

Galic. Bank Kredytowy). Це широковідомий факт. Зараз майже всі ці шурфи перекриті відвалами пустої породи з озокеритових шахт.

Зіставлення карт загазованості станом на 2000 і 2001 рік свідчить про те, що розповсюдження природного газу у повітряному басейні міста — складний динамічний процес. По-перше, картина загазованості змінюється під впливом природних умов, зокрема залежно від пори року, атмосферного тиску, температури, переважного напрямку та швидкості вітру, від геологічних процесів — циклів, згідно з якими одні тектонічні розриви «закриваються», інші — «відкриваються»; по-друге, залежно від техногенних факторів: у першу чергу від заходів з дегазації, що проводяться Відкритим акціонерним товариством (ВАТ) «Укрнафта Бориславнафтогаз» та особливостей технології нафтодобутку.

Таким чином, в результаті виконаної роботи було створено карти джерел забруднення приповерхневого шару атмосфери м. Борислав газоподібними ВВ природного походження. Одночасно ці картографічні матеріали відобразили загальну картину розповсюдження природного газу у повітряному басейні станом на вересень 2001 року. На картах зафіксовано діючі та потенційні джерела природного газу: 1399 діючих і ліквідованих свердловин, 374 ліквідованих шурфів та нафтових колодзів, мережа розривних порушень.

Вважаємо, що створені карти є значним кроком

уперед у галузі вивчення джерел і загальної картини загазованості міста.

Закладено основу ГІС загазованості м. Борислав.

Отримані результати свідчать про високу ефективність комплексного використання аерокосмічного та польового газогеохімічного методів при вивченні загазованості території Бориславського нафтогазового родовища і дозволяють рекомендувати подальші роботи подібного напрямку з метою отримання детальніших даних в межах Бориславської міської агломерації, а також на інших нафтових і газових родовищах.

1. Аксенов А. А., Багдасарова М. В., Довжок Е. М. Бориславское нефтяное месторождение — пример разгрузки глубинных флюидных систем по тектоническим нарушениям // Пластиковые давления в нефтегазоносных провинциях: Науч. тр. ин-та геол. и разраб. горючих ископаемых. — М., 1982.—С. 70—81.
2. Бойко Г. Е., Мырка Я. И, Мизик Р. С., Михалевич Л. В. К исследованию режима газонефтепроявлений на территории Бориславского месторождения // РМС «Геология и геохимия горючих ископаемых». — Киев: Наук. думка, 1988.—С. 16—21.
3. Контроль загазованности атмосферы на объектах газовой промышленности. — М.: ВНИИЭгазпром, 1979.—Вып. 4.—50 с.
4. Мырка Я. М. Опыт изучения и устранения загазованности на территории Бориславского и Битковского нефтегазовых месторождений //Проблемы развития нефтяной промышленности Украины и Белоруссии: Сб. науч. тр. — Укр-нпрониюнефть, 1985.—С. 77—84.
5. Tolwinski K. Kopalnie ropy i gazow ziemnych w Polsce. Boryslaw T.II. Warszawa-Boryslaw-Lwow, 1934—1937.—381 p.

Океанологічні задачі

Использование данных SeaWiFS для наблюдения Черного моря

Г. К. Коротаев, В. С. Суетин, В. В. Суслин,
С. Н. Королев, А. А. Кучерявый

Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь

Запущенный в космос в 1997 году американский оптический сканер SeaWiFS производит регулярные наблюдения морских акваторий в нескольких режимах в широкой полосе обзора [7]. Излучение регистрируется в восьми спектральных интервалах шириной 20—40 нм, расположенных в диапазоне длин волн 412—865 нм. Получаемая информация

полезна для решения различных задач — от выполнения глобального экологического мониторинга до изучения локальных процессов в отдельных морях или прибрежных участках. В принципе по результатам измерений излучения в ряде спектральных интервалов можно вычислять концентрацию хлорофилла и значения других важнейших параметров,

определяющих оптические свойства воды в море [3—5, 7—10, 12].

