

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.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЛОГО МОРЯ

В.А. МАТЮШЕНКО

Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск

В статье приводятся результаты исследований пространственного распределения показателя ослабления света морской воды на длине волны 555 нм и его временной изменчивости. Показано, что оптическая структура Белого моря и пространственно-временная изменчивость показателя ослабления света тесно связаны с гидрологическим режимом Белого моря и с метеорологическими условиями региона, а также с различной пассивной водной примесью, концентрация которой изменяется под влиянием континентального, включая речной стоков и с водообменом между Белым и Баренцевым морями. Исследования были выполнены в летний период 1995-1999 гг. на более чем 200-х станциях по стандартной сетке наблюдений с использованием подводного спектрофотометра «Дельфин-М», созданного автором этой работы. Анализ пространственного распределения показателя ослабления света морской воды в Белом море показал, что водная масса отличается не только TS-характеристиками, но также и оптическими характеристиками, следовательно, ослабление света морской водой может служить объективным маркером гидрологической структуры моря и его экологического состояния.

V.A. Matyushenko. Spatial-temporary variability of hydrooptical characteristics of the White Sea // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 218-223.

Results of research of spatial distribution of attenuation coefficient of light by sea water on 555nm wave length and temporal variability of this coefficient are given in this paper. It is shown that optical structure of the White sea and spatial-temporal variability of this coefficient are closely connected with hydrological regime of the White sea and meteorological conditions of the region, as well as with various passive water admixture, which concentration changes influenced by continental (including river) drains, and depends on water exchange between the White and Barents Seas. Studies were conducted in summer 1995-1999 on more than 200 stations according to the standard grid of observations. Underwater spectral photometer created by the author of this work was used. The analysis of spatial distribution of attenuation coefficient of light by seawater in the White Sea has shown that water mass differs not only by TS-characteristics, but also by optical characteristics, hence attenuation of light by seawater can serve as an impartial marker of hydrological structure of the sea and its ecological condition.

Известно (Оптика океана, 1983), что ослабление света морской водой определяется ее светорассеивающими и поглощающими свойствами. Поглощение света обусловлено оптическими свойствами трех составляющих ее компонентов: чистой воды, растворенных веществ и взвеси, при этом проникающая в водную толщу солнечная (фотонная) энергия превращается в потенциальную химическую и тепловую кинетическую энергии. Рассеяние света в водной толще связано с изменением направления движения отдельных фотонов без любого другого изменения. Количественными характеристиками этих процессов являются показатели рассеяния и поглощения света, которые в сумме составляют показатель ослабления (ПО) света морской водой. От его значения зависит интенсивность и спектральный состав солнечного излучения, проникающего на различные глубины в водную толщу. Спектральная зависимость ПО является важной характеристикой оптических свойств морской воды, будучи связанной с количественным и качественным составом взвешенных и растворенных в ней

веществ (в настоящей работе спектральные зависимости ПО не рассматриваются).

ПО относительно легко измеряется в натуральных условиях (*in situ*) (Матюшенко, 1985). Нами был использован погружной спектрофотометр-прозрачномер «Дельфин-М» (Матюшенко, Кельбалиханов, 1983; Матюшенко, 1998), который позволял одновременно измерять температуру и относительную электропроводность морской воды, что очень важно для корректной интерпретации пространственно-временной изменчивости гидрооптических характеристик. Измерения указанных характеристик Белого моря были выполнены летом 1995, 1997, 1999 гг. более чем на 200 станциях по стандартной сетке станций Росгидромета РФ.

Анализ пространственного распределения какой-либо характеристики морской воды обычно проводится совместно с гидрологической структурой моря. Наиболее обобщенным показателем гидрологической структуры в пространстве океанов и морей является понятие водной массы (ВМ) - большого объема воды, формирующегося в определен-

ной акватории и сохраняющего свои свойства за пределами области формирования.

В Белом море ВМ приобретают специфические черты за счет поступления материковых вод и приносимых ими минеральной взвеси и растворенных органических веществ терригенного происхождения. Кроме того, в северных широтах значительная сезонная изменчивость климата вносит специфические черты в процесс формирования структуры вод деятельного верхнего слоя. Поскольку значения ПО существенным образом зависят от физико-химических, биологических и динамических процессов, интенсивность, изменчивость и масштабы которых в пространстве морей не одинаковы, то, очевидно, что и распределение значений ПО в пространстве носит подчиненный этим процессам характер.

