

Статистические характеристики поля концентрации хлорофилла в Охотском море

М.С. Пермяков¹, Д.А. Акмайкин², Т.И. Тархова¹, П.А. Салюк¹, П.В.Смолин¹

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43*

E-mails: permyakov@poi.dvo.ru

²*Морской государственный университет им. Г.И. Невельского
690059 Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а*

В настоящей работе, по данным спутникового сканера цвета морской воды Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) для различных районов Охотского моря проведены оценки двумерных корреляционных функций полей восходящего излучения и концентраций хлорофилла «а», а по ним параметров корреляционных эллипсов, характеризующих степень анизотропии полей. Показано, что параметры корреляционных эллипсов, их ориентация и эксцентриситет существенно зависят от гидрологических особенностей регионов моря. Так в шельфовых водах эллипсы ориентируются вдоль береговой линии, а в открытой части моря вне фронтальных разделов они в основном близки к окружностям, что соответствует изотропности полей. Отмечается временная межсуточная изменчивость параметров корреляционных эллипсов в отдельных районах.

Введение

Исследования статистических характеристик пространственной изменчивости полей гидрологических, гидрофизических и гидробиологических параметров океана и морей является одной из важнейших задач океанологии [1], имеющей в настоящее время большое практическое значение для развития оптимальных методов обработки и интерпретации спутниковых данных дистанционного зондирования океана и мониторинга гидрофизических полей океана [2, 3]. Известно, что случайные поля океанологических параметров океана в области масштабов более сотни метров можно считать двумерными. При этом их статистические характеристики демонстрируют анизотропию полей, наиболее четко проявляющуюся в форме двумерных корреляционных функций уровня океана, температуры, полей концентрации хлорофилла [4-6]. Степень анизотропии полей существенно зависит от динамических характеристик крупномасштабных течений, региональных географических и гидрологических особенностей акваторий, от параметров океанической турбулентности [2, 5, 7]. Она должна наблюдаться в окраинных морях и в шельфовых водах, где проявляются множество эффектов динамики шельфовых вод – вдольбереговые и приливные течения, длинноволновая динамика, влияние формы береговой линии и рельефа дна [8, 9].

Данные спутниковых сканеров цвета моря демонстрируют анизотропию полей концентрации хлорофилла «А» в приповерхностном слое океана [5, 10]. Эти поля модулируются разнообразными гидрологическими процессами в верхнем слое океана, поэтому их статистические характеристики могут дать представление о характере пространственной изменчивости океанологических полей и интенсивности тех или иных физических процессов.

В настоящей работе, по данным спутникового сканера цвета морской воды Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) для различных районов Охотского моря проведены оценки двумерных корреляционных функций полей биооптических характеристик и степени анизотропии. Степень анизотропии выражается параметрами и ориентацией корреляционных эллипсов, соответствующих форме изолиний корреляционных функций полей восходящего от

поверхности моря излучения и концентрации хлорофилла «А». Показано, что размеры корреляционных эллипсов, их ориентация и эксцентриситет существенно зависят от географических и гидрологических особенностей регионов моря, отмечается временная изменчивость этих характеристик.

