

УДК 504.45.064.37:528.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА ОПТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

© 2006 г. Б.Л. Сухоруков¹, И.В. Новиков¹,
чл.-корр. РАН А.М. Никаноров¹

Метод интерпретации дистанционной спектрометрической информации в пространстве оптических образов (ОО) использован для сравнения результатов съемок, выполненных в разные годы при исследовании экосистемы реки Дон, Цимлянского водохранилища и искусственных водных экосистем, созданных в устье реки Дон. По данным спектрометрических измерений в видимой области состояния экосистем реки Дон и Цимлянского водохранилища в целом сильно различаются, хотя для отдельных районов наблюдаются совпадения ОО этих водных объектов. По этим же данным возможно перенесение результатов, полученных в искусственных экосистемах, на естественные: в отдельных частях водохранилища зарегистрированы ОО, близкие к ОО мезокосмов, тогда как в речной экосистеме такие ОО обнаружены не были.

Дистанционная спектрометрическая информация позволяет решать задачи оценки состояния экосистем. Спектрометрическую информацию возможно использовать для построения биооптических моделей и определения концентрации видимых компонентов*, к которым относятся минеральные взвешенные и растворенные органические вещества, фитопланктон (мерологический подход). Возможен и холистический подход, при котором определяют интегральное состояние водных экосистем [1]. В последнем случае применительно к данным, получаемым дистанционно, удобно пользоваться пространством оптических образов (ПОО). Метод “пространства оптических образов” хорошо зарекомендовал себя для решения следующих практических задач:

- наблюдения за направленностью процессов, происходящих в экосистемах, сопровождающихся изменением их оптического образа;
- оперативных заключений (предварительных, на полуколичественном уровне) об экологическом состоянии водной экосистемы (по положению ОО в ПОО).

¹ Институт водных проблем Российской академии наук, Южный отдел, Ростов-на-Дону.

* Видимыми компонентами называются компоненты водной экосистемы, изменяющие комплексный показатель преломления $n = m + in'$ за счет изменяющейся действительной (поглощение) или мнимой (рассеяние) части.

Однако до настоящего времени данные дистанционной спектрометрии не нашли широкого распространения. Во-первых, на настоящем уровне развития технических средств дистанционных спектрометрических наблюдений качественная (с высоким спектральным разрешением и минимальными помехами) дистанционная информация может быть получена с борта летательных аппаратов – самолетов, вертолетов с высоты 50–70 м. Стоимость же аренды летательных средств в настоящее время весьма высока. Во-вторых, относительно дешевая спутниковая информация не обладает достаточным пространственным разрешением и не может быть использована для изучения относительно мелких объектов, в частности, рек, даже крупных. Эта информация не может быть получена при любых погодных условиях (облачность) и с требуемой частотой для любых территорий. Информация с высоким пространственным разрешением малодоступна и дорога. Кроме того, требуются специализированные комплексы программ и высококвалифицированные специалисты для дешифрирования этой информации.

В этой связи было предложено паллиативное решение проблемы: получать дистанционную спектрометрическую информацию (спектры коэффициентов яркости) для наиболее подверженных антропогенному воздействию участков водных экосистем, расположенных вблизи мегапо-

лисов, с мостов, в частности автомобильных, построенных в крупных городах через крупные реки. Используя такой подход, удалось получить первые практические результаты, в частности установить сезонную цикличность состояния водной экосистемы по оптическим показателям, а также цикличность процессов, происходящих в искусственных водных экосистемах – мезокосмах. Однако при интерпретации дистанционных спектрометрических измерений наряду с получением положительных результатов возникли вопросы, требующие особого объяснения. В частности, было установлено, что траектории оптических образов естественных водных экосистем и мезокосмов находятся в различных областях пространства оптических образов [2], что свидетельствует о различии состояний изучаемых экосистем, несмотря на то, что эти искусственные экосистемы были образованы в одном и том же водном объекте, в частности р. Дон. Возникал вопрос о правомерности переноса результатов, получаемых в мезокосмах, на естественный водный объект – речную экосистему.

