

## ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

м.н.с. Р.Е.ВЛАСЕНКОВ, канд. физ.-мат. наук А.П.МАКШТАС

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, e-mail: aaricoop@aari.nw.ru

*На основе данных натурных исследований, выполненных на доступных для плавания акваториях морей Восточно-Сибирского и Лаптевых на г/с «Иван Киреев» в 2003 и 2004 гг., получены эмпирические зависимости между коэффициентом ослабления коротковолновой радиации, концентрацией взвеси и глубиной исчезновения диска Секки. Проведенные впервые для района исследований спектральные измерения приходящей солнечной радиации на различных глубинах позволили оценить и, в первом приближении, получить эмпирическое соотношение между интенсивностью суммарной солнечной радиации и радиации в ФАР-диапазоне в зависимости от концентрации взвесей, необходимое при разработке моделей био-химических процессов. Впервые для исследуемой акватории получены оценки пространственного распределения желтого вещества (CDOM), важные как при оценке воздействия солнечной радиации на морские организмы, так и при интерпретации спутниковых изображений.*

*Ключевые слова:* гидрооптика, моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, фотосинтетически активная радиация, концентрация взвеси

### ВВЕДЕНИЕ

Данные об оптических свойствах верхнего слоя моря являются необходимым компонентом параметризаций коротковолновой радиации в моделях биохимических процессов и оценок интенсивности обмена парниковыми газами [12]. Знание этих характеристик позволяет оценить влияние приходящей солнечной радиации на тепловой режим поверхностного слоя замерзающих морей в летний период [19, 20]. Информация о пространственной изменчивости показателей ослабления солнечной радиации в верхнем слое моря необходима также для совершенствования алгоритмов интерпретации спутниковых наблюдений и карт цветности Мирового океана [26, 27].

Сведения о спектральной подводной облученности совместно со спектральным вариантом соотношения «интенсивность фотосинтеза – коротковолновая радиация» дают возможность более точно рассчитать первичную продукцию моря по сравнению с традиционным несектральным подходом [22]. Исследования пространственного распределения желтого вещества (CDOM), интенсивно поглощающего радиацию в коротковолновой части спектра [9], важны для оценки влияния проникающей солнечной радиации на морские организмы [21] и образование промежуточных и конечных продуктов фотохимических реакций [11]. Кроме того, высокий уровень поглощения света желтым веществом в поверхностном слое моря серьезно затрудняет возможность оценки концентрации фитопланктона с помощью дистанционных измерений [17].

Оптические характеристики вод арктических морей во многом определяются концентрацией и свойствами взвешенных частиц. Это позволяет использовать их при изучении перераспределения и транспорта взвесей [5, 6, 7, 15]. Исследование пространственно-временного распределения последних, в свою очередь, представляет собой одну из важнейших проблем седиментологии [1, 2, 10], особенно принимая во внимание то обстоятельство, что мелководные шельфы моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря являются источниками большей части взвешенных частиц, переносимых льдами в Арктическом бассейне [13, 25].

Комплексные исследования, выполненные летом 2003 и 2004 гг. в период экспедиций на г/с «Иван Киреев», организованных Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН совместно с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом Росгидромета при поддержке Международного арктического научного центра Университета Аляски (США) [8], позволили получить принципиально новые данные о гидрооптических характеристиках вод южной части моря Лаптевых и доступной для плавания акватории Восточно-Сибирского моря.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Натурные исследования оптических характеристик верхнего слоя моря были проведены с борта г/с «Иван Киреев» в августе–сентябре 2003 и 2004 гг. в доступных для плавания акваториях Лаптевых и Восточно-Сибирского морей и в районе устья реки Лены (рис. 1). В общей сложности за период экспедиций были выпол-