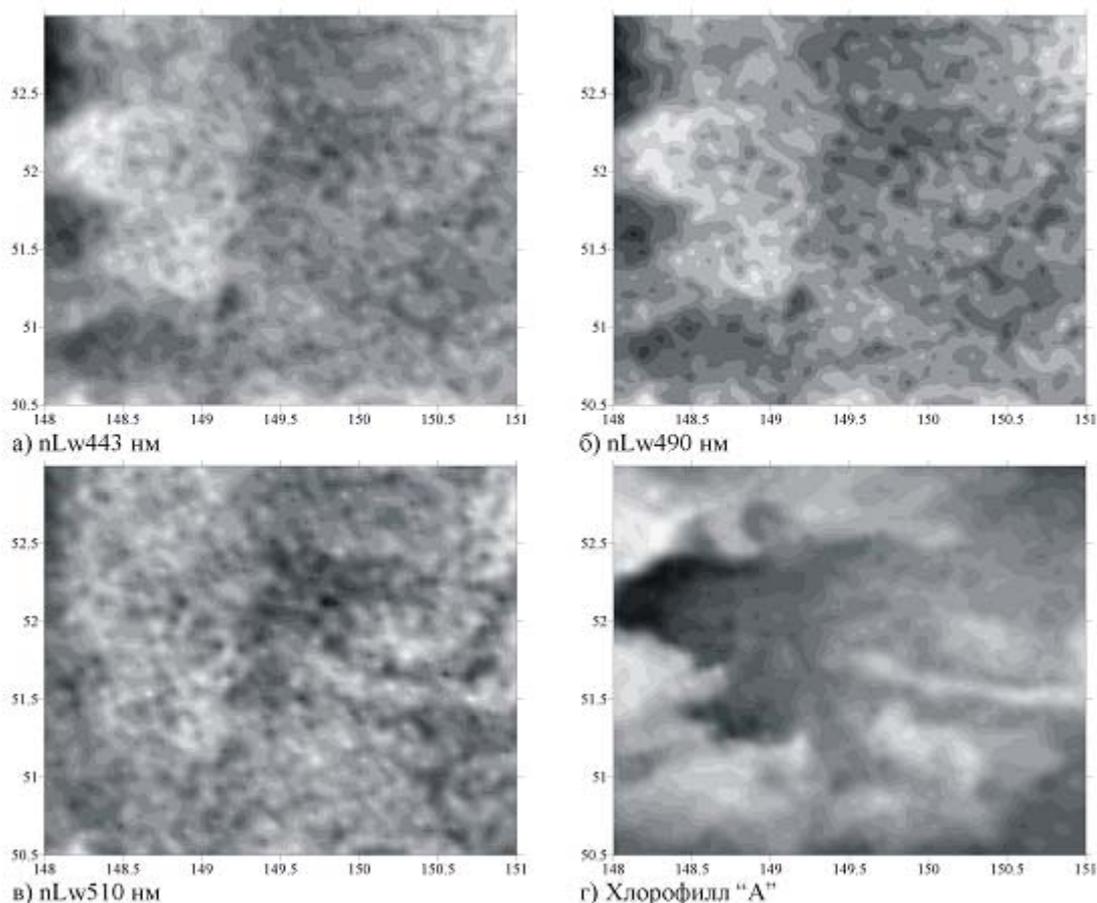


Рис. 1. Поля восходящего излучения на длинах волн 443, 490, 510 нм и концентрации хлорофилла «А»

Данные и методы обработки

Для анализа статистических характеристик полей использовались данные сканера SeaWiFS для районов Охотского моря за август – сентябрь 2000 – 2002 годов для спектральных яркостей и рассчитываемых по ним концентраций хлорофилла «А» [<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>]. Данные уровня 2 имели пространственное разрешение 4 км в надире и до 8 км на краях линии сканирования снимка. На рис. 1 в качестве примера приведен фрагмент полей восходящего излучения, и поля концентрации хлорофилла «А» являющегося совокупностью полей представленных длин волн.

Оценки проводились в квадратах с размером 100x100 км для отдельных дней (если данных было достаточно) и с накоплением за месяц. Расчет корреляционных функций проводился только в тех квадратах, где надежные спутниковые данные занимали более 2/3 площади морской поверхности в окне. Путем вычитания двумерного квадратичного тренда в квадратах исключалась неоднородность полей. Оценки двумерных корреляционных функций проводились на сетке разностей координат отчетов с шагом 4 км в скользящем пространственном окне

радиусом 9 км. Если при экстраполяции корреляционных функций на ноль корреляция оказывалась менее 0,5, дальнейший анализ в районе не проводился.

