

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МОРСКОЙ СРЕДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ФОТОМЕТРА ЯРКОСТИ МОРЯ

С.Г. Иванов¹, В.Н. Носов¹, С.Б. Каледин^{1,2}, А.Н. Плишкин¹, В.И. Погонин¹, С.О. Леонов¹, Т.В. Глебова¹, Е.А. Зевакин¹

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Российская Федерация
e-mail: ivanovsg5167@yandex.ru

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

В настоящее время с помощью видеоспектральной аппаратуры, размещенной на спутниках, продемонстрирована возможность регистрации крупномасштабных гидродинамических возмущений в морской среде в виде синоптических вихрей размером до 200...300 км. Однако для ряда техногенных задач необходимо иметь дистанционные средства обнаружения мелкомасштабных гидродинамических возмущений, позволяющие выполнять исследования и при наличии облачности, препятствующей эффективному использованию видеоспектрометров спутникового базирования. К таким средствам относятся фотометры яркости моря, размещенные на судовом или низколетящем авиационном носителе. Экспериментально исследована возможность регистрации мелкомасштабных гидродинамических возмущений с помощью разработанного двухканального фотометра яркости моря судового базирования. Выполненный комплекс работ включает в себя измерения в бассейне, на молу и в открытом море. В бассейне в качестве генераторов искусственных гидродинамических возмущений использованы вентилятор, погружной насос и Т-образное весло. На молу зарегистрированы гидродинамические возмущения от погружного насоса, а также данные о флуктуациях сигналов фотометра яркости моря, связанных с наличием морского волнения величиной 2 балла. В натурных морских экспериментах зафиксированы сигналы фотометра яркости моря при пересечениях следа небольшого судна (водоизмещением 120 т) и следа научно-исследовательского судна (водоизмещением 2000 т). Полученные данные свидетельствуют о возможности применения фотометра яркости моря для регистрации с борта судна мелкомасштабных гидродинамических возмущений с пространственным разрешением около 0,5 м, определяемым оптической схемой фотометра.

Ключевые слова: гидродинамические возмущения, динамика вод, фотометр яркости моря, фитопланктон, хлорофилл.

INVESTIGATION OF SMALL-SCALE VARIABILITY OF SUBSURFACE LAYERS OF THE MARINE ENVIRONMENT AT THE ACTION OF HYDRODYNAMIC DISTURBANCES USING THE SEA BRIGHTNESS PHOTOMETER

S.G. Ivanov¹, V.N. Nosov¹, S.B. Kaledin^{1,2}, A.N. Pliskin¹, V.I. Pogonin¹, S.O. Leonov¹, T.V. Glebova¹, E.A. Zevakin¹

¹ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
e-mail: ivanovsg5167@yandex.ru

² Bauman State Technical University, Moscow, Russian Federation

Nowdays using videospectral equipment placed on satellites opportunity was demonstrated to register large-scale hydrodynamic disturbances (HD) within the

marine environment in the form of synoptic eddies as up to 200... 300 km. However, for a number of technological problems it is necessary to have remote detection of small-scale HD, allowing to carry out researches as well as at the presence of clouds, preventing effective use of satellite-based imaging spectrometers. These tools include sea brightness photometers (SBP) placed on the ship or low-flying aircraft carrier. In this paper we investigated experimentally the possibility of registration of small-scale HD using the developed ship-based dual-channel SBP. Perform complex of works includes measurements in the pool, on the pier and in the open sea. Fan, submerged pump and a T-shaped paddle were used as generators of artificial HD in pool. HD caused by the submersible pump and data on fluctuations of SBP signals related to the availability of marine excitement with magnitude 2 points were registered on the pier. In situ marine experiments SBP signals were registered in crossing of a track small vessels (120 tons displacement) and research ship's track (2000 tons displacement). The obtained data suggest the possibility of using SBP for shipboard registration of small-scale HD with a spatial resolution of the order 0,5 m determined by optical schematic of SBP.

Keywords: hydrodynamic disturbances, dynamics of water, sea brightness photometer (SBP), phytoplankton, chlorophyll.

Введение. Большинство гидродинамических явлений вызывают мелкомасштабную изменчивость приповерхностного слоя океана. К их числу относятся короткопериодные внутренние волны, движущиеся надводные и подводные объекты, техногенные явления, происходящие при разрывах трубопроводов и т.д. Эти явления могут регистрироваться дистанционными методами, позволяющими обеспечить высокую производительность поиска места возмущения.