Рис. 1 иллюстрирует результаты картирования концентрации хлорофилла a (C_a) в Черном море, определенной по стандартному алгоритму NASA при оперативной обработке данных SeaWiFS в глобальном масштабе. Такие карты несут информацию о многих важных процессах, протекающих в Черном море. В Морском гидрофизическом институте НАН Украины формируется региональный компьютерный архив, содержащий как исходные данные съемки прибором SeaWiFS, так и результаты их стандартной обработки по акватории Черного моря. Одно из основных ограничений для наблюдения моря в видимом диапазоне связано с облачным покровом, тем не менее, благодаря непрерывной работе на орбите и широкой полосе обзора прибор SeaWiFS дает возможность почти регулярного наблюдения изменений оптических свойств воды в Черном море, особенно в летний сезон.

Второе ограничение связано с точностью количественного определения концентрации хлорофилла a в морской воде. Как показали выполненные исследования, результаты расчетов C_a по стандартному алгоритму NASA в ряде случаев содержат большие погрешности [3]. Одной из причин их возникновения является отличие оптических свойств воды в Черном море от океанских вод, для которых предназначен этот алгоритм. По-видимому, это ограничение может быть преодолено путем применения более сложных многопараметрических алгоритмов расчета C_a с использованием измерений по полному набору спектральных каналов прибора SeaWiFS [4, 10, 12]. Однако для реализации таких алгоритмов необходимо точное выполнение атмосферной коррекции и определение величин нормализованной спектральной яркости воды $L_{\text{WN}}(\lambda)$ для всех длин волн λ измерений SeaWiFS. Вместе с тем, по многим признакам достоверность результатов атмосферной коррекции для спектральных каналов SeaWiFS с $\lambda = 412$ и 443 нм вызывает серьезные сомнения [3, 6]. Например, в ряде случаев получаемые по стандартным алгоритмам значения $L_{\text{WN}}(412)$ и $L_{\text{WN}}(443)$ оказываются отрицательными (рис. 2). С этим связано еще одно ограничение в применении данных SeaWiFS для наблюдения Черного моря. Таких же явных признаков ошибок в определении $L_{\text{WN}}(510)$ и $L_{\text{WN}}(555)$ не наблюдается, поэтому представляется целесообразным прежде всего на практике использовать результаты определения этих двух величин. При этом мы исходим из того, что ошибки атмосферной коррекции в наибольшей мере проявляются в синем участке видимого диапазона, а с увеличением длины волны до 510 и 555 нм они существенно уменьшаются. В

этом проявляется региональная специфика аэрозоля над акваторией Черного моря.

На рис. 3 показаны зависимости $L_{\text{WN}}(555)$ и некоторых других параметров от времени за период с мая по август 1998 г. Нанесенные на этих графиках значения получены путем усреднения по площади в пределах участка $42.5\text{--}43.0^\circ$ с.ш.; $30.3\text{--}31.0^\circ$ в.д. На рис. 4 приведены характерные примеры пространственного распределения $L_{\text{WN}}(555)$ в различные дни летом 1998 г. Приведенные на рис. 3 и 4 примеры демонстрируют особенности пространственно-временной изменчивости $L_{\text{WN}}(555)$ в Черном море. Характерный интервал изменений составляет $0.3\text{--}3$ мВт·нм⁻¹ср⁻¹см⁻². Столь сильная изменчивость обусловлена особенностями развития кокколитофорид, приводящих к повышению показателя обратного рассеяния света [1]. Наибольшие значения $L_{\text{WN}}(555)$ наблюдаются в июне в центральной и юго-западной частях моря, а также в узкой полосе вдоль Анатолийского побережья. В июле и августе это явление существенно ослабевает. Сильные эффекты рассеяния света в период цветения кокколитофорид почти по всей площади моря относятся к одной из специфических особенностей современного состояния Черного моря. До второй половины 1980-х годов этого не наблюдалось. В связи с этим величина $L_{\text{WN}}(555)$ содержит полезную информацию, отражая достаточно важные эффекты изменчивости свойств Черного моря.