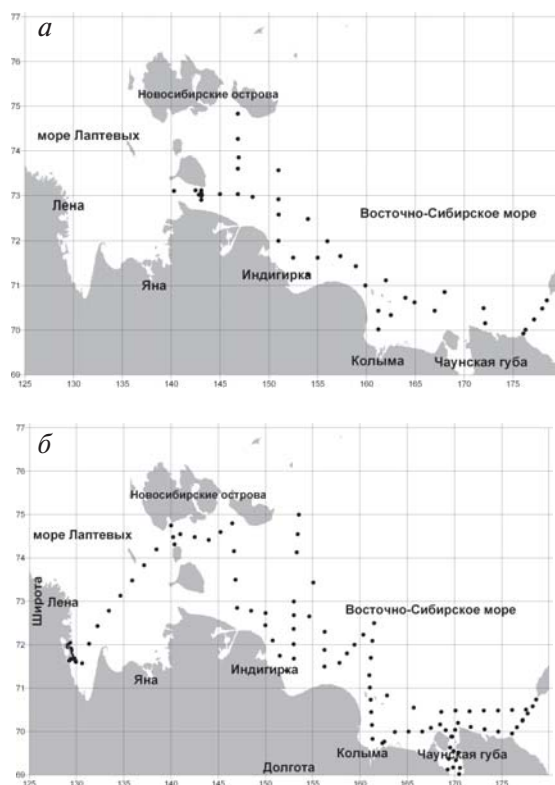


Рис. 1. Схема расположения комплексных гидрологических станций в экспедициях г/с «Иван Киреев» в моря Лаптевых и Восточно-Сибирское в 2003 (а) и 2004 (б) гг.

нены комплексные измерения гидрооптических характеристик более чем на 150 гидрологических станциях.

Измерения вертикального распределения пространственной облученности ( $E^0$ ) в диапазоне фотосинтетически активной радиации (400–700 нм, ФАР) выполнялись с помощью сферического квантового датчика LI-193SA [14], установленного на гидрозонде «Seacat profiler SBE 19plus», измерявшего также температуру, соленость, флуоресценцию и, после проведения дополнительной калибровки нефелометра на пробах, концентрацию взвесей. В отличие от других, датчик LI-193SA позволяет измерять ФАР, поступающую в единичный объем изучаемой среды со всех направлений. Такая информация чрезвычайно важна как при решении гидробиологических задач, так и при изучении тепловых процессов в верхнем слое моря, поскольку дает возможность непосредственной оценки притока ФАР в единичный объем на различных глубинах. В ходе зондирований измерения  $E^0$  выполнялись с дискретностью 0,2 м по глубине. При этом было выявлено, что начиная с глубины порядка 0,5 м облученность убывала с глубиной приблизительно по экспоненциальному закону:

$$E^0(z) = E^0(0)e^{-\alpha z}. \quad (1)$$

Коэффициент вертикального ослабления пространственной облученности  $\alpha$  для каждого зондирования рассчитывался методом наименьших квадратов с помощью пакета программ «Статистика». При расчете использовались данные измерений, выполненных до глубин, на которых  $E^0$  уменьшалась до 1 Вт/м<sup>2</sup>. Учитывая конструкцию датчика и используя, с известными оговорками, соотношение Гершуни [9], можно полагать, что величина  $\alpha$  близка к среднему для исследуемого слоя коэффициенту поглощения ФАР.

Одновременно с описанными выше зондированиями с помощью гидрозонда «Seacat profiler SBE 19plus» в период работы в дельте Лены и на акватории Восточно-Сибирского моря впервые в исследованиях гидрооптических характеристик арктических морей были проведены спектральные измерения перераспределения по глубине солнечной радиации в верхнем 3-метровом слое моря. Измерения были выполнены с помощью портативного спектрометра «FieldSpec-Pro», обеспечивающего получение информации об интенсивности приходящей солнечной радиации в диапазоне 350–2400 нм с разрешением 4 нм.

Безусловно, использование спектрометрических методов для исследования перераспределения коротковолновой радиации в морской среде гораздо более информативно по сравнению с измерениями ФАР как с точки зрения выявления физических закономерностей, необходимых для совершенствования термодинамической и гидрохимической составляющих численных моделей океана, так и для оценки концентрации CDOM, важной компоненты карбонатной системы гидросферы. К сожалению, использование стекловолоконного световода для передачи сигнала от погружаемого приемника излучения непосредственно на спектрометр ограничило натурные измерения с помощью портативного спектрометра «FieldSpec-Pro» глубиной порядка 3 м даже в штилевых условиях.