В настоящей работе рассмотрена возможность использования для регистрации мелкомасштабной изменчивости поверхностного слоя морской среды, возникающей под действием гидродинамических возмущений (ГДВ), фотометра яркости моря (ФЯМ) судового базирования.

Выполненные ранее работы по оптике моря, как правило, были посвящены измерению различных характеристик морской среды без их привязки к ГДВ [1, 2]. При этом были разработаны различные ФЯМ, позволяющие регистрировать яркость моря на двух или нескольких длинах волн при размещении аппаратуры на борту судна [3–8]. Влияние внутренних волн на оптические характеристики моря, в том числе и на яркость, отмечены в работе [3]. В работе [9] приведено описание ФЯМ, размещенного на авиационном носителе. В настоящее время крупномасштабные явления динамики вод исследуются с помощью видеоспектрометров (гиперспектрометров, сканеров цвета моря), которые при их размещении на борту авиационного или космического носителя (спутника) позволяют регистрировать изображение поверхности Земли, в том числе и морской поверхности, в различных спектральных диапазонах видимого и ближнего ИК-излучения (0,4... 2,4 мкм) [10–15]. В работах [16, 17] продемонстрирована возможность регистрации из космоса крупномасштабных ГДВ в виде синоптических вихрей.

Использование тепловизионной съемки морской поверхности дополняет данные по видеоспектральной съемке, однако она обладает меньшим пространственным разрешением и позволяет регистрировать только массы воды значительной толщины [16]. Несмотря на такое достоинство размещения видеоспектрометров на спутниках, как высокая производительность осмотра акваторий, имеются и недостатки, обусловленные прецессией орбиты спутника. В некоторых случаях это затрудняет выполнение оперативного контроля интересующего участка акватории. Кроме того, наличие облачности также затрудняет проведение достоверных измерений. Указанные недостатки отсутствуют у ФЯМ, размещенного на судне или низколетящем авианосителе. При этом пространственное разрешение ФЯМ составляет около 0,5 м при его размещении на судне, что открывает возможность регистрации мелкомасштабных ГДВ.

Принцип работы фотометра яркости моря. Возможность использования ФЯМ для обнаружения ГДВ, возникающих в морской толще, основана на регистрации изменений яркости моря, которые вызваны изменением стратификации вод с разными оптическими характеристиками, как правило, определяемыми содержанием фитопланктона или неорганической взвеси вблизи морской поверхности под действием ГДВ.

Яркость моря $L_T(\lambda)$, измеряемая экспериментально с помощью ФЯМ, состоит из двух слагаемых: яркости излучения Солнца и неба, рассеянных в приповерхностном слое (толще) воды $L_T(\lambda)$, и френелевского отражения излучения неба $L_H(\lambda)$ от поверхности воды:

$$L_M(\lambda) = L_T(\lambda) + rL_H(\lambda), \quad (1)$$

где r — френелевский коэффициент отражения от поверхности моря.

Концентрация фитопланктона и неорганической взвеси в приповерхностном слое моря влияет на величину $L_T(\lambda)$. Если длина волны λ попадает в полосу поглощения фитопланктона, то чем больше концентрация фитопланктона, тем меньше яркость $L_T(\lambda)$ по сравнению с яркостью моря на близких длинах волн, не попадающих в полосу поглощения.

Флуктуации измеряемой яркости моря во многом связаны с морским волнением. Для снижения влияния морского волнения на измеряемую величину целесообразно определять отношение яркостей поверхности моря $L_M(\lambda_1)$ и $L_M(\lambda_2)$ на двух длинах волн: в полосе поглощения хлорофилла “а” фитопланктона ($\lambda_1 = 440$ нм) и длине области вне этой полосы ($\lambda_2 = 540$ нм). В этом случае отношение яркостей $L_M(\lambda_1)/L_M(\lambda_2)$ будет менее подвержено влиянию волнения, чем при измерении яркости моря на одной длине волны λ_1 . Данный

метод можно использовать при размещении аппаратуры на борту подвижного носителя в дневных условиях для поиска локальных зон, где происходит изменение оптических характеристик приповерхностных слоев морской среды под действием ГДВ.

В экспериментах, рассмотренных в настоящей работе, использован макет ФЯМ на основе двух фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и компактного монохроматора [18].

Эксперименты в бассейне. Для проверки влияния различных искусственных ГДВ на сигналы ФЯМ были выполнены эксперименты в бассейне. Бассейн с непроточной пресной водой размером $5 \times 10 \times 4 \text{ м}^3$ размещался в помещении.