Для анализа информативности съемки в канале 510 нм полезно вместо $L_{\text{WN}}(510)$ рассматривать отношение $I_{510} = L_{\text{WN}}(555)/L_{\text{WN}}(510)$, которое в первом приближении отражает эффекты поглощения света в морской воде [5, 8]. В работе [3] предложено использовать эту величину для расчетов концентрации хлорофилла a в Черном море в летний сезон по формуле

$$C_a = 1.13(I_{510})^{3.33}. \quad (1)$$

На рис. 5 показаны примеры построенных с применением формулы (1) карт пространственного распределения концентрации хлорофилла a в западной части Черного моря. Наиболее высокие значения C_a наблюдаются в районе выноса Дунайских вод и наименьшие — на большой площади в глубоководной части моря. Легко видеть, что в интервале изменений $0.2 \leq C_a \leq 1.6$ мг/м³ на этих картах отчетливо прослеживается имеющая сложную структуру граница между глубоководной частью моря и шельфом с различными оптическими свойствами воды. В течение лета расположение и конфигурация этой границы претерпевает значительные изменения, отражая особенности морских

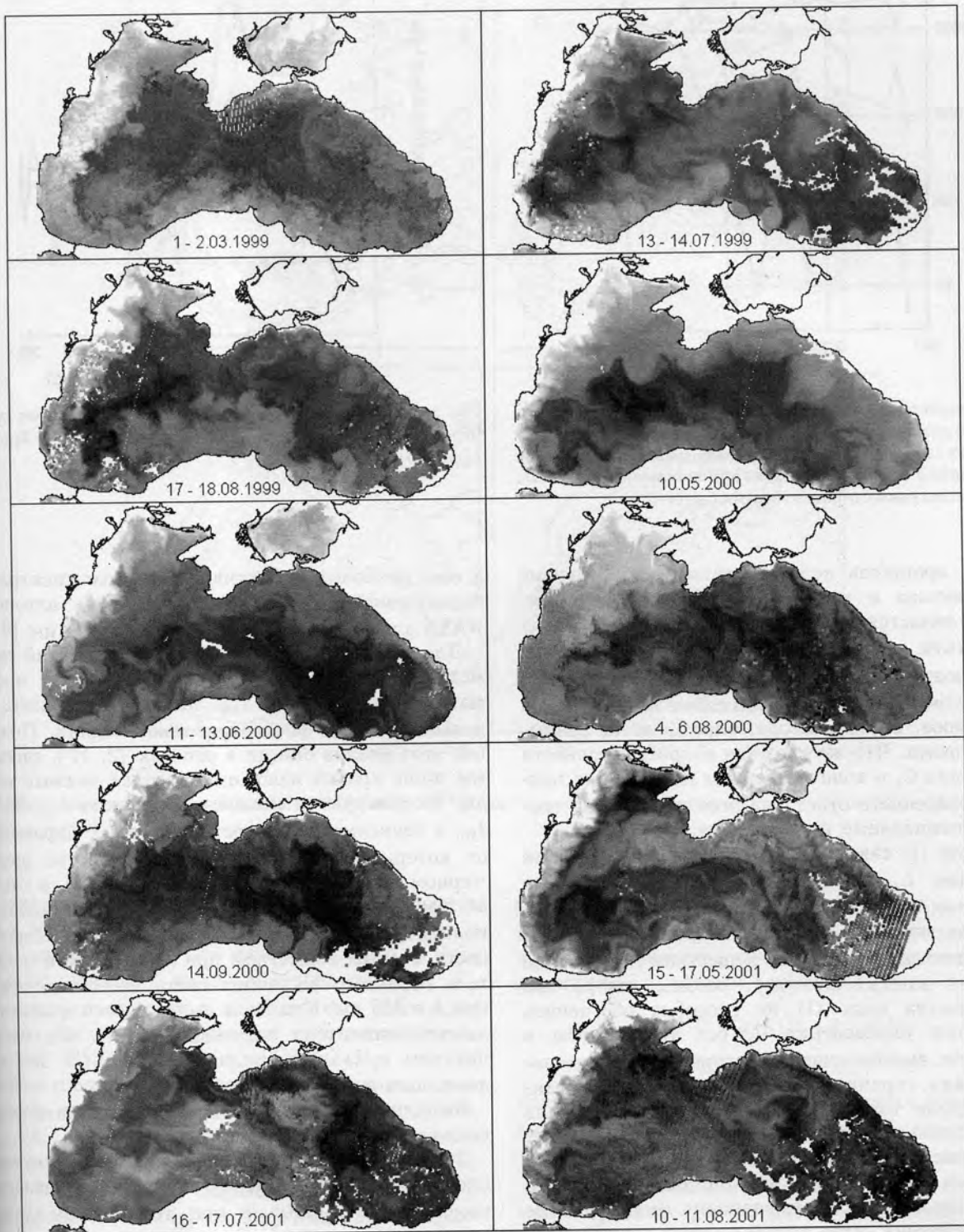


Рис. 1. Примеры карт пространственного распределения концентрации хлорофилла *a* в Черном море по данным SeaWiFS

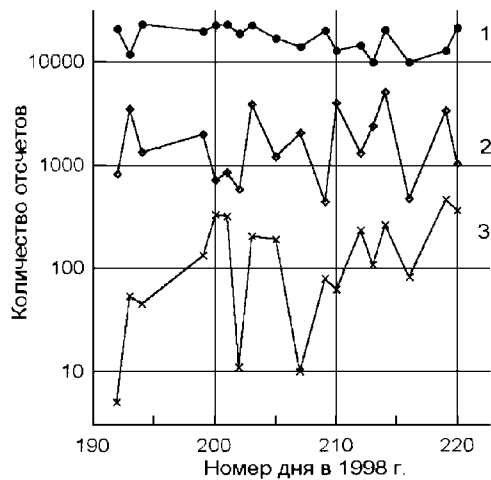


Рис. 2. Результаты анализа серии карт величин $L_{WN}(412)$ и $L_{WN}(443)$ в западной части Черного моря в период с 11 июля по 8 августа 1998 г.: 1 — полное количество свободных от облаков узлов сетки на карте; 2 — количество узлов с отрицательными $L_{WN}(412)$; 3 — количество узлов с отрицательными $L_{WN}(443)$