По терминологии метода ПОО, в многочисленных экспериментах на р. Дон не наблюдалось ОО в области с концентрацией минеральных взвешенных веществ $C_{\text{МВ}} < 25 \text{ мг/дм}^3$ при концентрации фитопланктона $C_{\text{ФП}} < 25 \text{ мг/дм}^3$, тогда как на искусственных водных экосистемах именно такие ОО и наблюдаются.

В настоящей работе приводятся данные, позволяющие объяснить имеющиеся расхождения и показать перспективность дистанционных методов при решении задач практической экологии применительно к поверхностным водам суши (ПВС).

ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Основной измеряемый дистанционно показатель, по которому можно оценивать параметры зондируемого объекта, – яркость восходящего от воды излучения. Но так как на эту величину сильно влияют и погодные условия, и освещенность, то в качестве основной измеряемой величины был выбран коэффициент яркости (КЯ), индифферентный (во всяком случае по определению) к изменению перечисленных выше условий.

Коэффициент яркости восходящего от воды излучения – важнейшая характеристика, на измерении которой основаны методы дистанционного зондирования атмосферы, облаков и водных объектов [3, 4]. По определению коэффициент яркости $\rho(\mu, \mu_0, \psi)$ равен отношению интенсивности отраженного света $I(\mu, \mu_0, \psi)$ к интенсивности света πE_0 , рассеянного ортотроп-

ной абсолютно белой площадкой, расположенной на верхней границе рассеивающего слоя:

$$\rho(\mu, \mu_0, \psi) = \frac{I(\mu, \mu_0, \psi)}{\pi E_0}. \quad (1)$$

Здесь $\mu = \cos \vartheta$, $\mu_0 = \cos \vartheta_0$, ϑ , ψ – соответственно полярный и азимутальный углы, определяющие условия распространения падающего под углом ϑ_0 светового луча.

Дополнительно для всех спектров КЯ была использована процедура нормировки спектров, т.е. спектры были преобразованы к виду

$$\rho_N(i, j) = \rho(i, j) / \rho(1, j) + \dots + \rho(n, j),$$

где $\rho_N(i, j)$ – i -й отсчет значения коэффициента яркости для спектра j ; $i = 1, 2, \dots, n$, где n – число дискретных отсчетов измеренного спектра яркости. Было показано, что эти нормированные коэффициенты яркости $\rho_N(i, j)$ фактически превращаются в критерии подобия водных экосистем. Необходимым условием подобия экосистем является совпадение их оптического отображения – спектров коэффициентов яркости и после их преобразования обобщенных координат ОО. При этом следует иметь в виду, что в общем случае совпадение спектров не может выступать достаточным условием подобия экосистем, так как спектры коэффициентов яркости неоднозначно определяют физико-химико-биологическими параметрами водной экосистемы. Спектры коэффициентов яркости являются характеристикой именно видимых компонентов экосистемы и только в этом смысле могут быть использованы. Или, другими словами, если нормированные спектры коэффициентов яркости водных экосистем совпадают, экосистемы подобны по видимым компонентам и по условиям функционирования в течение сравниваемого периода времени [5].

Кроме того, при практической интерпретации результатов дистанционной спектрометрической съемки было установлено, что нормировка спектров КЯ устраняет эффекты, связанные с состоянием поверхности воды, т.е. устраняет “бликовые составляющие” в спектрах и позволяет перейти к использованию формы спектров, определяемой соотношением видимых компонентов, как основной характеристике, отражающей состояние водных экосистем.

УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕКТРОВ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЯРКОСТИ

В работе сравнены спектры КЯ, полученные в различных экспериментах, проведенных на природных водных объектах начиная с 1986 г. Спек-

тры были получены с помощью различной аппаратуры, но по единой методике, в которой измеряли яркость восходящего от воды излучения и облученность водного объекта во время выполнения съемки. В ряде экспериментов синхронно выполняли отбор проб воды на химический и биологический анализ с целью определения концентраций видимых компонентов или решения иных задач гидрохимии [6]. В каждом из описанных ниже экспериментов съемку проводили приблизительно на 50 станциях по 3–7 спектров, которые затем подвергали статистической обработке.