В качестве генераторов возмущений в подповерхностном слое воды, на ее поверхности и в слое воздуха над поверхностью использовали:

- 1) электрический трехлопастный вентилятор для создания воздушной турбулентности, воздействующей на поверхность воды;
- 2) электрический мотор с двухлопастным движителем для создания турбулентности в толще воды и на ее поверхности;
- 3) Т-образное весло для создания на поверхности воды аперiodических волновых возмущений.

Источниками освещения поверхности воды служили рассеянное естественное солнечное освещение, попадающее через оконные проемы с противоположных сторон бассейна, и мощный светодиод.

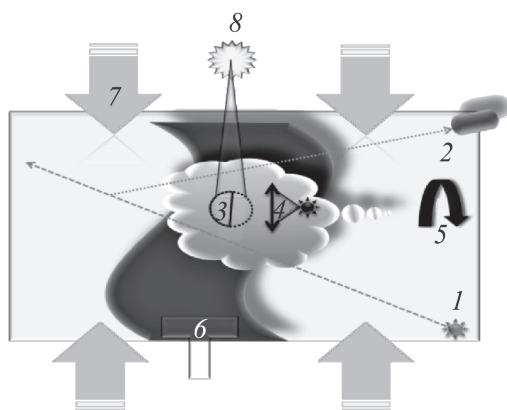
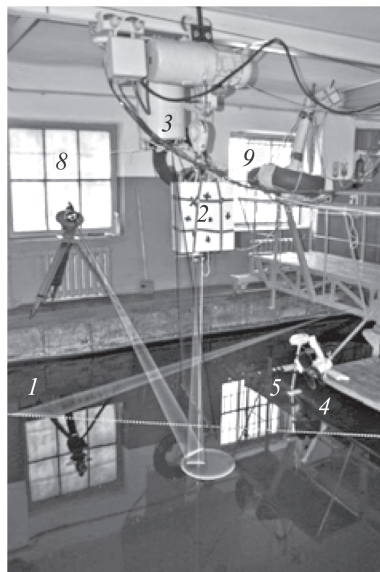


Рис. 1. Схема расположения блоков измерительного комплекса лазерно-оптической аппаратуры и источников ГДВ:

1 — лазерный источник излучения с длиной волны $\lambda = 532 \text{ нм}$, мощностью $0,5 \text{ Вт}$, модулированный с частотой излучения 1 кГц ; 2 — фотоприемник на основе ФЭУ; 3 — двухканальный фотометр, регистрирующий оптическое излучение на длинах волн $\lambda = 440 \text{ нм}$ и $\lambda = 540 \text{ нм}$ мощностью от 10^{-11} Вт и более; 4 — СЛЛ (рабочая длина волны $\lambda = 661 \text{ нм}$, мощность лазера $0,07 \text{ Вт}$, угол сканирования 9° , частота сканирования 7 Гц); 5 — генераторы воздушной и механической турбулентности; 6 — генератор аперiodических волновых возмущений; 7 — источники естественного освещения; 8 — точечный источник искусственного освещения на основе светодиода

Рис. 2. Расположение комплекса измерительной лазерно-оптической аппаратуры в помещении бассейна:

1 — ход лучей аэрозольного лидара с лазерным источником; 2 — двухканальный фотометр; 3 — СЛЛ; 4 — генератор воздушной турбулентности над поверхностью воды; 5 — генератор турбулентности в воде; 6 — Т-образный генератор апериодических возмущений на поверхности воды; 7 — точечный источник искусственного излучения; 8, 9 — источники естественного рассеянного излучения



Кроме фотометра, в этих экспериментах для получения более полных данных о ГДВ применяли сканирующий лазерный локатор (СЛЛ) для регистрации характеристик волнения и аэрозольный лидар для регистрации аэрозольного рассеяния над поверхностью воды. Схема размещения лазерно-оптической аппаратуры приведена на рис. 1, общий вид комплекса измерительной лазерно-оптической аппаратуры в помещении бассейна — на рис. 2.

Фотометр яркости моря располагался на высоте 1,5 м над поверхностью воды и его ось визирования была направлена в нади́р. С учетом полного угла мгновенного поля зрения фотометра $1,14^\circ$ регистрировалось излучение от области на поверхности воды размером около 3 см.

В качестве поверхностей, освещаемых естественным, искусственным точечным и лазерным излучением, использовали:

- 1) экран из темно-серой матовой бумаги;
- 2) гладкая поверхность воды;
- 3) поверхность воды, возмущенная воздушной турбулентностью;
- 4) поверхность воды, возмущенная турбулентностью, вызванной вращением гребного винта под водой;
- 5) поверхность воды, возмущенная апериодическими движениями Т-образного весла.