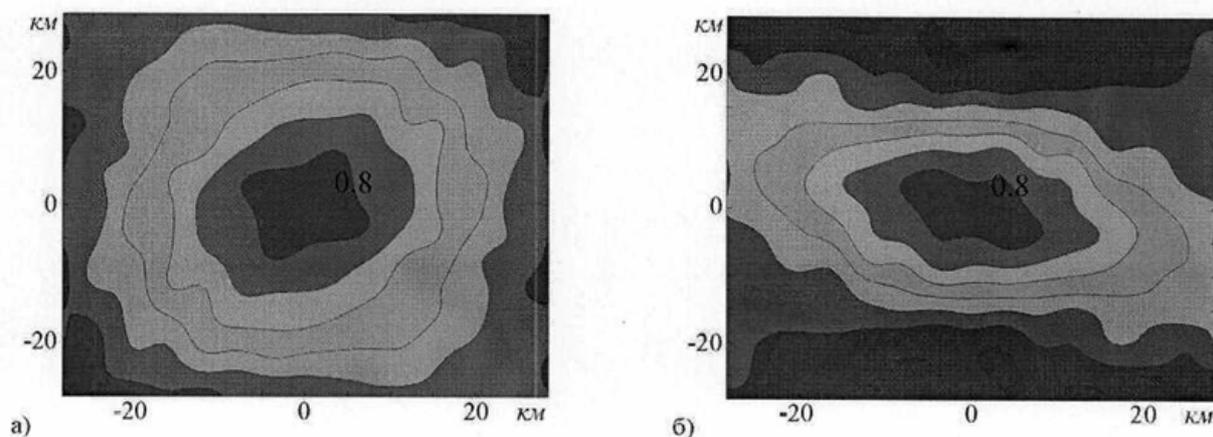


Рис. 2. Двухмерные корреляционные функции полей хлорофилла «А». Изолинии проведены через 0,2. Область бурого цвета ограничена изолинией 0,8

На рис. 2 приведены примеры двумерных корреляционных функций.

Оценки параметров эллипса корреляции – большой и малой осей, угол поворота относительно оси запад-восток проводились по уровню 0,5 нормированной эмпирической корреляционной функции методом наименьших квадратов. На рис. 3 показаны примеры аппроксимации изолиний корреляционных функций по точкам на уровнях 0,3, 0,5 и 0,7 эллипсами для корреляционных функций, показанных на рис. 2. Эксцентриситет эллипса и ориентация его большой оси служат мерой анизотропии случайного поля. Несмотря на значительные шумы в исходных данных, параметры эллипсов демонстрируют довольно высокую устойчивость и повторяемость в течение времени.

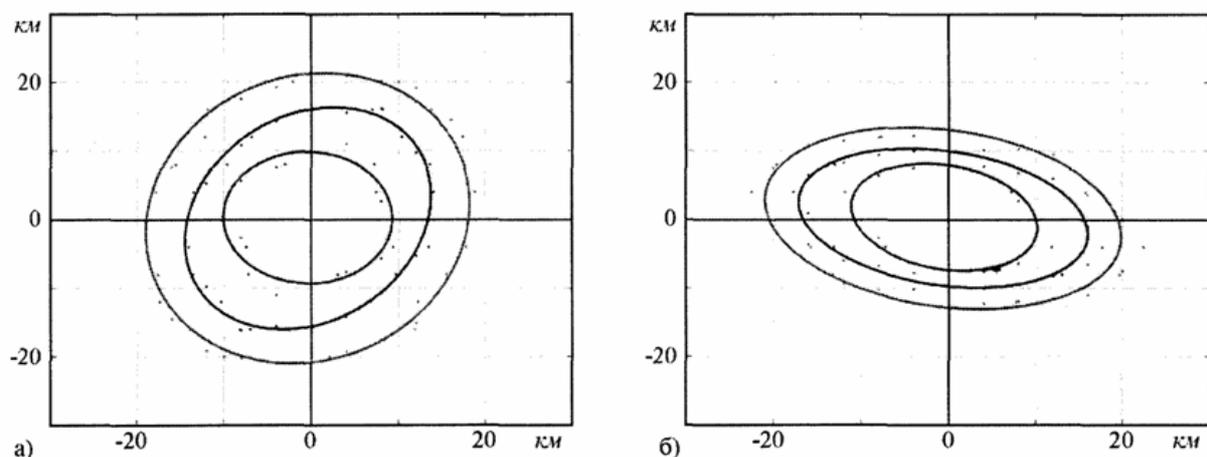


Рис. 3. Значения корреляционной функции на уровнях 0,3, 0,5, 0,7 и описанные по ним корреляционные эллипсы

Результаты и обсуждение

Наглядное представление о масштабах корреляции и анизотропии полей спутникового зондирования за отдельный день и осредненных за месяц, дают карты моря, на которые в регулярной сетке нанесены корреляционные эллипсы. Для примера на рис. 4 приведены результаты оценок корреляционных функций по данным за один день 29 августа 2000 года с