В Белом море выделяют два основных типа гидрологического режима: гомогенный, характерный для мелководных районов (Онежский залив, Горло, Мезенский залив и Воронка), где сильными приливо-отливными течениями воды перемешиваются от поверхности до дна, и стратифицированный, характерный для обширной области малоподвижных вод в глубоководной части Бассейна, Кандалакшского и Двинского заливов, при этом в районах со стратифицированным режимом выделяют глубинную, промежуточную и поверхностную ВМ. Глубинная ВМ заполняет котловины моря в Кандалакшском заливе и западной половине Бассейна. Формируется она в зимний период из переохлажденных поверхностных вод и сползающих по склонам дна в котловины. Промежуточная ВМ представляет собой результат смешения поверхностных вод восточной части Бассейна и Воронки в Горле моря также в зимний период. Эта ВМ наслаивается на глубинные воды в слое 90-60 м. Поверхностная ВМ также формируется зимой в результате осенне-зимнего конвективного перемешивания поверхностных вод с нижележащими водами. В весенне-летний период с поверхностной ВМ формируется прогретый и распресненный речными водами верхний квазиоднородный слой (ВКС). Этот перемешанный ветровым волнением ВКС имеет толщину от 2-3 м до 10-15 м и отделяется от нижележащих вод высокоградиентными термо- и галоклином (Дерюгин, 1928; Тимонов, 1950; Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991).

Исследования гидрооптической структуры Белого моря, выполненные нами в период 1995-1999 гг. (Матюшенко, Лукин, 1997; Лукин, Матюшенко, Воробьев, 1998; Матюшенко, Лукин, Ушаков, 1998; Матюшенко и др., 2000), показали, что характер распределения ПО практически идентичен характеру распределения ВМ и динамических образований (течения, гидрологические фронты и др.). В качестве примера на рис.1 приведены вертикальные профили ПО, из которых видно, что имеются районы Белого моря с гомогенной и стратифицированной гидрооптической структурой ВМ.

В районах с гомогенным гидрологическим режимом, где воды перемешиваются от поверхности до дна приливо-отливными течениями, вертикальное распределение ПО также имеет гомогенный характер, например, в западной части Мезенского залива и в Горле Белого моря, но в его горизонтальном распределении отмечается изменчивость, связанная с интенсивностью перемешивания различных ВМ (Рис. 2).

На границе между Белым и Баренцевым морями наблюдаются наиболее прозрачные воды, ПО которых имеет минимальное значение $0,1 \text{ м}^{-1}$. По мере проникновения в Белое море и смешивания с беломорскими водами значения ПО повышаются до $0,4-0,5 \text{ м}^{-1}$. Эти смешанные воды прослеживаются в западной части Воронки, центральной части Мезенского залива и северной половине Горла (см. рис.2).

Горизонтальная пространственная изменчивость ПО и температуры поверхностных слоев морской воды показана на рис.3а и 3б, соответственно. Так, вдоль восточного берега Мезенского залива распространяются на север воды реки Мезень со значениями ПО, равными $1,8-2,0 \text{ м}^{-1}$ и выше. В зоне Конушинского мелководья приливо-отливные течения поднимают донные осадки и перемешивают их во всей водной толще, при этом ПО превышает значения $4,0 \text{ м}^{-1}$. В южной половине Горла в верхнем слое контрастно выделяется фронтальная зона смешения вод Бассейна с водами Воронки. Такая же горизонтальная изменчивость наблюдается и по температуре воды.

В Двинском заливе и далее у Зимнего берега прослеживаются воды реки Северной Двины (Рис. 4-1). По мере распространения этих вод от вершины залива до его северной границы с Бассейном значения ПО уменьшаются от 2,7 до $0,6-0,8 \text{ м}^{-1}$. На этом рисунке отчетливо прослеживаются в поверхностном слое потоки более мутных вод, выходящих в Бассейн из Двинского залива. В западной части Бассейна выделяется обширное антициклоническое образование, в центре которого наблюдается подъем из глубины относительно чистых повышенной прозрачности вод. В Кандалакшском заливе у Терского берега выделяется зона опускания поверхностных вод в более глубокие слои (Рис.5).