течений, процессов перемешивания вод, развития фитопланктона и т. п. Таким образом, величина I_{510} тоже является весьма информативной. Интересно отметить, что на картах величин $L_{WN}(555)$ и I_{510} наблюдается независимая изменчивость, говорящая о том, что эффекты рассеяния и поглощения света в море, вообще говоря, определяются разными факторами. Что же касается вопроса о точности определения C_a в количественном смысле, для получения уверенного ответа на этот вопрос еще требуются специальные исследования.

Формула (1) связывает C_a с двумя измеряемыми величинами $L_{WN}(\lambda)$, $\lambda = 510, 555$ нм, но число переменных факторов, определяющих изменения $L_{WN}(\lambda)$, по меньшей мере равно трем: поглощение света планктоном и желтым веществом и рассеяние частицами взвеси. Поэтому, вообще говоря, ни одна формула вида (1) не способна обеспечить однозначное определение C_a без того, чтобы в реальности выполнялись некоторые дополнительные условия, ограничивающие вариации этих факторов. Кроме того, для определения хлорофилла при не слишком высоких его концентрациях использование канала 510 нм является несколько необычным в связи с тем, что для длин волн 510 и 555 нм большие числовые значения имеет показатель поглощения света составляющей чистой морской воды, и поглощение фитопланктоном здесь играет второстепенную роль. Как известно, максимум поглощения света фитопланктоном расположен около $\lambda = 443$ нм, и обычно считается, что это

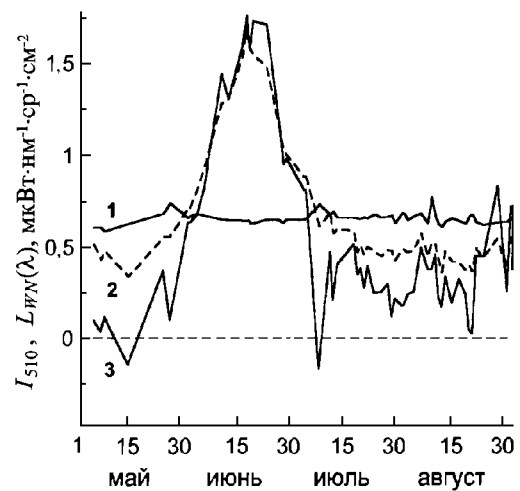


Рис. 3. Изменения величин I_{510} и $L_{WN}(\lambda)$, в выделенном участке Черного моря за период с мая по август 1998 г.: 1 — I_{510} , 2 — $L_{WN}(555)$; 3 — $L_{WN}(412)$