На р. Дон, в районе впадения р. Северский Донец, и Цимлянском водохранилище, в нижнем бьефе, экспериментальные спектры получали с высоты 50–70 м с борта вертолета. Цель эксперимента заключалась в построении биооптических (радиационных) моделей, связывающих интенсивность КЯ с концентрациями видимых компонентов, определенных в пробах воды, отобранных синхронно с получением спектров КЯ [7] с борта вертолета при его зависании. В соответствии с целью эксперимента требовалось получить максимально широкий диапазон концентраций видимых компонентов и получить максимально отличные по форме спектры КЯ. Съемку проводили в зонах максимально отличимых визуально. Поэтому возможно говорить только о массиве спектров с максимальной дисперсией по визуально отличающимся показателям. Задача изучения процессов, происходящих в водных экосистемах, не ставилась.

В эксперименте с мезоэкосистемами, установленными на протоке устья р. Дон – Мертвый Донец, спектры КЯ получали с высоты 1 м, непосредственно над мезоэкосистемами [8, 9]. Целью этого эксперимента было наблюдение за временными процессами, происходящими в искусственных водных экосистемах при воздействии на них различных загрязняющих веществ. Соответственно полученные спектры КЯ и оптические образы были отражением внутриводоемных процессов, искусственно созданных в естественных условиях.

Спектры КЯ р. Дон в 2000 г. получали с автомобильных мостов через р. Дон над фарватером реки с высоты около 30 м. Длительность эксперимента – июнь–ноябрь, всего 6 серий измерений. Целью эксперимента было убедиться в возможности изучения внутриводоемных процессов по спектротметрической информации, регулярно получаемой (включая синхронный отбор проб воды) без использования специальных технических средств – авиационных или плавучих. Дополнительно ставилась задача рассмотреть

эффективность использования спектротметрической информации в оперативном мониторинге водных объектов [10], т.е. в конечном счете эффективность наблюдения за внутриводоемными процессами.

Различные цели всех экспериментов, различные условия и высота съемки при фиксированной апертуре спектрометра (около 10°) приводили к тому, что в поле зрения объектива спектрометра попадали различные по площади участки водного объекта, т.е. получали спектры восходящего излучения от усредненных по эффективно-му объему участков водоема. Наиболее “качественные” спектры получали с борта вертолета, так как в случае съемки с высоты более 50 м влияние бликов от взволнованной водной поверхности минимально. В других описываемых экспериментах приходилось прибегать к ряду технических ухищрений: выполнять съемку “за солнцем”, отбраковывать спектры с бликами, сглаживать спектры фильтром на основе либо скользящего среднего, либо фурье-разложения. Метод интерпретации спектротметрической информации в пространстве оптических образов [11] позволил сравнить результаты этих трех различных экспериментов.

ОПТИЧЕСКИЙ ОБРАЗ И ПРОСТРАНСТВО ОПТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

Под оптическим образом экосистемы понимается совокупность излучательных свойств экосистемы в оптическом диапазоне волн. Оптический образ экосистемы описывается n -мерным вектором, где каждая его проекция представляет собой значение коэффициента яркости, измеренного на одной из n волн видимого спектра. Показано, что оптический образ может быть без потери информации преобразован в трех-четырехмерный вектор, проекции которого являются обобщенными координатами (ОК) оптического образа.

Множество всевозможных оптических образов экосистем образует пространство оптических образов. Оптический образ экосистемы в некоторый момент времени изображается в виде точки в пространстве оптических образов. При изменении оптического образа экосистемы точка, изображающая этот образ, перемещается по определенной траектории по пространству оптических образов [11].