При воздушном возмущении поверхности воды образовалась волновая структура с пространственным периодом около 3 см. При использовании гребного винта волнение имело турбулентный характер.

Значения сигналов ФЯМ на длине волны 440 нм в зависимости от вида возмущения поверхности воды приведены ниже:

Без возмущений	0,90
Воздушная турбулентность	1,30
Подводное возмущение гребным винтом	1,50
Апериодическое возмущение поверхности веслом	1,50

Измерения выполнены при естественном освещении бассейна, при этом диапазон шкалы АЦП составил $\pm 0,625$ В. Ввиду недостаточности освещения поверхности воды естественным светом, идущим из окон помещения бассейна, сигналы на длине волны 540 нм оказались сравнимыми с шумами ФЭУ этого канала, что не позволило выполнить их надежную регистрацию. Сигналы от светодиодного фонаря также оказались небольшими, что не позволило получить надежные данные.

Согласно приведенным данным, наличие разного вида ГДВ приводит к значительному изменению сигналов ФЯМ.

Натурные измерения на молу. На молу феодосийского порта был выполнен комплекс измерений с использованием ФЯМ при различной ориентации его оси визирования относительно поверхности воды и солнечного вертикала [18].

Изменение сигналов ФЯМ на двух длинах волн (440 нм-канал *A* и 540 нм-канал *B*) в течение 15 мин приведено на рис. 3. Измерения выполнены в солнечный день при волнении моря около 2 баллов. Фотометр располагался на высоте 8 м.

Флуктуации сигналов ФЯМ при его размещении на молу связаны с волнением, вследствие которого возникает изменяющееся во времени френелевское отражение с интенсивностью, зависящей от угла паде-

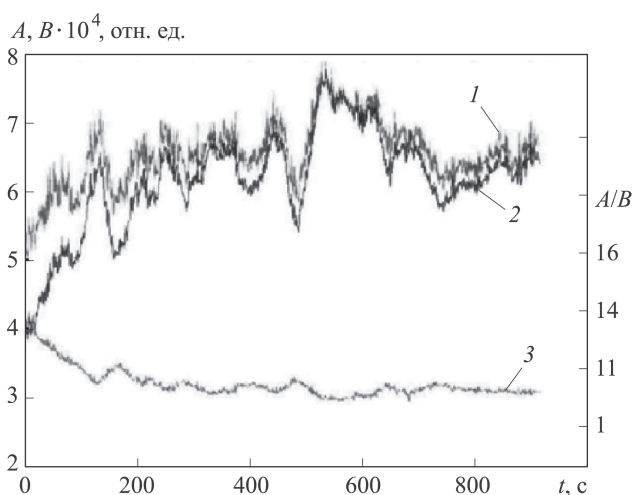


Рис. 3. Непрерывная запись сигналов ФЯМ, размещенного на молу, на длинах волн 440 (1) и 540 (2) нм и отношения яркостей каналов (3)

ния солнечного излучения на участок морской поверхности, отражающей излучение в приемный объектив ФЯМ. Кроме того, на излучение, идущее из приповерхностных слоев, действует линзовый эффект, когда в результате преломления излучения Солнца и неба на взволнованной морской поверхности в приповерхностном слое моря возникают нестационарные световые поля [8].

Флуктуации сигналов на длинах волн 440 и 540 нм (каналы *A* и *B*) составили около 10%, а флуктуации отношения яркостей $L_M(440)/L_M(540)$ — приблизительно 3%, что позволяет уменьшить влияние волнения на это отношение и тем самым более точно обнаруживать наличие ГДВ по изменению оптических характеристик приповерхностных слоев моря.

Кроме того, на молу были выполнены исследования возможности обнаружения воздействия искусственных ГДВ на приповерхностные слои морской среды. Фотометр располагался на высоте 5 м. Для генерации искусственных ГДВ использовалась заглубленная струя от погружного насоса. Оказалось, что при заглублении струи на 0,2 м отношение яркостей $L_M(440)/L_M(540)$, полученное для участка поверхности над струей, на 34% меньше значения, определенного для того же участка поверхности моря при отсутствии струи ($0,98 \pm 0,02$ и $1,33 \pm 0,02$ соответственно). Скорость струи при проведении экспериментов в зоне регистрации составила несколько м/с, а поперечный размер — около 10 см. Размер участка поверхности моря, с которого фотометр принимал излучение, приблизительно 16 см.