и есть наиболее эффективный участок спектра для определения C_a [5]. В стандартном алгоритме NASA для этого используется канал 490 нм [9].

Для того чтобы лучше понять физический смысл механизмов, предопределяющих высокую информативность величины I_{510} , полезно выполнить модельный анализ рассматриваемой задачи. Подробнее этот анализ описан в работах [2, 11], здесь же мы лишь кратко изложим наиболее важные выводы. Моделируются изменения величин $L_{WN}(555)$ и I_{510} в зависимости от трех первичных параметров, от которых зависят оптические свойства воды в Черном море в летний сезон. Следуя [4], в качестве параметров берутся C_a , $a_g(510)$ и $b_{sp}(555)$ — концентрация хлорофилла, показатель поглощения света желтым веществом при $\lambda = 510$ нм и показатель обратного рассеяния света частицами взвеси при $\lambda = 555$ нм. При этом вычисляются и сопоставляются показатели поглощения света желтым веществом $a_g(\lambda)$ и фитопланктоном $a_{ph}(\lambda)$ для всех длин волн видимого диапазона.

Выполненные расчеты позволяют сделать следующие выводы.

Формула (1) выполняется при условии, что вариации величины I_{510} в первую очередь определяются изменениями $a_g(510)$, и при этом между C_a и a_g реализуется такая связь:

$$a_g(510) = 0.057C_a - 0.003. \quad (2)$$

При этом $a_g(\lambda)$ превышает $a_{ph}(\lambda)$ почти в три раза для всех λ из участка 400—555 нм. В этом заклю-