Интерпретация дистанционных данных в этом методе сводится к установлению связей между классами оптических образов (областями про-

странства оптических образов) и классами экологических состояний. Физически нереальная задача получения спектров КЯ всех известных на Земле водных объектов (для построения полного ПОО) решалась с помощью метода математического моделирования. Этот метод позволил не только построить спектры КЯ, варьируя большое число параметров, влияющих на комплексный показатель преломления (включая концентрации видимых компонентов), но также и проградировать ПОО наложением изоплет основных видимых компонентов [12]. Это проградированное ПОО и используется при обсуждении полученных результатов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Траектории ОО, полученные в отдельных экспериментах, приводились в работах [9, 10]. Траектории целесообразно рассматривать в случае наблюдения за каким-либо процессом, проходящим в экосистеме, причем возможно параллельное описание этого процесса по опорным данным (химическим и/или биологическим показателям, определенным в пробах воды, отобранных параллельно со съемкой спектров). Особый интерес представляет построение на одном рисунке, в одном масштабе траекторий нескольких процессов для изучения возможности перенесения результатов отдельных экспериментов на решение задач прогностического характера. В том случае, когда имеется массив спектрометрических данных, полученных на крупном водном объекте в течение непродолжительного временного интервала (в реальном времени – несколько часов), представляет интерес сравнить области ПОО, в которые попадают ОО, зарегистрированные на этом объекте, с ОО искусственных водных экосистем, которые возможно реализовать в ограниченных по объему отгороженных участках водной экосистемы, организуя в них управляемые внутриводоемные процессы.

На рис. 1 представлены траектории ОО естественного процесса, происходящего в р. Дон в течение лета–осени 2001 г. (эксперимент с мостами) [10] и в искусственных водных экосистемах (мезокосмах), созданных на р. Мертвый Донец (рукав р. Дон в устье) [8, 9]. Выделены области Х1–Х4 ПОО, которые ОО экосистемы р. Дон проходили с июля по октябрь. Всего было выполнено шесть серий измерений (1–6) с трех мостов через р. Дон: Аксайского (А), Ворошиловского (V) и Западного (Z). Жирными стрелками отмечена траектория изменения ОО в процессе этого эксперимента [10]. Тонкими линиями со

стрелками отмечены траектории ОО мезокосмов, подвергнутых загрязнению тяжелыми металлами [8, 9]. Для сравнения на рисунке отмечены ОО контрольного мезокосма, в который загрязнение не вносилось, и материнской экосистемы, условно обозначенной как “река”. Цифры у обозначений ОО мезокосмов указывают сутки от начала эксперимента.

Траектории ОО и материнской экосистемы и контрольного мезокосма не позволяют говорить о каком-либо направленном процессе в экосистеме при незначительном естественном изменении C_{MB} за счет явлений седиментации. Траектории же ОО загрязненных мезокосмов позволяют говорить о направленном процессе, протекающем в этих экосистемах. Причем хорошо видно, что траектории искусственной и природной экосистем находятся в различных областях ПОО. Траектории не перекрываются, несмотря на то что начинаются и заканчиваются в одной и той же области ПОО (объединенной Х1 и Х4). Следовательно, можно сделать заключение, что внутриводоемные процессы, происходящие в естественной и искусственной экосистемах, различны по своей природе, условиям функционирования, конкретно – по соотношению видимых компонентов. Кроме того, по оптическим данным видно, что и естественная и искусственная экосистемы, проходя целый ряд зафиксированных промежуточных состояний, возвращаются в свое первоначальное состояние – совершают циклические превращения, хотя время циклов значительно отличается.

На рис. 2 на эту же схему точками нанесены ОО, полученные ранее на р. Дон в июне 1986 г. Хорошо видно, что координаты ОО реки попадают в основном в ту же область, где проходит траектория ОО, полученная по данным эксперимента с мостами. Хотя имеются отдельные точки и даже область, выходящие за пределы описанной траектории. Объяснить такое “выпадение” точек (ОО экосистемы) можно тем, что цель эксперимента, в котором был получен массив ОО р. Дон, состояла в получении данных, обладающих максимальной дисперсией по видимым компонентам, и отдельные ОО были получены при экстремальных состояниях экосистемы – заводи, мелководья с нетипичными для экосистемы в целом гидрологическими условиями и т.д. Более того, точки находятся за пределами ПОО, что говорит об уникальности соответствующих экологических состояний, а также о том, что использованная для расчета спектров КЯ математическая модель не соответствует этим экстремальным состояниям экосистемы. В есте-