Натурные морские эксперименты. В ходе выполнения двух морских экспедиций ФЯМ аэрозольный лидар и фотографический комплекс размещались на сигнальном мостике научно-исследовательского судна (водоизмещение 2000 т) в единой конструкции (рис. 4), подвешенной с помощью стабилизирующего устройства [19]. Высота над уровнем моря составляла 12 м.

Ось визирования фотометра была направлена под углом 60° к курсу судна и наклонена под углом 25° к морской поверхности.

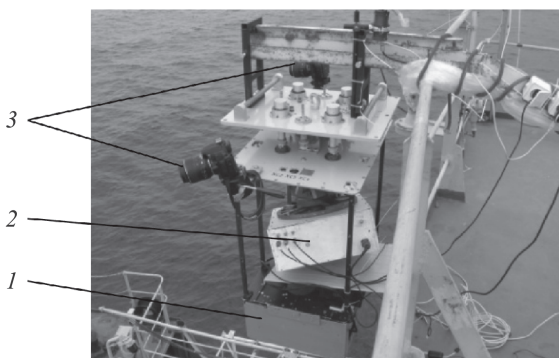


Рис. 4. Аэрозольный лидар 1, ФЯМ 2 и фотографический комплекс 3, установленные на сигнальном мостике научно-исследовательского судна

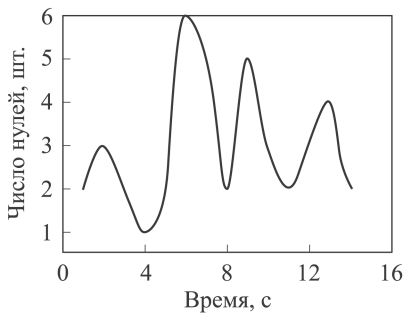


Рис. 5. Обработанные данные трехканального ФЯМ в области пересечений следа гидрографического катера

Эксперименты со следом гидрографического катера. В экспериментах с борта судна регистрировался кильватерный след, возникающий на морской поверхности при движении гидрографического катера (водоизмещение 400 т) со скоростью 8 узлов. Во всех случаях возраст следа составлял примерно 70 с. При обработке сигналов фотометра вначале устранялся низкочастотный тренд, обусловленный крупномасштабным пятнистым характером фонового распределения фитопланкто-

на или взвеси, затем за 2 с подсчитывалось число нулей накопленной функции отношения A/B сигналов, пропорциональных отношению яркостей $L_M(440)/L_M(540)$. При этом пространственное разрешение равно приблизительно 10 м.

Обработанные данные для ФЯМ, относящиеся ко времени пересечения следа гидрографического катера, представлены на рис. 5. В области следа происходят осцилляции измеряемого параметра, что может объясняться турбулентным характером следа в этой области морской поверхности.

Эксперименты с пересечением собственного следа научно-исследовательского судна. В ходе проведения экспериментов было выполнено два пересечения собственного следа судна. Возраст следа 40 мин. Сигналы ФЯМ обрабатывались по тому же алгоритму, как и в экспериментах с гидрографическим катером. Полученные зависимости представлены на рис. 6 для двух пересечений турбулентного следа.

Для двух моментов времени пересечения собственного следа судна наблюдается снижение числа нулей высокочастотной составляющей сигнала фотометра. Это свидетельствует об изменении распределения приповерхностного фитопланктона или взвеси под действием ГДВ от судна, происходит сильное перемешивание приповерхностных слоев воды. При этом естественная “пятнистость” распределения фитопланктона и взвеси нарушается, а их распределение становится более однородным. Кроме того, также возможно относительно долговременное “выглаживание” и самой морской поверхности, приводящее к снижению числа ярких бликов в отраженном от морской поверхности излучении Солнца и неба, что уменьшает флуктуации сигналов ФЯМ.

Пространственный масштаб изменения параметров флуктуации сигналов ФЯМ достаточно хорошо согласуется с оценкой поперечного размера следа судна.

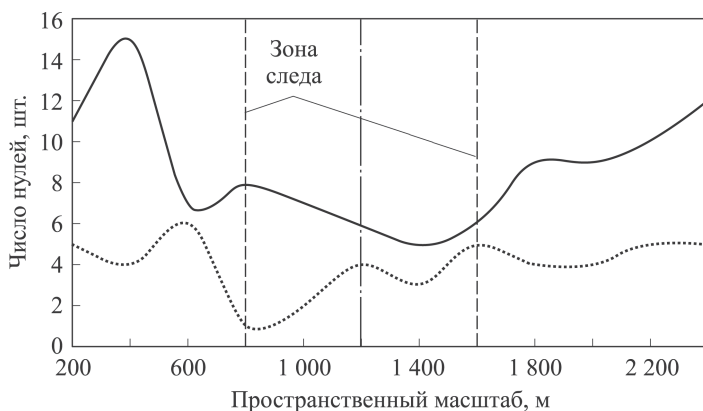


Рис. 6. Зависимость числа нулей осциллирующей составляющей отношения сигналов $L_m(440)/L_m(540)$ от времени движения судна для двух пересечений собственного следа судна (возраст следа 40 мин)