Очевидно, что оба описанных выше метода можно применять лишь в светлое время суток, что существенно уменьшает объем получаемой информации. Однако установленная в процессе обработки данных эмпирическая зависимость коэффициента ослабления  $\alpha$  от концентрации взвеси ( $C$ ), осредненной до глубины, на которой  $E^0$  уменьшалась до величины 1 Вт/м<sup>2</sup> (рис. 2), позволила существенно расширить объем информации о его пространственном распределении. Для этого использовалась полученная по данным параллельных измерений линейная зависимость:

$$\alpha \text{ (1/м)} = 0,1317 \cdot C \text{ (мг/л)} + 0,2282. \quad (2)$$

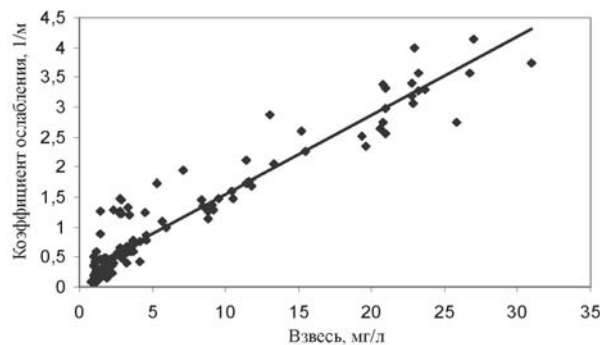


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления  $\alpha$  от концентрации взвеси

В период экспедиций проводились также оценки интегральной прозрачности морской воды по глубине исчезновения диска Секки. Методы интерпретации результатов наблюдений такого рода, широко распространенных в прошлом, подробно описаны в монографиях Ерлова и Шифрина [3, 9]. В настоящее время изучение оптических свойств верхнего слоя моря с помощью диска Секки получило новый импульс после публикации работ Левина с соавторами [4, 18]. В этих работах было показано, что при ряде ограничений, связанных с экстремально высокими (коэффициент ослабления  $\geq 2,5 \text{ м}^{-1}$ ) и низкими (глубина исчезновения диска  $\geq 30 \text{ м}$ ) концентрациями взвесей, по данным диска Секки с погрешностью порядка 30 % могут быть оценены коэффициент ослабления, вероятность выживания фотонов и вероятность обратного рассеяния радиации в ФАР диапазоне.

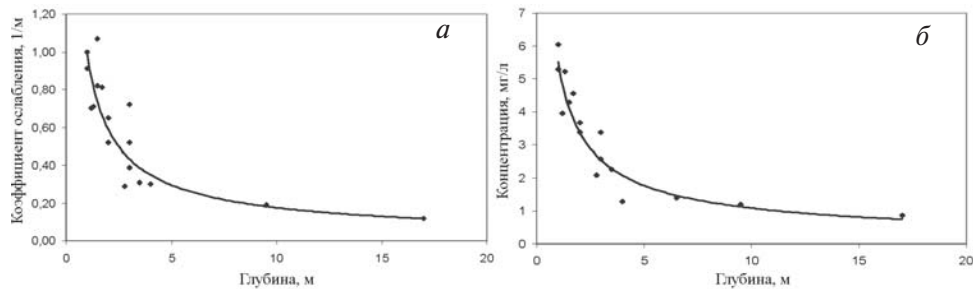


Рис. 3. Эмпирические зависимости показателя ослабления ФАР (а) и средней концентрации взвешенных частиц (б) от глубины исчезновения диска Секки

Для использования данных о глубине исчезновения диска Секки, применяемого для исследования прозрачности вод в Арктике с начала XX в., на основе данных синхронных измерений, выполненных в период экспедиций в моря Лаптевых и Восточно-Сибирское в 2003 и 2004 гг., были установлены следующие эмпирические зависимости показателя ослабления ФАР  $\alpha$  ( $\text{м}^{-1}$ ) и средней концентрацией взвешенных частиц  $C$  ( $\text{мг/л}$ ) от глубиной исчезновения диска Секки  $z_d$  ( $\text{м}$ ):

$$\alpha = 0,9955 \cdot z_d^{-0,753}, \quad (3)$$

$$C = 5,509 \cdot z_d^{-0,704}. \quad (4)$$

Уравнение регрессии (3) для ФАР позволяет оценить показатель ослабления с погрешностью  $\pm 0,15 \text{ 1/м}$  и коэффициентом корреляции 0,86. Уравнение регрессии (4) для концентрацией взвешенных частиц имеет погрешность аппроксимации

$\pm 0,54$  мг/л и коэффициент корреляции 0,91. Вид полученных эмпирических зависимостей в сопоставлении с данными наблюдений приведен на рис. 3.