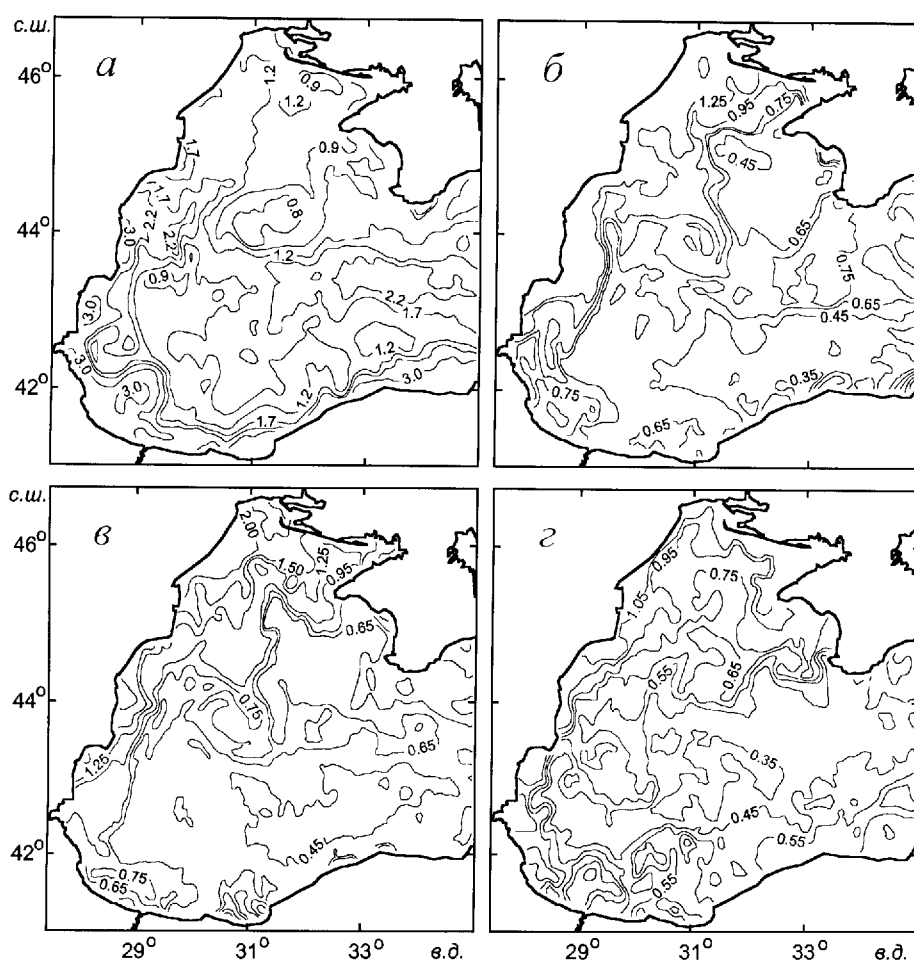


Рис. 4. Пространственное распределение $L_{WN}(555)$, $\text{мкВт} \cdot \text{нм}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ в западной части Черного моря: а — 16.06.98, б — 13.07.98, в — 19.07.98, з — 19.08.98

чается одно из важных отличий оптических свойств воды в Черном море от океана, и именно в этом состоит причина того, что алгоритм NASA в Черном море приводит к завышенным оценкам C_a . Этот вывод согласуется с полученной в работе [4] оценкой предельного условия работоспособности алгоритма NASA: $a_g(443)/a_{ph}(443) < 2$.

Вообще говоря, нельзя исключать возникновения ситуаций, в которых жесткой связи между C_a и a_g не будет, и тогда формула (1) может оказаться плохо пригодной для определения C_a . Вместе с тем, если не ставить задачу определения концентрации хлорофилла, то в качестве информативной характеристики можно рассматривать величину I_{510} . Прямые численные оценки в рамках использованной модели показывают, что при независимых изменениях параметров в типичных для Черного моря пределах (независимо от того, существует ли

жесткая связь между C_a и a_g или нет) с хорошей точностью выполняется следующая формула, выражающая суммарное значение поглощения света планктоном и желтым веществом

$$A_{\Sigma}(510) = a_g(510) + a_{ph}(510); \quad (3)$$

$$A_{\Sigma}(510) = 0.0823(I_{510})^{3.41}.$$

Если C_a и a_g изменяются независимым образом, то вычислять C_a через I_{510} нет смысла, но при этом остается возможность определения величины $A_{\Sigma}(510)$. Исходя из этого, приведенные на рис. 5 карты C_a можно рассматривать как результат формального преобразования по формуле (1) соответствующих карт I_{510} , допустимого даже если в реальности эта формула не выполняется. И тогда с точностью до выбора шкалы измерений приведенные на рис. 5 примеры карт C_a можно рассматри-