линиями изобат 50, 100, 150 и 200 м. Данные за этот день позволили сделать оценки только для западной части Охотского моря. Из рисунка видно, что эллипсы корреляции (на уровне 0,5) своей ориентацией и вытянутостью отмечают известные гидрологические особенности акваторий. Так, ориентация эллипсов четко указывает ориентацию интенсивных вдольбереговых течений (скорее всего приливных) на северном шельфе и шельфе о-ва Сахалинском. Цепочка эллипсов в Сахалинском заливе трассирует, вероятно, мутные воды реки Амур. Район банки Кашеварова, где обычно наблюдаются воды с относительно низкой температурой (из-за этого часто закрыт облачностью, и на рисунке здесь нет оценок) и высокой биопродуктивностью, отмечается вытянутыми эллипсами. В заливах Анива и Татарском, эллипсы ориентированные вдоль берегов, так же отражают элементы циркуляции вод.

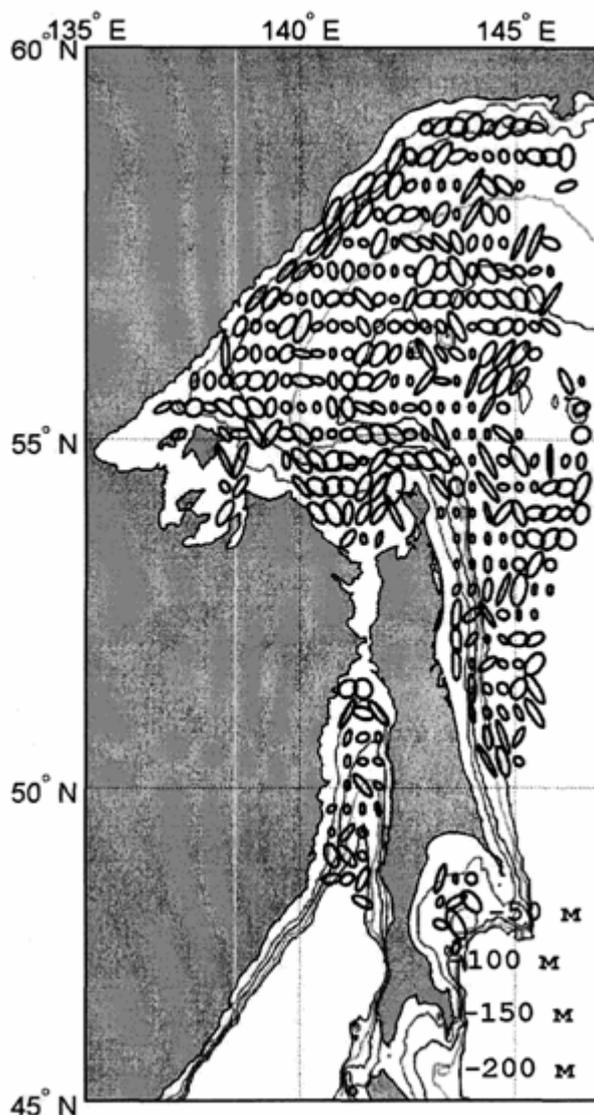


Рис. 4. Карта корреляционных эллипсов за 29 августа 2000 года

Рассчитанные для всего Охотского моря и прилегающих вод Японского моря и Тихого океана за весь август корреляционные эллипсы нанесены на рис. 5 на карту течений из [11]. Здесь анизотропия проявляется в меньшей степени из-за осреднения по времени, но остается все же достаточно четко выраженной в отдельных районах. В целом ориентация эллипсов отражает некоторые общие гидрологические региональные особенности акваторий (наличие основных течений и интенсивных приливных, особенно в районах северного шельфа, возможно, границы

вод, областей апвеллинга, линии свала глубин и топографических особенностей и т.п.) и анизотропию статистических характеристик пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей. Размеры эллипсов или окружностей позволяют судить о степени пространственной однородности полей. Там, где они малы, скорее всего, проявляется пятнистая структура полей с тонкими деталями. В открытых водах размеры эллипсов, как правило, гораздо больше, чем в прибрежных водах или вблизи островов, и, следовательно, поля более гадкие с крупными неоднородностями.