Установленные зависимости, совместно с имеющимися в ААНИИ историческими данными об относительной прозрачности (по диску Секки) и цветности поверхности морей арктического шельфа (от Баренцева до Чукотского морей), полученными в период с 1956 по 2004 г., будут использованы в будущем при построении пространственных распределений коэффициента ослабления и концентрации взвесей указанных акваторий.

#### ГИДРООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

Проведенные впервые с помощью современных измерительных средств наблюдения за характеристиками оптических свойств верхнего слоя исследованных акваторий позволили не только выявить особенности их пространственного распределения, но и в известной степени оценить межгодовую изменчивость. На рис. 4 приведены рассчитанные по формуле (1) пространственные распределения коэффициента ослабления ФАР по данным измерений в сентябре 2003 и 2004 гг. Как

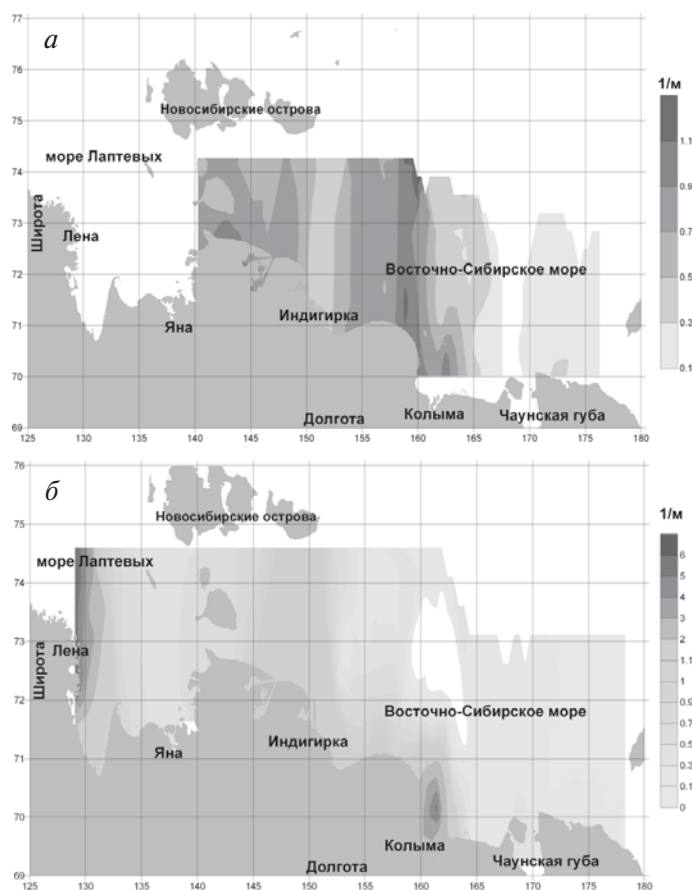


Рис. 4. Пространственное распределение коэффициента ослабления ФАР по данным экспедиций г/с «Иван Киреев» в моря Восточно-Сибирское и Лаптевых в 2003 (а) и 2004 (б) гг.

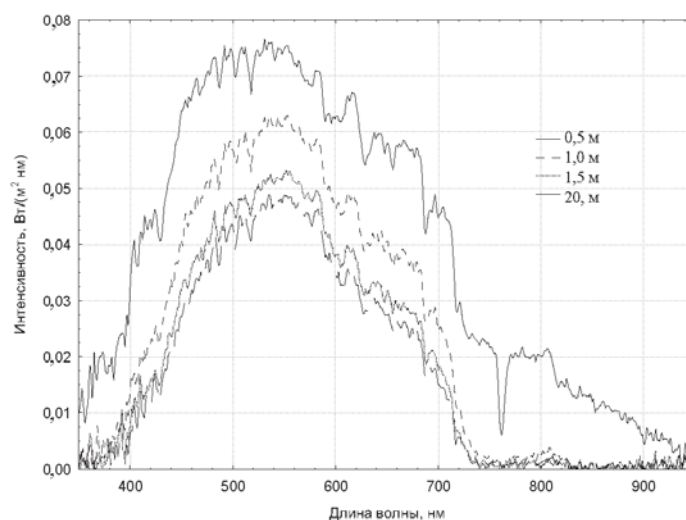


Рис. 5. Пример изменения по глубине спектральной интенсивности солнечной радиации в открытой части Восточно-Сибирского моря

