов Б.М. Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2008. — 440 с.

10. Бардан С.И. Формирование структуры светового поля для субарктического озера в зимний период функционирования и его характеристика на примере озера Имандра//Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Материалы VIII Всероссийской школы по морской биологии и IX международной конференции «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, 12-14 ноября 2009 г.). - М.: ГЕОС, 2009. - С. 10-23.

11. Бардан С.И. Сезонная динамика входного потока ФАРа в экосистему субарктических озер в зимний период функционирования на примере озера Имандра (Кольский полуостров) и оценка его влияния на функциональную активность планктона//Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений: Материалы VIII Всероссийской школы по морской биологии и IX международной конференции «Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген» (Мурманск, 12-14 ноября 2009 г.). - М.: ГЕОС, 2009. - С. 24-32.

12. Злобин А., Нянишкене В., Путинцев Н. Экосистемы водорослей в изменяющихся условиях среды обитания (Теория, эксперимент, предположения). Вильнюс: Моклас, 1987. - 296 с.

13. Зубов Н.Н. Морские воды и льды. - М.: Гидрометеиздат, 1938. - 453 с.

**Оптичні характеристики зони змішення морських і прісних вод в Південному колені Кольського заливу (Баренцево море) у літній сезон. Бардан С.І., Сербов М.Г.**

*Досліджено розподіл гідрофізичних параметрів, структури світлового поля для зони змішення морських і прісних вод для Кольського заливу Баренцева моря. Показано розподіл зони змішення по гідро оптичним показникам.*

**Ключові слова:** зона змішення, оптичні показники, гідрофізичні параметри

**Optical properties of the salt and fresh water mixing area in the Southern bend of Kola bay (the Barents Sea) in the summer season. Bardan S. I., Serbov N. G.**

*Distribution of hydrophysical parameters and structure of the light field for the salt and fresh water mixing area for The Kola Bay (The Barents Sea) is studied here. Separation of the mixing area by hydrooptical indices is presented.*

**Keywords:** mixing area, optical indices, hydrophysical parameters