Что касается временной изменчивости ПО, то из данных, полученных летом 1995 и 1999 годов (см. рис. 3а и рис. 4-1, соответственно), видно, что в основном оптическая структура поверхностных слоев восточной части Белого моря идентична, однако в августе 1995 г. в период наблюдений, вероятно, преобладали ветра восточного и юго-восточного направлений и поэтому под действием этих ветров поверхностные воды, формируемые стоком р. Сев. Двина, распространились в Бассейн и Горло Белого моря. Подтверждением этому служит распределение температуры поверхности моря (см. рис.3б), повышенные значения которой наблюдались на границе Двинского залива с Бассейном, в Бассейне, у Зимнего берега в Горле и в центральной части Воронки

Белого моря. Иная картина наблюдалась в августе 1999 года. В период наблюдений, по-видимому, преобладали ветры северо-западного направления, поэтому поверхностные воды пониженной прозрачности (повышенные значения ПО) были нагнаны к Зимнему берегу и узкой полосой вдоль него распространялись в Горле до выхода из последнего. Одновременно вдоль Терского берега (Кольского полуострова) поднимались чистые прозрачные баренцевоморские воды (в результате апвеллинга), которые обычно движутся у дна Горла и поступают в Бассейн. Подтверждением этому служат повышенные значения солёности поверхностных слоев морской воды в Воронке, Горле, Бассейне, Мезенском и Двинском заливах (см. рис.4-2).

Таким образом, гидрооптическая структура Белого моря и временная изменчивость ПО тесно связаны с его гидрологическим режимом и метеорологическими условиями региона, а также с концентрацией различных примесей морской воды, изменяющейся под воздействием материкового, в том числе речного стока, и с водообменом между Белым и Баренцевым морями. Анализ пространственного распределения показателя ослабления света морской воды в Белом море показал, что водные массы различаются не только TS-характеристиками, но и оптическими, при этом ослабление света водой может служить объективным маркером гидрологической структуры моря.