видно из рисунка, величина коэффициента ослабления ФАР достигает экстремальных значений в восточной части моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, проливах Новосибирских островов, а также в районах, прилегающих к устьям рек Лены, Колымы и Индигирки. Очевидно, это связано с интенсивным выносом взвесей речными водами и процессами разрушения берегов, обусловленными таянием ледовых комплексов (напомним о линейной зависимости между коэффициентом ослабления ФАР и концентрацией взвесей, приведенной на рис. 2). Кроме этого возможной причиной такого распределения является, следуя Дудареву и др. [2], вынос терригенного материала сгонными или отливными водами от побережья и ремобилизация со дна уже осевшей взвеси. Оценкой эффективности последнего механизма могут служить результаты модельных расчетов Кулакова (настоящий сборник).

Дополнительным подтверждением возможной эффективности механизма ремобилизации может служить сравнение приведенных на рис. 4 распределений коэффициента ослабления в 2003 и 2004 гг. Как видно из рисунка, величина коэффициента ослабления даже в районах, удаленных от устьев рек, в 2004 г. была примерно в 2 раза выше, чем в 2003 г. Вероятной причиной такого различия в величине коэффициентов ослабления были погодные условия в период проведения экспедиций. Как показал анализ данных ежечасных измерений скорости ветра, при преобладании в районе исследований во время обеих экспедиций юго-восточного ветра, его средняя скорость в 2003 г. составляла 5 м/с. При этом повторяемость скорости ветра 7–9 м/с не превышала 5 %. В 2004 г. средняя скорость ветра составляла более 6 м/с, повторяемость скорости ветра 7–9 м/с — более 20 %, а скорости ветра выше 9 м/с — 12 %. Штормовые условия, имевшие место в 2004 г., обусловили интенсивное перемешивание водных масс на акваториях, глубина которых не превышала 20 м, увеличение концентрации взвеси в приповерхностных слоях за счет взмучивания осадочных пород и, соответственно, увеличение коэффициента ослабления.

Проведенные впервые в истории исследований гидрооптических свойств арктических морей спектральные измерения полупространственной облученности

позволили получить соотношения между приходящей суммарной солнечной радиацией и ФАР в верхнем слое моря в зависимости от концентрации взвесей. Такие соотношения важны, поскольку они позволяют рассчитать значения ФАР, необходимые, как было указано выше, для оценки первичной продукции моря, по данным стандартных актинометрических наблюдений в атмосфере, при которых измеряется лишь суммарная солнечная радиация. Следует указать, что исследованиям такого рода в последнее время уделяется большое внимание, например, в районах Средиземного моря [16]. На рис. 5 приведен пример изменения распределения по спектру интенсивности полупространственной облученности солнечной радиацией на глубинах от 0,5 до 2 м на акватории Восточно-Сибирского моря при высоте солнца  $10^\circ$ . Как видно из рисунка, резкое уменьшение интенсивности радиации, особенно ярко выраженное для длин волн короче 400 нм и длиннее 730 нм, происходит уже в пределах первого метровой слоя воды.

Для оценки связи ФАР и суммарной солнечной радиации и ее изменения с глубиной по данным спектральных измерений был рассчитан относительный вклад ФАР ( $E_{par}$ ) в суммарную полупространственную облученность ( $E_{sw}$ ):

$$E_{par}/E_{sw} = \int_{400}^{700} E(\lambda) d\lambda / \int_{350}^{950} E(\lambda) d\lambda. \quad (5)$$

Ограничение по верхней границе спектрального диапазона было обусловлено высоким уровнем шумов при малых уровнях регистрируемого спектрометром «FieldSpec-Pro» сигнала на длинах волн выше 950 нм.

