

Корреляция оптических и прямых измерений концентрации взвешенного вещества в Карском мореИ. А. Замятин¹, С. А. Щука^{1,2}, М. Д. Кравчишина², В. А. Артемьев²¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

Цель работы - исследование распределения концентрации взвеси в водной толще Карского моря в сентябре 2015 г. в связи с гидрологическими условиями. С этой целью были выполнены определения концентрации взвеси в поверхностном слое и в водной толще на кросс-шельфовых разрезах; проведен анализ данных мутности и показателя ослабления света взвесью (C) измеренных *in situ*; изучено влияние топографии дна и гидрологических условий на концентрацию взвеси. Новые данные позволяют расширить представления о современных условиях седиментации в арктических шельфовых морях, находящихся под влиянием климатических изменений.

Для изучения количественного распределения водной взвеси раньше всего стали применяться оптические методы. Известно, что между концентрацией взвешенных частиц и прозрачностью воды существует тесная зависимость [1]. Измерение рассеяния света используется для исследования взвеси, начиная с пионерных работ в 40–60-х гг. XX века [2; 3; 4]. Для различных районов Мирового океана была установлена надежная линейная зависимость между мутностью, измеряемой *in situ*, и концентрацией взвеси, определяемой на мембранных фильтрах с помощью вакуумной фильтрации. Совместное измерение C и концентрации взвеси позволило установить линейную зависимость между этими параметрами для Карского моря и других арктических морей, где R^2 достигал 0.97 [5; 6; 7].

Материал для настоящих исследований собран на 28-и комплексных океанологических станциях в западной и восточной частях Карского моря в 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” с 30 августа по 6 октября 2015 г. Изученная акватория моря находится за пределами непосредственного влияния маргинальных фильтров рек Оби и Енисея. Отобрано 129 батометрических проб воды с помощью комплекса Rosette (розетта) SBE 32. Горизонты отбора проб выбирали на основе данных зондирования STD-зондом, оснащенный, в том числе, датчиками мутности и интенсивности флуоресценции хлорофилла.

Пробы общей взвеси (мг/л) собирали стандартным методом фильтрации под вакуумом 400 мбар с помощью мембранных ядерных фильтров (Ø 47 мм, Ø пор 0.45 мкм, полотно производства ОИЯИ, г. Дубна). Каждая проба воды (~5 л) одновременно фильтровалась через три и более фильтра. Концентрацию взвеси определяли взвешиванием фильтров с точностью до ± 0.001 мг, соотнося с объемом отфильтрованной воды.

Для измерения мутности морской воды (FTU) был использован STD-зонд SBE 911plus фирмы SeaBird, укомплектованный оптическим датчиком мутности фирмы Seapoint с длиной световой волны 880 нм, диапазоном рассеяния от 15° до 150° , чувствительностью 40 mV/FTU и постоянной времени 0.1 с. Скорость погружения зонда составляла от 0.5 до 1 м/с. Зонд погружался в воду в комплексе Rosette, данные передавались на ПК по кабель-тросу, через токосъемник на лебедке. Для обработки и визуализации данных использовались заводское программное обеспечение к данному зонду и пакет MatLab R2014a.

Для измерения оптических характеристик взвеси использовался зонд-прозрачномер ПУМ. Прибор предназначен для измерения вертикального распределения показателя ослабления света C (m^{-1} , при длине волны 530 нм) и температуры в автономном режиме. Максимальная глубина погружения прибора ограничена и составляет не более 200 м. Погрешность измерения C составляет $\pm 0.005 m^{-1}$. Питание подается от встроенных аккумуляторов, запись информации производится на внутреннюю энергонезависимую память. Информация считывалась после окончания зондирования, а само зондирование проводилось независимо от комплекса Rosette.

В сентябре 2015 г. коэффициент корреляции R между C и концентрацией взвеси составил в среднем 0.7 по всей исследуемой акватории Карского моря. Наблюдалась изменчивость значений R от 0.3 до 0.999 в зависимости от акватории исследования. Причиной слабой корреляции является, в первую очередь, разобщенность по времени между измерением C и моментом отбора проб воды. Важно максимально сократить время между отбором проб воды для прямых определений взвеси и оптическими измерениями *in situ*.