Выводы. На примере регистрации искусственных ГДВ в бассейне и на молу, а также в результате проведения натурных морских исследований с регистрацией следа судна показана высокая эффективность метода двухканальной фотометрии яркости моря для изучения мелко-масштабных ГДВ. Дальнейшие исследования могут быть направлены на подобное изучение временной изменчивости ГДВ различной природы и изучение влияния гидрометеоусловий на регистрацию ГДВ с помощью ФЯМ.

Для повышения эффективности ФЯМ при обнаружении мелко-масштабных ГДВ целесообразно изучить вопрос о возможности увеличения числа спектральных каналов, регистрируемых ФЯМ, например, на основе многоспектральной регистрации яркости моря при использовании линейных или матричных фотоприемных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оптика океана. Прикладная оптика океана. Т.2* / под ред. А.С.Монина. М.: Наука, 1983. 263 с.
2. *Оптика океана и атмосферы* / под ред. К.С.Шифрина. М.: Наука, 1981. 230 с.
3. *Кельбалиханов Б.Ф.* Гидрооптические исследования в водах Мирового океана; под ред. Б.Н.Трубникова. Сыктывкар: Институт экологич. проблем, 1992. 126 с.
4. *Ли М.Е., Мартынов О.В.* Некоторые результаты исследований индекса цвета моря // Морские гидрофизические исследования. 1976. № 1 (72). С. 133–138.
5. *Дифференциальный измеритель коэффициента спектральной яркости поверхности моря* / В.И.Дегтярев, О.Г.Константинов, А.А.Нелепа, И.П.Костенко // Морские гидрофизические исследования. 1976. № 1 (72). С. 124–132.
6. *Вакуров Г.Ф., Сакерин С.М.* Фотометр для одновременного регистрации сигналов на нескольких длинах волн оптического диапазона // Сб.: Аппаратура и методики дистанционного зондирования параметров атмосферы. Наука, Сиб. отд. 1980. С. 56–61.
7. *Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология* / В.А.Артемьев, В.И.Буренков, М.И.Вортман, А.В.Григорьев, О.В.Копелевич, А.Н.Храпко // Океанология. 2000. Т. 40. № 1. С. 148–155.

8. Матюшенко В.А., Пелевин В.Н., Ростовцева В.В. Измерение коэффициента яркости моря трехканальным спектрофотометром с борта НИС // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 5. С. 664–669.
9. Ефименко И.Д., Новиков В.С., Пелевин В.Н. Авиационный регистрирующий фотометр яркости моря // Сб.: Световые поля в океане. М.: Институт океанологии АН СССР. 1979. С. 203–210.
10. Шилин Б.В., Шубина М.А. Методы дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. 2000. № 9. С. 50–57.
11. Шилин Б.В., Хотяков В.В. Видеоспектральная аэросъемка — ведущее направление дистанционного зондирования в оптическом диапазоне // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 3. С. 55–58.
12. Марков А.В., Шилин Б.В. Видеоспектральная аэросъемка — метод решения обратной задачи дистанционного зондирования [Электронный ресурс] URL: http://www.cpnt.ru/userfiles/SVP_Otchet.pdf (дата обращения: 12.02.2013).
13. Опыт использования видеоспектрометра ИТМО в природных условиях / П.В. Батян, В.В. Гуд, И.А. Коняхин, В.М. Красавцев, К.Н. Чиков, В.Н. Груздев, Б.В. Шилин // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. 2002. Т. 45. № 2. С. 46–51.
14. Рис У. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера, 2006. 336 с.
15. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.
16. Особенности динамики вод и распределения хлорофилла “а” в северо-восточной части Черного моря осенью 1997 г. / А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, В.Г. Кривошея, Н.П. Незлин, Д.М. Соловьев, С.В. Станичный, В.Г. Якубенко // Океанология. 2000. Т. 40. № 3. С. 344–356.
17. Карабашев Г.С., Евдошенко М.А., Шеберстов С.В. Анализ проявлений мезомасштабного водообмена на спутниковых снимках морской поверхности // Океанология. 2005. Т. 45. № 2. С. 182–192.
18. Применение фотометра яркости для получения информации гидродинамических возмущений в морской среде / С.Г. Иванов, В.Н. Носов, В.И. Погонин, Е.А. Зевакин, А.С. Савин, А.М. Горелов, С.О. Леонов // Сб. трудов международной научной конференции: Актуальные направления развития прикладной математики в энергетике, энергоэффективности и информационно-коммуникационных технологиях. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. С. 277–280.
19. О комплексном подходе к дистанционной регистрации гидродинамических возмущений морской среды оптическими методами / А.М. Горелов, Е.А. Зевакина, С.Г. Иванов, С.Б. Каледин, С.О. Леонов, В.Н. Носов, А.С. Савин // Физические основы приборостроения. 2012. Т. 1. № 4. С. 58–65.