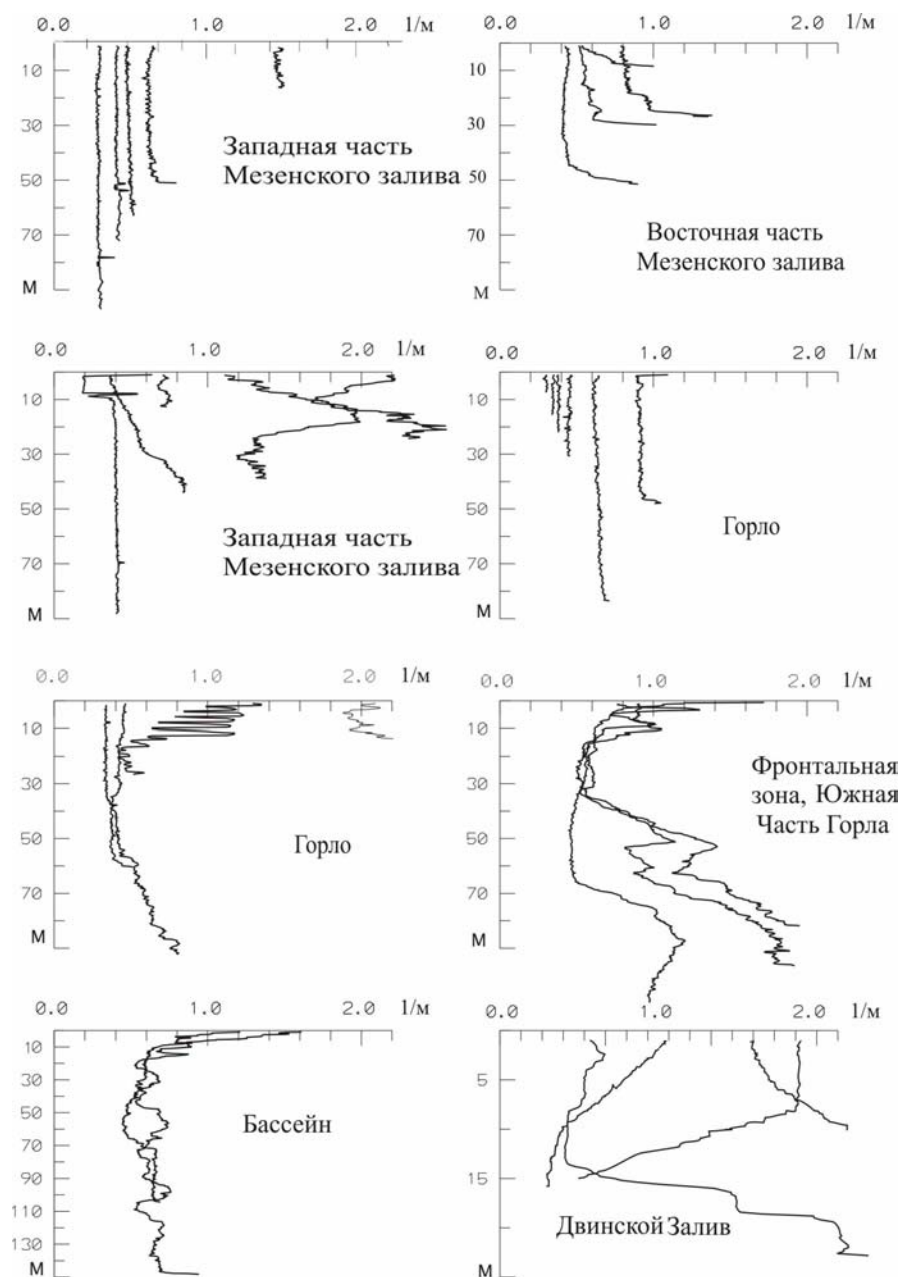


Рис. 1. Вертикальные распределения показателя ослабления. Белое море, август 1995 г.

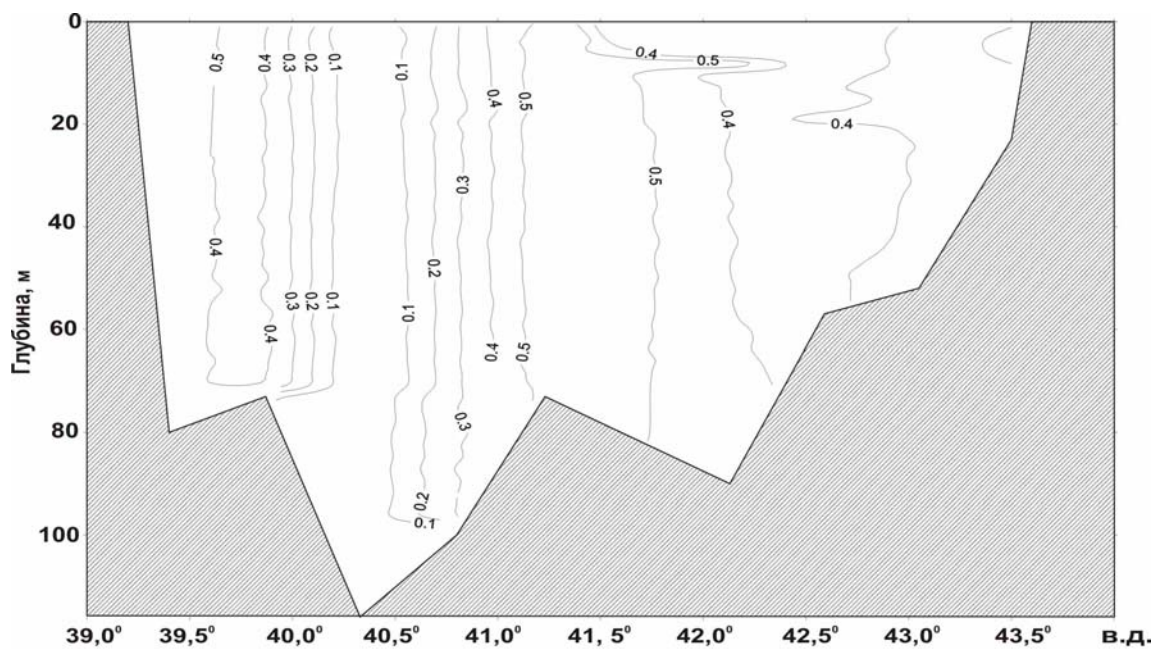


Рис. 2. Вертикальное распределение показателя ослабления света морской водой ϵ (м⁻¹) на разрезе по 68,5°с.ш. Белое море, август 1995 г.