Коэффициенты корреляции R между мутностью морской воды и концентрацией взвеси в Карском море варьировали от 0.3 до 0.99 в зависимости от района работ, составляя в среднем 0.95 ($n = 112$) (рис. 1). Между показателем ослабления света и концентрацией взвеси в среднем коэффициент корреляции

был 0.92, при вариациях от 0.03 до 0.99. Величина корреляции выше, чем при сопоставлении C и взвеси, поскольку измерения этих параметров были более синхронизированы. Низкие значения R отмечены для станций, расположенных в пределах районов с высокими горизонтальными и вертикальными градиентами океанологических параметров, в частности, мутности: область пресноводной линзы (срединная ее часть), где коэффициент корреляции варьировался в диапазоне (0.03-0.7) и континентальный склон вблизи северной оконечности Новой Земли (0.5-0.8). Наиболее высокий коэффициент корреляции ($R = 0.98-1.00$) между этими параметрами характерен для разреза “желоб Воронина” и станций, расположенных в заливах Новой Земли. Это обусловлено благоприятными метеоусловиями на момент отбора проб (полный штиль или слабый ветер), что помогало минимизировать влияние дрейфа судна.

Совместные прямые “точечные” (фильтрация воды с отдельных горизонтов) определения и непрерывные оптические измерения *in situ* позволяют использовать оптические данные для косвенной оценки концентрации взвеси и решают проблему получения массовой информации о пространственно-временной изменчивости этой характеристики взвешенного вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – грант 14-05-05006-Кар_а и Программы 43 Президиума РАН № 149-2015-0023.

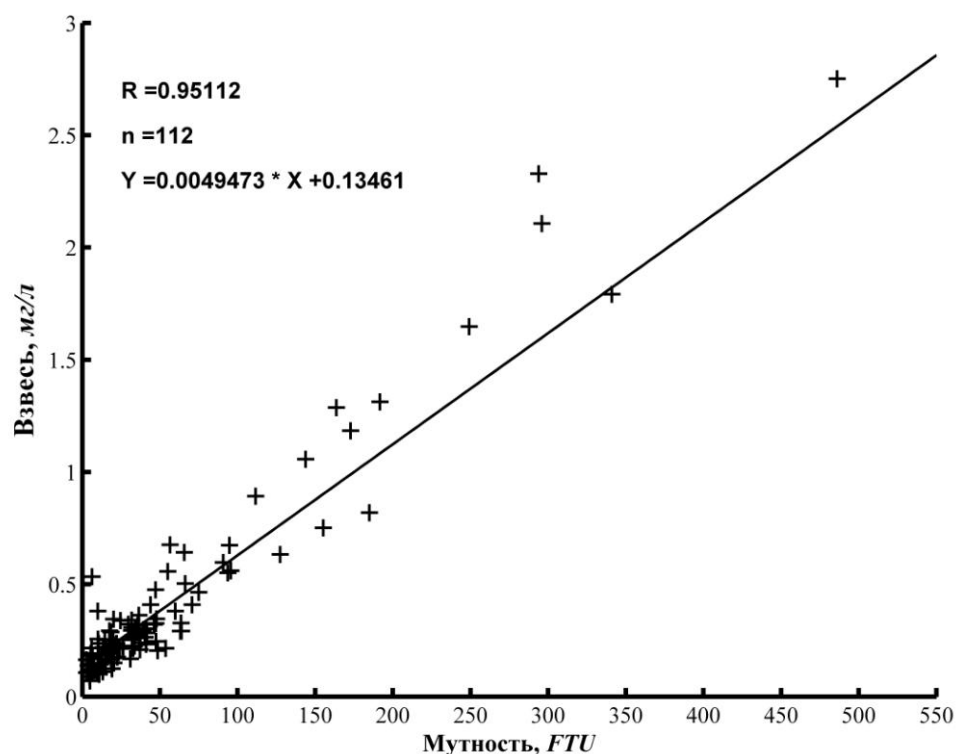


Рис. 1. Корреляция данных прямых измерений концентрации взвеси и данных измерений датчиком мутности.

Литература

1. Jerlov N.G. Particle distribution in the ocean // Rep. Swedish Deep Sea Exp. Physics and Chemistry. 1953. V. 3. P. 71–97.
2. Eittrheim S., Thorndike E.M., Sullivan L. Turbidity distribution in the Atlantic Ocean // Deep-Sea Res. 1976. V. 23. P. 1115–1127.
3. Ewing M., Thorndike E.M. Suspended matter in deep ocean water // Science. 1965. V. 147. P. 1291–1304.
4. Jerlov N.G. Optical measurements of particle distribution in the sea // Tellus. 1951. V. 3. № 3. P. 7–18.
5. Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Кравчишина М.Д. Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2007 г. по судовым и спутниковым данным // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 842–849.
6. Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Суханова И.Н. и др. Генезис и пространственное распределение концентрации взвеси в Карском море в период наибольшего сокращения арктической ледовой шапки // Океанология. 2015. Т. 55. № 4. С. 687–708.
7. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. Взвесь и гидрооптика арктических морей // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 1. С. 70–79.