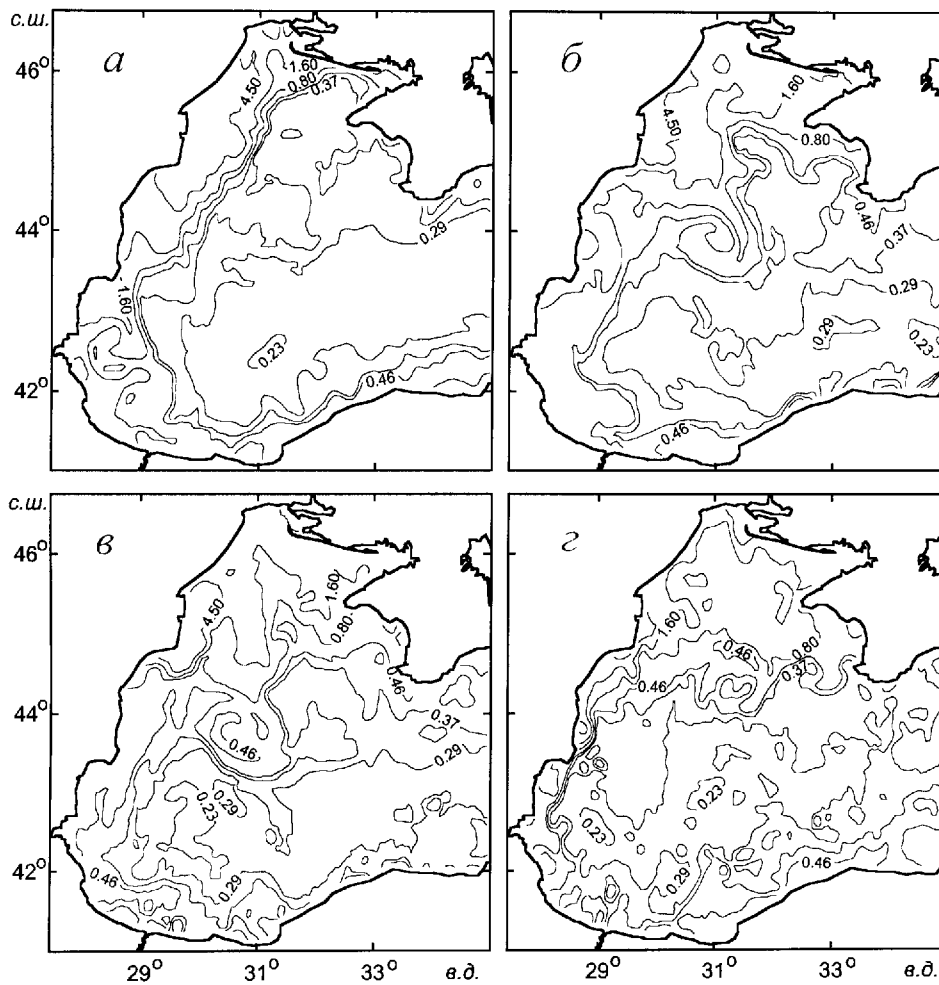


Рис. 5. Пространственное распределение концентрации хлорофилла C_a , $\text{мг}/\text{м}^3$ в западной части Черного моря: а — 16.06.98; б — 13.07.98; в — 19–20.07.98; г — 19.08.98

вать так же, как и карты пространственного распределения суммарного поглощения $A_{\Sigma}(510)$.

На основе выполнения серии модельных расчетов получилось следующее выражение:

$$b_{bp}(555) = [9.3L_{WN}(555) - 1.0] \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

С учетом аппроксимации (4) приведенные на рис. 4 карты $L_{WN}(555)$ в первом приближении допустимо интерпретировать как карты распределения $b_{bp}(555)$.

Формулы (3) и (4) демонстрируют ведущие физические механизмы, определяющие информативность величин I_{510} и $L_{WN}(555)$. В целом выполненный анализ говорит о том, что несмотря на существенную ограниченность возможностей определения полных спектров $L_{WN}(\lambda)$ по данным SeaWiFS, измерения в двух каналах 510 и 555 нм позволяют проследивать интересные особенности простран-

венно-временной изменчивости характеристик поглощения и рассеяния света в море. В летний сезон основной вклад в изменения поглощения дает желтое вещество, а определение концентрации хлорофилла имеет смысл только при условии выполнения достаточно жесткой связи между C_a и a_g .

1. Маньковский В. И., Владимиров В. Л., Афонин Е. И. и др. Многолетняя изменчивость прозрачности воды в Черном море и факторы, обусловившие ее сильное снижение в конце 80-х начале 90-х годов. — Севастополь. 1996.—32 с.—(Препринт / НАН Украины. Мор. гидрофиз. ин-т).
2. Суетин В. С., Суслин В. В., Королев С. Н., Кучерявый А. А. Оценка изменчивости оптических свойств воды в Черном море летом 1998 года по данным спутникового прибора SeaWiFS // Морской гидрофиз. журн.
3. Суетин В. С., Суслин В. В., Кучерявый А. А. и др. Особенности интерпретации данных дистанционных оптических наблюдений Черного моря с помощью прибора SeaWiFS // Морской гидрофиз. журн.—2001.—№ 2.—С.