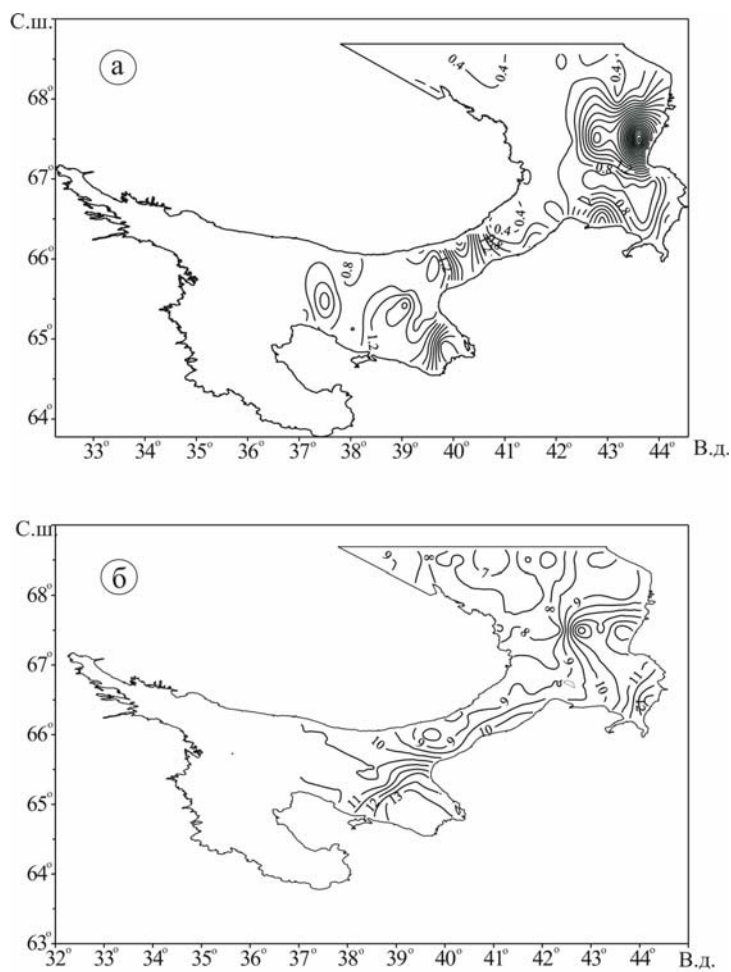


Рис. 3. Распределение показателя ослабления света морской водой ϵ (м⁻¹) на горизонте 1 м (а) и температуры воды t (°C) морской поверхности (б). Белое море, август 1995 г.