REFERENCES

- [1] Monin A.S., Burenkov V.I., Vasil'kov A.P., Shifrin K.S., eds. Fizicheskaya optika okeana. Tom 2. Optika okeana. V 2 t. [Applied Optics of Ocean. Vol. 2. Optics of Ocean. In 2 volumes]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 263 p.
- [2] Shifrin K.S., eds. Optika okeana i atmosfery [Ocean and Atmospheric Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 230 p.
- [3] Kel'balikhanov B.F., Trubnikov B.N., eds. Gidroopticheskie issledovaniya v vodakh Mirovogo okeana [Hydrooptical researches in the waters of the World Ocean]. Syktyvkar, Inst. ekolog. Problem Publ., 1992. 126 p.
- [4] Li M.E., Martynov O.V. Some research results of the sea color index. *Morskie gidrofizicheskie issledovaniya* [Marine hydro physical studies], 1976, no. 1 (72), pp. 133–138 (in Russ.).
- [5] Degtyarev V.I., Konstantinov O.G., Nelepa A.A., Kostenko I.P. Differential measuring equipment of the spectral brightness coefficient for the surface sea. *Morskie gidrofizicheskie issledovaniya* [Marine hydro physical studies], 1976, no. 1 (72), pp. 124–132 (in Russ.).

- [6] Vakurov G.F., Sakerin S.M. Photometer for simultaneous detection of signals at multiple wavelengths within optical range. *Sb. "Apparatura i metodiki distantsionnogo zondirovaniya parametrov atmosfery"* [Coll. papers "Apparatus and methods of remote sensing of the atmospheric parameters"], Nauka, Sib. Otd. AN SSSR Publ., 1980, pp. 56–61 (in Russ.).
- [7] Artem'ev V.A., Burenkov V.I., Vortman M.I., Grigor'ev A.V., Kopelevich O.V., Khrapko A.N. Ground truth measurements of ocean color: new floating spectroradiometer and metrology. *Okeanologiya (Moscow)* [Oceanology], 2000, vol. 40, no. 1, pp. 148–155 (in Russ.).
- [8] Matyushenko V.A., Pelevin V.N., Rostovtseva V.V. Measurement of reflectance sea-channel spectrophotometer from shipboard of scientific research vessel. *Opt. Atmos. Okeana* [Atmos. Ocean Opt.], 1996, vol. 9, no. 5, pp. 664–669 (in Russ.).
- [9] Efimenko I.D., Novikov V.S., Pelevin V.N. Recording sea brightness photometer for an aircraft. *Sb. Inst. Okeanologii AN SSSR "Svetovye polya v okeane"* [Coll. Papers of the Inst. Oceanology of the USSR Acad. Sci. "Light fields in the ocean"], Moscow, 1979, pp. 203–210 (in Russ.).
- [10] Shilin B.V., Shubina M.A. Methods of remote sensing of the Earth. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 2000, no. 9, pp. 50–57 (in Russ.).
- [11] Shilin B.V., Khotyakov V.V. Videospectral aerial surveys is the leading direction of remote sensing in the optical range. *Optic. zhur.* [J. Opt. Tech.], 2004, vol. 71, no. 3, pp. 55–58 (in Russ.).
- [12] Markov A.V., Shilin B.V. Videospectral aerial survey — method for solving the inverse problem of remote sensing. Available at: http://www.cpnt.ru/userfiles/SVP_Otchet.pdf (accessed 12.02.2013). (in Russ.).
- [13] Batyan P.V., Good V.V., Konyakhin I.A., Krasavtsev V.M., Chikov K.N., Gruzdev V.N., Shilin B.V. Experience in the use of imaging spectrometer "ITMO" in situ conditions. *Izvestiya vuzov. Ser. Priborostroenie* [Proc. Uni., Instrum. Eng.], 2002, vol. 45, no. 2, pp. 46–51 (in Russ.).
- [14] Ris U.G. *Osnovy distantsionnogo zondirovaniya* [Basics of remote sensing]. Moscow, Technosphere Publ., 2006. 336 p.
- [15] Chandra A.M., Ghosh S.K. Remote sensing and geographical information system. Alpha Science Int'l Ltd., Science, 2006. 298 p. (Russ. Ed.: Chandra A.M., Gosh S.K. *Distantsionnoe zondirovanie i geograficheskie informatsionnye sistemy*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2008. 312 p.).
- [16] Ginzburg A.I., Kostyanoy A.G., Krivosheya V.G., Nezhlin N.P., Solov'ev D.M., Stanichnyy S.V., Yakubenko V.G. Peculiarities of water dynamics and distribution of chlorophyll "a" in the North-Eastern part of the Black sea in the autumn of 1997. *Okeanologiya (Moscow)* [Oceanology], 2000, vol. 40, no. 3, pp. 344–356 (in Russ.).
- [17] Karabashev G.S., Evdoshenko M.A., Sheberstov S.V. Appearance analysis of mesoscale water exchange on satellite images of the sea surface. *Okeanologiya (Moscow)* [Oceanology], 2005, vol. 45, no. 2, pp. 182–192 (in Russ.).
- [18] Ivanov S.G., Nosov V.N., Pogonin V.I., Zevakin E.A., Savin A.S., Gorelov A.M., Leonov S.O. The application of the brightness photometer for obtaining information on hydrodynamic disturbance within the marine environment. *Sb. Tr. Mezhdunar. Nauch. Konf. "Aktual'nye napravleniya razvitiya prikladnoy matematiki v energetike, energoeffektivnosti i informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiyakh"* [Proc. Int. Sci. Tech. Conf. "The actual directions of the applied mathematics development in power engineering, energy efficiency, information and communication technologies"], Moscow, Bauman State Technical University, 2010, pp. 277–280 (in Russ.).