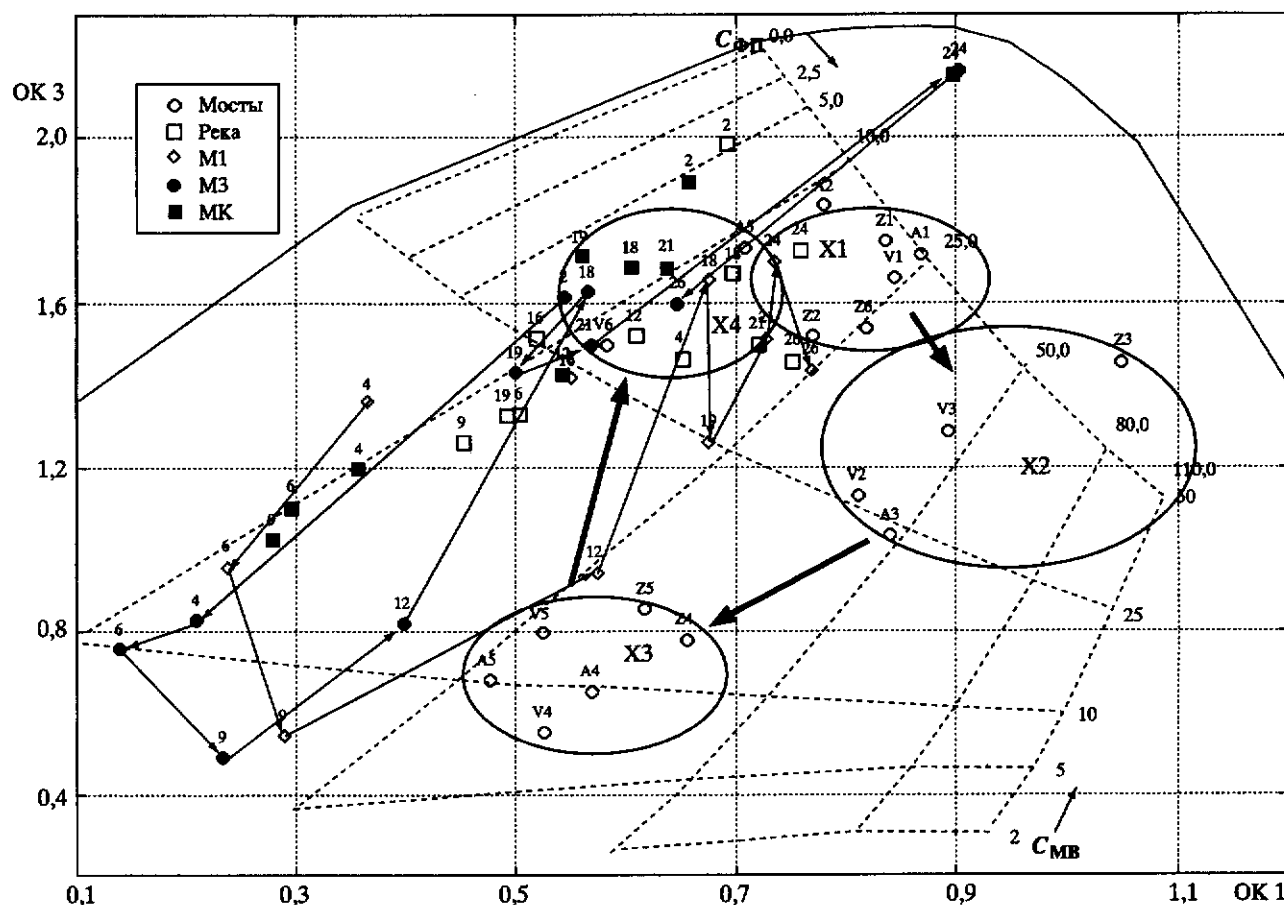


Рис. 1. Область пространства оптических образов, в которой зарегистрированы ОО природной (эксперимент "мосты", открытые кружки) и искусственных водных экосистем (эксперимент "мезокосмы") реки Дон. Сплошной линией отмечена граница ПОО, построенного по данным совместной обработки экспериментальных и модельных спектров КЯ. Изоплеты C_{MB} , mg/dm^3 – $C_{ФП}$, mg/dm^3 нанесены пунктирными линиями. Пояснения переходов ОО см. в тексте