Результаты расчетов по формуле (5) приведены на рис. 6. Как видно из рис. 6 а, отношение  $E_{par}/E_{sw}$  закономерно уменьшается с увеличением концентрации взвеси, отражая роль последней в неселективном ослаблении солнечной радиа-

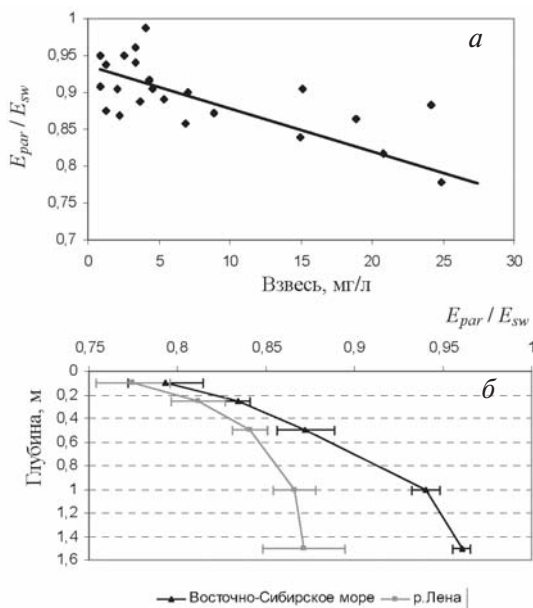


Рис. 6. Зависимость отношения  $E_{par}/E_{sw}$  от концентрации взвесей в верхнем метровом слое моря (а) и его изменение по глубине на восточной периферии Восточно-Сибирского моря и в дельте реки Лены (б)

ции мутной средой. Аналогичная зависимость  $E_{par}/E_{sw}$  от аэрозольного фактора, введенного в работе [23] и характеризующего аэрозольное загрязнение атмосферы, была получена в работе [16] по данным о величинах входящих ФАР и суммарной солнечной радиации на о. Кипр. При этом, если в верхнем метровом слое воды отношение  $E_{par}/E_{sw}$  изменяется от 0,95 для прозрачных вод северо-восточной части Восточно-Сибирского моря до 0,75 для сильно замутненных вод устьевых участков реки Лены, то для всего слоя атмосферы, следуя работе [16], это уменьшение составляет от 0,46 до 0,44 при изменении аэрозольного фактора от 0 до 0,6. Приведенное сравнение указывает на гораздо более значимую роль молекулярного поглощения и рассеяния взвешенным веществом в морской среде по сравнению с воздушной и на необходимость их учета при расчете ФАР в верхнем слое моря по данным актинометрических наблюдений в атмосфере.

Рис. 6 б иллюстрирует изменение отношения  $E_{par}/E_{sw}$  по глубине в сильно замутненных водах устьевых участков реки Лены и относительно чистой воде восточной периферии Восточно-Сибирского моря. Заметим, что данное отношение существенно меньше по величине в придонном слое речных вод по сравнению с ее величиной на той же глубине в приповерхностном слое морских вод. Причиной этого может быть как повышенная концентрация взвесей в придонном слое, так и большая концентрация фитопланктона и желтого вещества, поглощающих радиацию в коротковолновой (ФАР) части спектра.

В подтверждение последнего предположения отметим, что в период экспедиции 2004 г. впервые для исследуемой акватории были получены предварительные оценки пространственного распределения желтого вещества (CDOM). Для этого был проведен спектральный анализ проб морской воды, взятых из поверхностного слоя моря, в слое скачка плотности и в придонном слое. Спектры поглощения снимались в диапазоне 260–400 нм с разрешением 1 нм. Затем полученные спектры аппроксимировались с помощью метода наименьших квадратов формулой:

$$a(\lambda) = a(\lambda_0) \exp\{-S(\lambda - \lambda_0)\}, \quad (6)$$

где  $a(\lambda)$ ,  $a(\lambda_0)$  – коэффициенты поглощения на конкретной длине волны в исследуемом диапазоне и на длине волны  $\lambda_0 = 290$  нм,  $S$  – параметр, определяющий спектральную зависимость коэффициента поглощения, обусловленную концентрацией желтого вещества [12]. Проведенный анализ показал высокую концентрацию CDOM в приустьевых участках рек ( $S = 0,018$  1/нм) и весьма низкую ( $S = 0,030$  1/нм) – в восточной части Восточно-Сибирского моря.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Натурные исследования, выполненные в доступных для плавания акваториях морей Восточно-Сибирского и Лаптевых с помощью современной океанологической аппаратуры, позволили установить основные закономерности перераспределения солнечной радиации в приповерхностных слоях исследованных акваторий. Полученные в ходе работы эмпирические зависимости между коэффициентом ослабления, концентрацией взвеси и глубиной исчезновения диска Секки дают возможность получить новые данные о радиационном режиме и характеристиках пространственно-временного распределения взвесей морей арктического шельфа на основе реанализа хранящихся в АНИИ данных наблюдений за глубиной исчезновения диска Секки, выполненных в ходе многочисленных экспедиций 1950–1980-х гг.