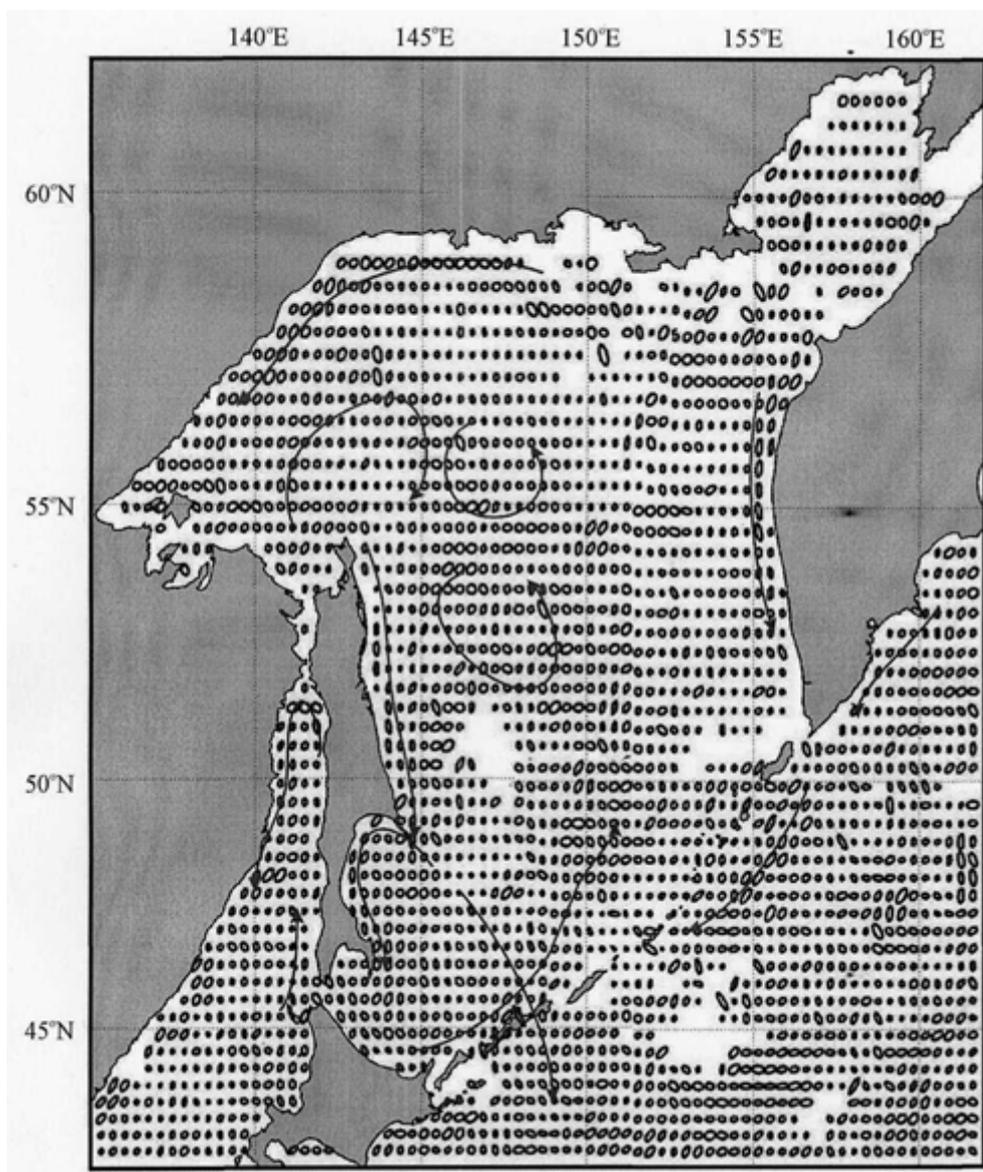


Рис. 5 Корреляционные эллипсы по данным за весь август 2001 года

В шельфовых районах анизотропия на месячных масштабах проявляется в наибольшей степени, диапазон отношений большой оси эллипса к малой 2-3,5, а большие оси эллипсов, как правило, направлены вдоль береговой линии. Это может быть связано, прежде всего, с интенсивными приливными течениями - приливные эллипсы течений здесь вытянуты и близки к реверсивным. В открытой части моря анизотропия проявляется в меньшей степени, отношение большой оси эллипса к малой лежит в диапазоне 1,1-1,5, что объясняется слабостью или отсутствием здесь интенсивных устойчивых течений.