ственных же условиях существования речной экосистемы с учетом того, что спектры КЯ получали на фарватере реки, такие состояния не могли быть реализованы и соответствующие ОО не наблюдались. При этом отсутствуют ОО, попадающие в область X3 по причине того, что съемка была выполнена в июне, в период повышенной водности реки, тогда как область X3 соответствует состоянию экосистемы с малым содержанием взвешенных веществ, характерному для летне-осеннего "послецветения" фитопланктона. Естественно, не были зарегистрированы и ОО, соответствующие осеннему состоянию речной экосистемы.

На рис. 3 представлена схема, изображенная на рис. 1, с нанесенными на нее точками, соответствующими ОО, полученным в октябре 1987 г. на Цимлянском водохранилище. Видно, что поставленная задача нахождения состояний водной экосистемы с максимально изменяющейся кон-

центрацией видимых компонентов была успешно решена. Диапазон изменения концентраций видимых компонентов – от единиц до десятков mg/dm^3 как по минеральной взвеси, так и по фитопланктону. По дистанционным данным хорошо видно, что вода в водохранилище, во всяком случае, в период проведения эксперимента, отличается чистотой. Наблюдаются состояния экосистемы, где при относительно малом содержании минеральных взвешенных веществ наблюдается высокое содержание фитопланктона, что подтверждается данными независимых измерений этих компонентов традиционными химическими и биологическими методами [13]. На Цимлянском водохранилище, в отличие от р. Дон, зарегистрированы ОО, подобные ОО мезокосмов: траектория ОО мезокосмов проходит в той же области ПОО, где отмечены ОО Цимлянского водохранилища. Причем это не отдельные точки, которые можно было бы рассматри-