- [19] Gorelov A.M., Zevakin E.A., Ivanov S.G., Kaledin S.B., Leonov S.O., Nosov V.N., Savin A.S. About a comprehensive approach to remote registration of hydrodynamic disturbances of the marine environment by optical methods. *Fizicheskie osnovy priborostroeniya* [Physical basis of instrument engineering], 2012, vol. 1, no. 4, pp. 58–65 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 28.05.2014

Сергей Георгиевич Иванов — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор более 80 научных работ в области лазерной спектроскопии, лидаров, оптики моря.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

S.G. Ivanov — Cand. Sci. (Phys.-Math.), senior researcher of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 80 publications in the field of laser spectroscopy, lidar, optics sea.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Виктор Николаевич Носов — д-р техн. наук, заведующий отделом Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор более 100 публикаций в области гидродинамики и создания лазерной аппаратуры.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

V.N. Nosov — Dr. Sci. (Eng.), head of department of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 100 publications in the field of hydrodynamics and the development of the laser equipment.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Сергей Борисович Каледин — канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 60 научных работ в области оптико-электронной и лазерной техники.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

S.B. Kaledin — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of the Bauman Moscow State Technical University, senior researcher of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 60 publications in the field of electro-optical and laser technology.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Александр Николаевич Плишкин — главный конструктор проекта Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор 15 научных работ в области океанологии.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

A.N. Pliskin — chief designer of the project of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of 15 publications in the field of oceanography.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Владимир Иванович Погонин — канд. хим. наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор более 40 научных работ в области химической кинетики, разработки фотоприемных устройств и датчиков химических сенсоров.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

V.I. Pogonin — Cand. Sci. (Chem.), senior researcher of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 40 publications in the field of chemical kinetics, development of photodetectors and sensors of chemical sensors.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Станислав Олегович Леонов — младший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор 13 научных работ в области лазерных систем, оптико-электронных приборов и обработки информации.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

S.O. Leonov — Junior Researcher of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of 13 publications in the field of laser systems, optoelectronic devices and information processing.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Татьяна Валерьевна Глебова — младший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

T.V. Glebova — junior researcher of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.

Евгений Александрович Зевакин — канд. техн. наук, начальник опытного производства Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН. Автор более 40 научных работ и изобретений в области теории и разработки аналитических систем и комплексов.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Косыгина, д. 19.

E.A. Zevakin — Cand. Sci. (Eng.), chief pilot production of the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences. Author of more than 40 publications and inventions in the field of theory and the development of analytical systems and complexes.

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the RAS, ul. Kosygina 19, Moscow, 119991 Russian Federation.