Физическая интерпретация приведенных примеров статистической структуры полей, если считать планктон (или хлорофилл) пассивными трассерами, может быть дана с точки зрения наличия процессов переноса течениями (стационарными и нестационарными) в больших масштабах, и турбулентной диффузии. При этом необходимо помнить и о влиянии синоптических погодных возмущений, облачности, локальности зон апвеллингов и т.д. Наличие областей ярко выраженной анизотропии можно связать с интенсивными течениями или со значительными горизонтальными сдвигами в скорости течений, зонами апвеллинга, как правило, вытянутыми вдоль изобат. Зоны апвеллинга обычно имеют пятнистый характер, как правило, сосредоточены в шельфовых водах и ориентированы вдоль изобат. Это объясняет здесь сильную вытянутость эллипсов и их преимущественную ориентацию вдоль береговой линии. В [2] указывается на связь характеристик турбулентности в океане с пространственными корреляционными функциями. При этом масштаб турбулентности может быть оценен через характерный масштаб корреляционной функции полей отклонений скалярного поля от фонового. В случае анизотропии поля, масштаб турбулентности зависит от направления корреляционных эллипсов, определяя таким образом «эллипсоид масштабов» и анизотропию турбулентного переноса. В этой связи заметим, что уже первые инструментальные измерения характеристик турбулентности в прибрежной зоне морей [12] показали наличие такой анизотропии - турбулентный макрообмен оказался более интенсивным вдоль береговой линии, чем в перпендикулярном к берегу направлении.

Заключение

Проведенный анализ среднемесячных данных сканера цвета SeaWiFS за август 2001 года показывает наличие в Охотском море областей с устойчивой анизотропией полей концентраций хлорофилла «А». Показано, что размеры корреляционных эллипсов, их ориентация и эксцентриситет существенно зависят от географических и гидрологических особенностей регионов моря, отмечается временная изменчивость этих характеристик. При анализе полей (сезонной, межгодовой или климатической изменчивости полей) данных сканеров при построении средних по времени и сглаженных по пространству полей статистические характеристики пространственной изменчивости полей и их анизотропность могут быть учтены в рамках известных процедур объективного анализа случайных полей [13].

Литература

1. Монин А.С., Каменкович В.М., Корп В.Г. Изменчивость мирового океана // Л.: Гидрометеиздат, 1974. 262 с.
2. Кочергин В.П., Тимченко И.Е. Мониторинг гидрофизических полей океана // Л.: Гидрометеиздат, 1987. 279 с.
3. Doney S.C., Glover D.M., McCue S.J., Fuentes M. Mesoscale variability of Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) satellite ocean color: Global patterns and spatial scales // J. Geophys. Res., 2003, V.108. № C2, 3002, doi: 10.1029/2001JC000843.
4. Kurogano T., Kamachi M. Global statistical space-time scales of ocean variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data. // J. Geophys. Res., 2000. V. 105. № C1. P. 955-974.
5. Weichman P.B. Spatiol variations of a passiv tracer in a random wave field // J. Fluid. Mech, 2002. V. 453. P. 263-287.
6. Woert M.V. The Subtropical Front: Satellite Observations During FRONTS 80 // J. Geophys. Res., 1982. V. 87. № C12. P. 9523-9536.
7. Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность // Л.: Гидрометеиздат, 1981. 320 с.
8. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.В., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана // Л.: Гидрометеиздат, 1985. 280 с.

9. *Rodrigues J., Tintore J., Allen J.T., Blanco J.M., Gomis D., Reul A., Ruiz A.R., Rodrigues V., Echevarria F., Jimenez-Gomez F.* Mesoscale vertical motion and size structure of phytoplankton in ocean // *Nature*, 2001. V. 410. 15 March. P. 360-363.
10. *Букин О.А., Пермяков М.С., Павлов А.Н., Майор А.Ю., Малеев А.В., Тархова Т.И., Скороход Г.В., Акмайкин Д.А.* Использование пассивно-активных методик оптического зондирования для измерения структурных особенностей распределения биооптических характеристик в верхнем слое океана // *Оптика Атмосферы и Океана*, 2000. Т.13. № 09. С. 847-851.
11. *Сухолей В. Ф.* Моря мирового океана // Л.: Гидрометеиздат, 1986. 288 с.
12. *Штокман В.Б.* Избранные труды по физике моря // Л.: Гидрометеиздат, 1970. 326 с.
13. *Гандин Л.С., Каган Р.Л.* Статистические методы интерпретации метеорологических данных // Л.: Гидрометеиздат, 1976. 360 с.