Проведенные впервые для района исследований спектральные измерения входящей солнечной радиации на различных глубинах позволили оценить и, в первом приближении, получить эмпирическое соотношение между интенсивностью суммарной солнечной радиации и радиации в ФАР диапазоне в зависимости от концентрации взвесей, необходимое при разработке моделей био-



химических процессов. Впервые для исследуемой акватории были получены оценки пространственного распределения желтого вещества (CDOM), важные как при оценке воздействия солнечной радиации на морские организмы, так и при интерпретации спутниковых изображений.

Опыт, приобретенный при разработке методики наблюдений и анализе полученных данных, послужил основой планирования и проведения натурных исследований гидрооптических характеристик морей арктического шельфа в ходе экспедиций БАРКЛАВ-2007 и БАРКЛАВ-2008.

*Работа была выполнена в рамках темы ЦНТП Росгидромета 5.5. «Исследование и моделирование процессов и явлений в акватории Арктического бассейна. Обобщение результатов научных исследований в области гидрометеорологии, полученных в рамках МПГ 2007/2008» и при поддержке гранта Российско-германской лаборатории им. Отто Шмидта «Исследование радиационных характеристик, растворенного органического вещества и взвешенных частиц в Арктических морях». Авторы выражают благодарность Н.Бельчевой, выполнившей спектральный анализ проб морской воды на CDOM, И.Семилетову, руководителю экспедиций, и всем членам экспедиций на борту э/с «Иван Киреев» за помощь в выполнении исследований.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Н.А., Матюшенко В.А., Шевченко В.П., Политова Н.В., Потехина Е.М. Новые данные о поперечной структуре латеральных потоков взвешенного вещества по периферии Баренцева моря // Геоэкология. 1999. № 4. С. 526–540.
2. Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П., Боцул А.И., Космач Д.А. Современное осадкообразование на приконтинентальном шельфе Восточно-Сибирского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / Ред. В.П.Челомин. М.: Наука, 2007. С. 382–391.
3. Ерлов Н.Г. Оптическая океанография. М.: Мир, 1970. 223 с.
4. Левин И.М., Копелевич О.В. Корреляционные соотношения между первичными гидрооптическими характеристиками в спектральном диапазоне около 550 нм // Океанология. 2007. Т. 47. № 3. С. 374–379.
5. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
6. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. Гидрооптика и взвесь арктических морей // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 1. С. 70–79.
7. Матюшенко В.А. Пространственно-временная изменчивость гидрооптических характеристик Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции 11–14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия. Петрозаводск, 2005. С. 218–223.
8. Семилетов И.П., Дударев О.В., Пинко И.И., Салюк А.Н., Шахова Н.Е. Морские исследования в Арктике на рубеже третьего тысячелетия // Дальневосточные моря России. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / Ред. В.П.Челомин. М.: Наука. 2007. С. 309–324.
9. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 278 с.
10. Anoshkin A.F., Popov I.E., Ushakov I.E. TRANSDRIFT Shipboard Scientific Party. Hydrooptical measurements in the Laptev Sea: spatial distributions of light attenuation and chlorophyll fluorescence // Reports on Polar Research. 1995. Vol. 196. P. 178–186.
11. Blough N.V. Photochemical processes // Encyclopedia of Ocean Sciences (J.Steele, S.Thrope, K.Turekian, Eds). Academic Press, London, 2001. P. 2162–2172.
12. Blough N.V., Del Vecchio R. Chromophoric DOM in the coastal environment // Biogeochemistry of marine dissolved organic matter (ed. D.A.Hansell and C.A.Carlson). Academic Press, London. 2002. P. 509–545.
13. Eicken H., Kolatschek J., Freitag J., Lindemann J., Kassens H., Dmitrenko I. A key source area and constrains on entrainment for basin-scale sediment transport by Arctic sea ice // Geophys. Res. Letters. 2000. Vol. 27. P. 1919–1922.