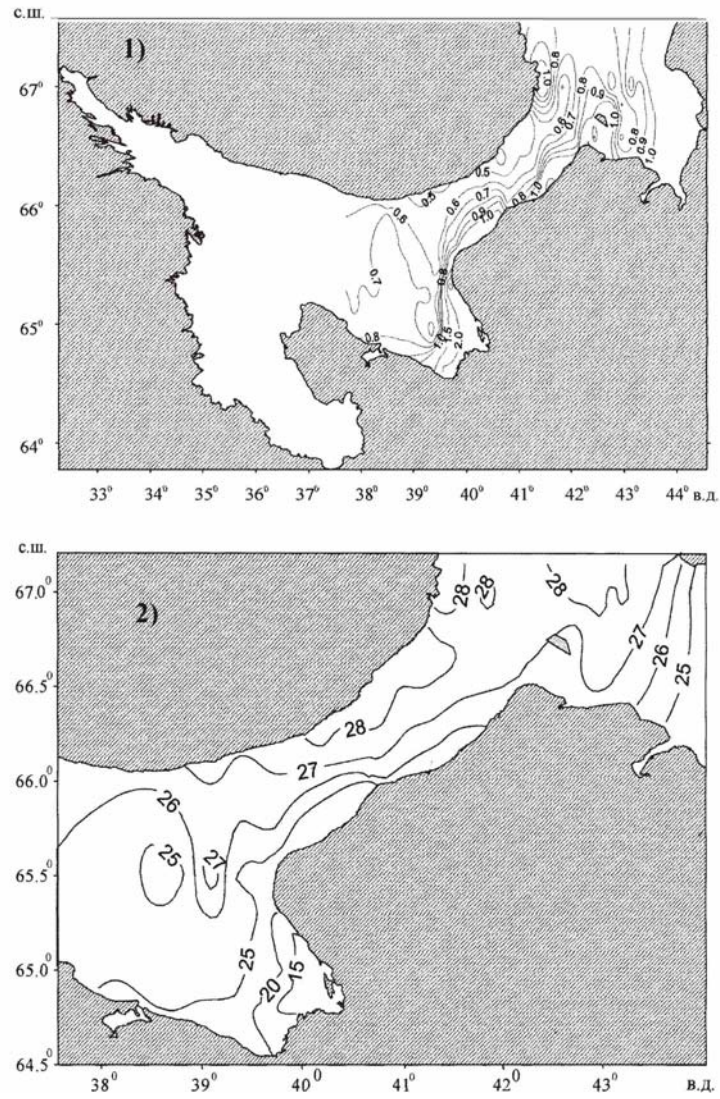


Рис. 4. Распределение показателя ослабления света (1) ϵ_{555} (м⁻¹) и солёности (‰) морской воды (2) в поверхностном слое. Белое море, август 1999 г.

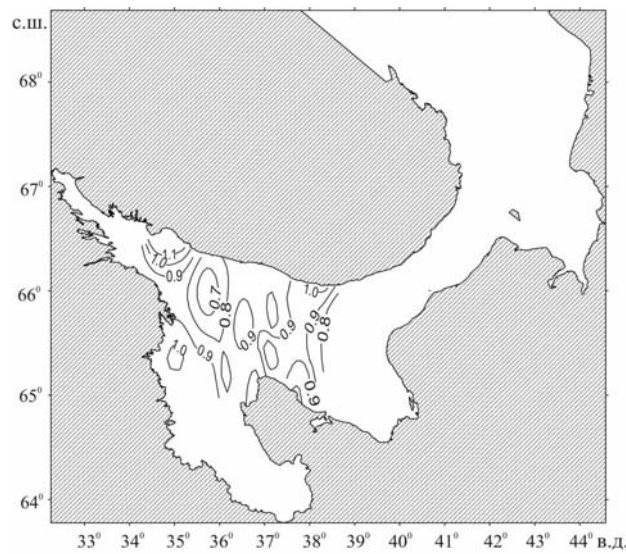


Рис. 5. Распределение показателя ослабления света морской водой ϵ (м⁻¹) в поверхностном слое. Белое море, июль, 1997 г.

Литература

- Оптика океана. Физическая оптика океана. Т.1. (Под ред. А.С.Монина). М.: Наука. 1983. 372 с.
- Матюшенко В.А. Измерение показателя ослабления света морской воды // Сб. Гидрооптические исследования. М.: ИО АН СССР, 1985. С. 95-104.
- Матюшенко В.А., Кельбалиханов Б.Ф. Спектрофотометр: А.с. 1055973А (СССР), 1983.
- Матюшенко В.А. Многопараметрический зонд «Дельфин-М» // Материалы IV Международной научно-технической конференции: «Современные методы и средства исследования мирового океана МСОИ-98». Ноябрь 1998 г., М.: ИОРАН. 1998. С. 94.
- Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования. Исследования морей СССР. М., 1928. Вып. 7-8. 511 с.
- Тимонов В.В. Главные особенности гидрологического режима Белого моря // М., 1950. С. 206-236.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Вып.1 Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.
- Матюшенко В.А., Лукин Л.Р. Гидрооптические исследования в северных морях // Материалы Международного форума: «По проблемам науки, техники и образования», 19-21 мая 1997 г. М.: МИИГАиК. С. 48.
- Лукин Л.Р., Матюшенко В.А., Воробьев В.В. Гидрооптическая структура вод восточной части Белого моря // Оптика атмосферы и океана. Т.11, №1. 1998. С. 61-64.
- Матюшенко В.А., Лукин Л.Р., Ушаков И.Е. Исследование оптической структуры вод Белого моря и ее связей с оптически активными компонентами // VII-я региональная конференция: «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря»/ Сентябрь 1998 г., Архангельск. Тезисы докладов, Архангельск. С. 59.
- Матюшенко В.А., Лукин Л.Р., Лецев А.В., Хоменко Г.Д. Экологический мониторинг вод северных морей оптическими методами // Север: Экология. ИЭПС УрО РАН. Екатеринбург, 2000. С. 90-109.