- 71—80.
4. Burenkov V. I., Kopelevich O. V., Sheberstov S., et al. Bio-optical characteristics of the Aegean Sea retrieved from satellite ocean color data // *The Eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems* / Eds P. Malanotte-Rizzoli, V. N. Eremeev. — Netherlands: Kluwer Acad. Publ., 1999.—P. 313—326.
 5. Gordon H. R., Clark D. K., Brown J. W., et al. Phytoplankton pigment concentration in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determination and CZCS estimates // *Appl. Opt.*—1983.—22, N 1.—P. 20—36.
 6. McClain C. R., Barnes R. A., Eplee R. E., et al. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses. Part 2 // *NASA Technical Memo. 2000-206892.*—2000.—10.—57 p.
 7. McClain C. R., Cleave M. L., Feldman G. C., et al. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research // *Sea Technology.*—1998.—39.—P. 10—16.
 8. Morel A. In-water and remote measurements of ocean color // *Boundary.—Layer Meteorol.*—1980.—18.—P. 177—201.
 9. O'Reilly J. E., Maritorena S., Mitchell B. G., et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS // *J. Geophys. Res.*—1998.—103.—P. 24937—24953.
 10. Roesler C. S., Perry M. J. In situ phytoplankton absorption, fluorometric emission, and particulate backscattering spectra determined from reflectance // *J. Geophys. Res.*—1995.—100.—P. 13279—13294.
 11. Suslin V. V., Suetin V. S., Kucheryaviy A. A., Korolev S. N. Possibilities of the Black Sea bio-optical characteristics estimation from SeaWiFS data // *Proc. Internat. conf. «Current problems in Optics of Natural Waters: ONW-1» St.-Peterburg, Russia, Sept 25-28, 2001.* — St.-Peterburg, 2001.—P. 222—227.
 12. Tassan S. Local algorithms using SeaWiFS data for the retrieval of phytoplankton pigments, suspended sediment, and yellow substance in coastal waters // *Appl. Optics.*—1994.—33, N 12.—P. 2369—2378.

Космический эксперимент «Мониторинг морских акваторий»

Г. К. Коротаев¹, В. В. Малиновский², В. В. Пустовойтенко²,
Л. Н. Радайкина¹, С. В. Станичный¹

¹Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь

²ООО ДВС-ЛТД, Севастополь

ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов, протекающих в океанах и морях, а так же в атмосфере над ними, на основе данных дистанционного зондирования начато практически запуском первых космических аппаратов (КА) и орбитальных станций. Первоначально для этого использовались визуальные и фотографические наблюдения. В последующем были созданы обширный инструментальный парк средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и специализированные КА: метеорологические, океанографические, исследования природных ресурсов и т. д. К их числу относятся КА типа NOAA, «Nimbus», SEASAT, ERS, SeaSat, многие КА серии «Космос», «Ресурс», «Океан» и др.

Приход космических средств и методов в морские науки придал им новые качества. Во-первых, появилась возможность наблюдения в реальном времени или с небольшой задержкой любых регионов Мирового океана. Во-вторых, появилась возможность перейти на новый уровень изучения процессов, протекающих в морях и океанах — на уровень изучения целостных образов этих процессов. Наконец, современные радиолокационные средства ДЗЗ

позволяют наблюдать процессы независимо от условий освещенности, времени года и местных погодных условий.

В 70—90 годы XX века в отечественной спутниковой океанологии развивались и поддерживались исследования, долговременная цель которых состояла в реализации непрерывного мониторинга Мирового океана на основе использования спутниковой информации и информации, получаемой на гидрологических разрезах, выполняемых в рамках программы «Разрезы» [6]. Эти работы начаты запуском океанографических КА «Космос-1076, -1151», в последующем продолжены запуском КА «Космос-1500, -1602» и др. Основные итоги этих работ обобщены в [6—8]. Полученные результаты легли в основу создания целевой долговременной программы «Океан» [6].

Очевидно, что в современных условиях подобная глобальная программа, обеспечивавшая в те годы получение более половины общего мирового объема океанографических данных, вряд ли может быть реализована усилиями одной страны. Поэтому в последние годы акцент в использовании спутниковой информации смещен в пользу решения региональных задач. Работы в этом направлении на