14. Gensler W.G. Advanced Agricultural Instrumentation // Proceedings from the NATO Advanced Study Institute on «Advanced Agricultural Instrumentation», Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1984. P. 1–10.
15. Ivanov B.V., Ionov V.V., Orbaek Jon-Borre // Indirect method of adjectives of the concentration suspended particles in the waters of the Western Svalbard fjords // Complex investigation of Svalbard nature. Apatity Publ. KSC RAS. 2005. P. 297–301.
16. Jacovides C.P., Tymvios F.S., Asimakopoulos D.N., Theofilou K.M., Pashiardes S. Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin // Theor. Appl. Climatol. 2003. Vol. 74. P. 227–233.
17. Kahru M., Mitchel B.G. Seasonal and nonseasonal variability of satellite-derived chlorophyll and dissolved organic matter concentration in the California Current // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 2517–2529.
18. Levin I.M., Radomyslskaya T.M. Secchi disk theory: a reexamination // Proc. of SPIE. 2007. Vol. 6615. P. 661500-1–661500-11.
19. Makshtas A.P., Bogorodsky P.V. A slush-field formation in the Arctic Basin // Meteorology and Hydrology. 1996. Vol. 8. P. 72–80 (in Russian).
20. Makshtas A.P., Korsnes R. Distribution of solar radiation in the Barents Sea marginal ice zone during summer // J. Geophys. Res. 2001. Vol. 106. P. 2531–2543.
21. Neale P.J., Keiber D.J. Assessing biological and chemical effects of UV in the marine environment: Special weighting functions. In «Causes and Environmental Implications of Increased UV-B Radiation» (R.E. Hester and R.M. Harrison, Eds). The Royal Soc. of Chemistry, Cambridge, UK. Issues in Environmental Science and Technology. 2000. № 14. P. 61–83.
22. Sathyendranath S., Platt T., Caverhill C.M., Warnock R.E., Lewist M.R. Remote sensing of oceanic primary production: computations using a spectral model // Deep-Sea Res. 1989. Vol. 36. № 3. P. 431–453.
23. Unsworth M.H., Monteith J. L. Aerosol and solar radiation in Britain // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 1972. Vol. 98. P. 778–797.
25. Wegner C., Holemann J.A., Dmitrenko I., Kirilov S., Kassens H. Seasonal variations in Arctic sediment dynamics – evidence from 1-year records in the Laptev Sea (Siberian Arctic) // Global and Planetary Change, 2005. Vol. 48. P. 126–140.
26. Woerd van der H., Pasterkamp R. Mapping of the North Sea turbid coastal waters using SeaWiFS data // Can. J. Remote Sensing. 2004. Vol. 30. № 1. P. 44–53.
27. Wozniak B., Dera J., Majchrowski R., Kaczmarek, S., Ostrowska M., Koblentz-Mishke O.I. Model for the in vivo spectral absorption of algal pigments. Part 1. Mathematical apparatus // Oceanologia. 2000. Vol. 42(2). P. 177–190.

R.E.VLASENKOV, A.P.MAKSHTAS

### HYDROOPTICAL CHARACTERISTICS OF THE LAPTEV AND EAST-SIBERIAN SEAS

*Based on the data of experimental investigations executed in open waters of the East - Siberian and Laptev Seas on the board of research vessel «Ivan Petrov» in 2003 and 2004, the empirical dependences between intensity of global short-wave radiation, concentration of suspended matter and depth of Seichi disk disappearance have been developed. Spectral measurements of penetrated to different depths solar radiation, carried out for the first time in the area under study, have allowed to estimate and, as a first approximation, to develop the empirical ratio between intensity of global solar radiation and PAR radiation in dependence on concentration of the suspended matter, important for modeling of biochemical processes. First time the spatial distributions of chromophoric dissolved organic matter (CDOM), important for estimations the influence of solar radiation on aquatic organisms as well as interpretation of satellite images has been constructed for the investigated area.*

*Keywords:* Hydrooptic, Laptev and East-Siberian Seas, photosynthetic active radiation.