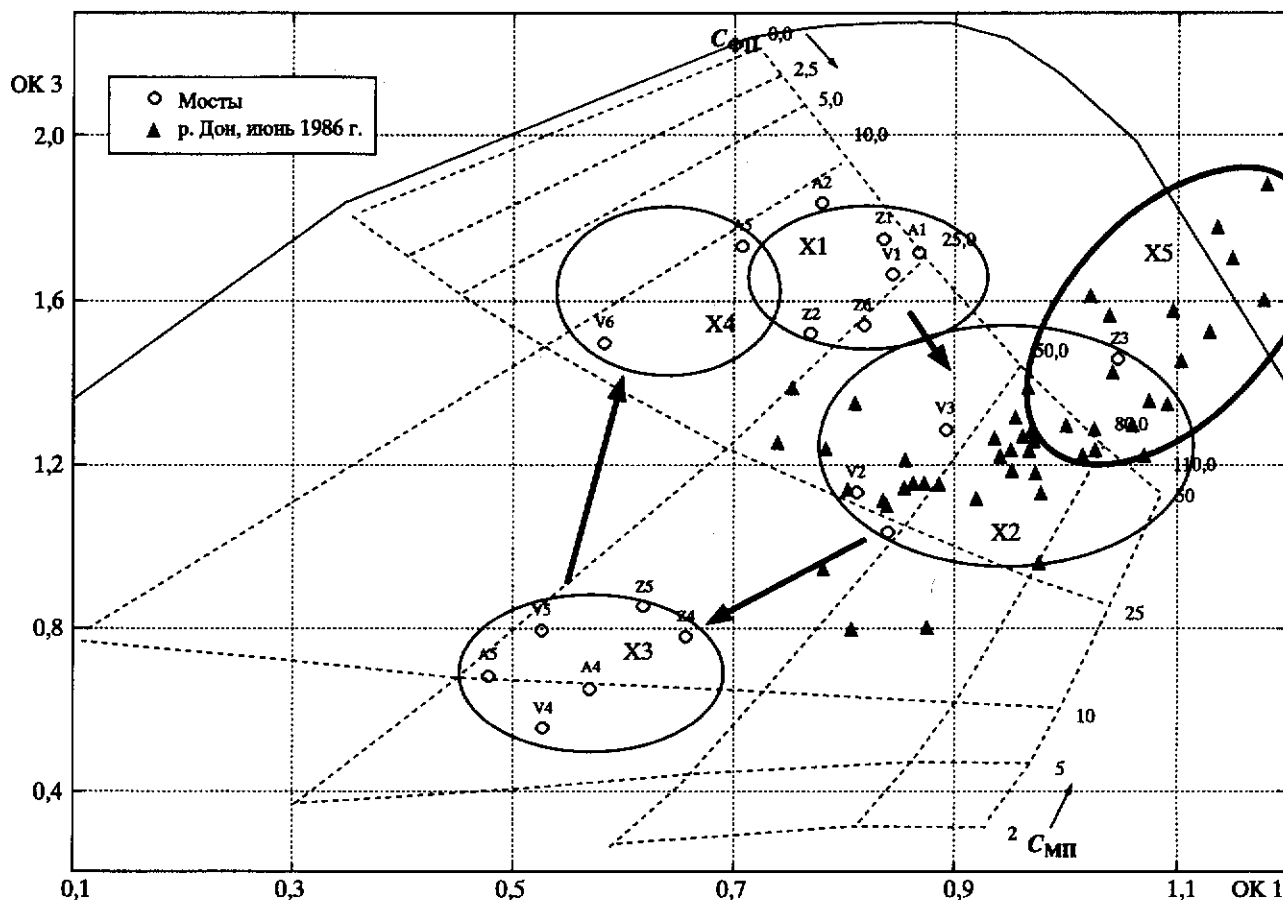


Рис. 2. Область пространства оптических образов с нанесенными треугольниками ОО, полученными экспериментально на р. Дон в июне 1986 г. Пояснения переходов ОО см. в тексте

вать как “выбросы”, а область ПОО, перекрывающая область изменения ОО мезокосмов, подвергшихся загрязнению.

Основная причина такого “совпадения”, вероятнее всего, связана с гидрологическими факторами. Несмотря на перемешивание воды в мезокосмах (по технологии эксперимента) гидрологический режим в мезокосмах отличается от режима реки, но близок к режиму водохранилища, в котором седиментационные процессы преобладают. Ветрового перемешивания недостаточно для взмучивания донных отложений, течение практически отсутствует. Взвешенные вещества, образующиеся при размыве берегов, что характерно для Цимлянского водохранилища, не достигают центральных районов, где выполнялись отдельные измерения. Кроме того, по спектрометрическим данным видно, что экосистемы р. Дон и Цимлянского водохранилища в основном различны, несмотря на то что эти объекты близки по химическому составу воды. Их можно лишь условно рассматривать как единую экосистему с выраженными подсистемными особенностями.

Таким образом, анализ только спектрометрических данных видимого диапазона, полученных в речной экосистеме р. Дон в различных ее частях, включая Цимлянское водохранилище, позволяет сделать следующие выводы.

1. Метод ПОО позволяет проводить совместный анализ данных, полученных в различных экспериментах, разной аппаратурой, в том случае, если эти данные были зарегистрированы в виде спектров КЯ.

2. По оптическим измерениям, выполненным в описанных экспериментах, экосистема р. Дон достаточно разнородна и в целом отличается от экосистемы Цимлянского водохранилища, хотя для отдельных областей водных объектов наблюдаются совпадения ОО. Учитывая схему проведения съемки этих водных объектов, такие совпадения и перекрытие областей ПОО, в которых реализуются эти состояния, можно отнести к случайным.

3. По данным дистанционных спектрометрических измерений за 20 лет, прошедших между экспериментами, состояние экосистемы р. Дон

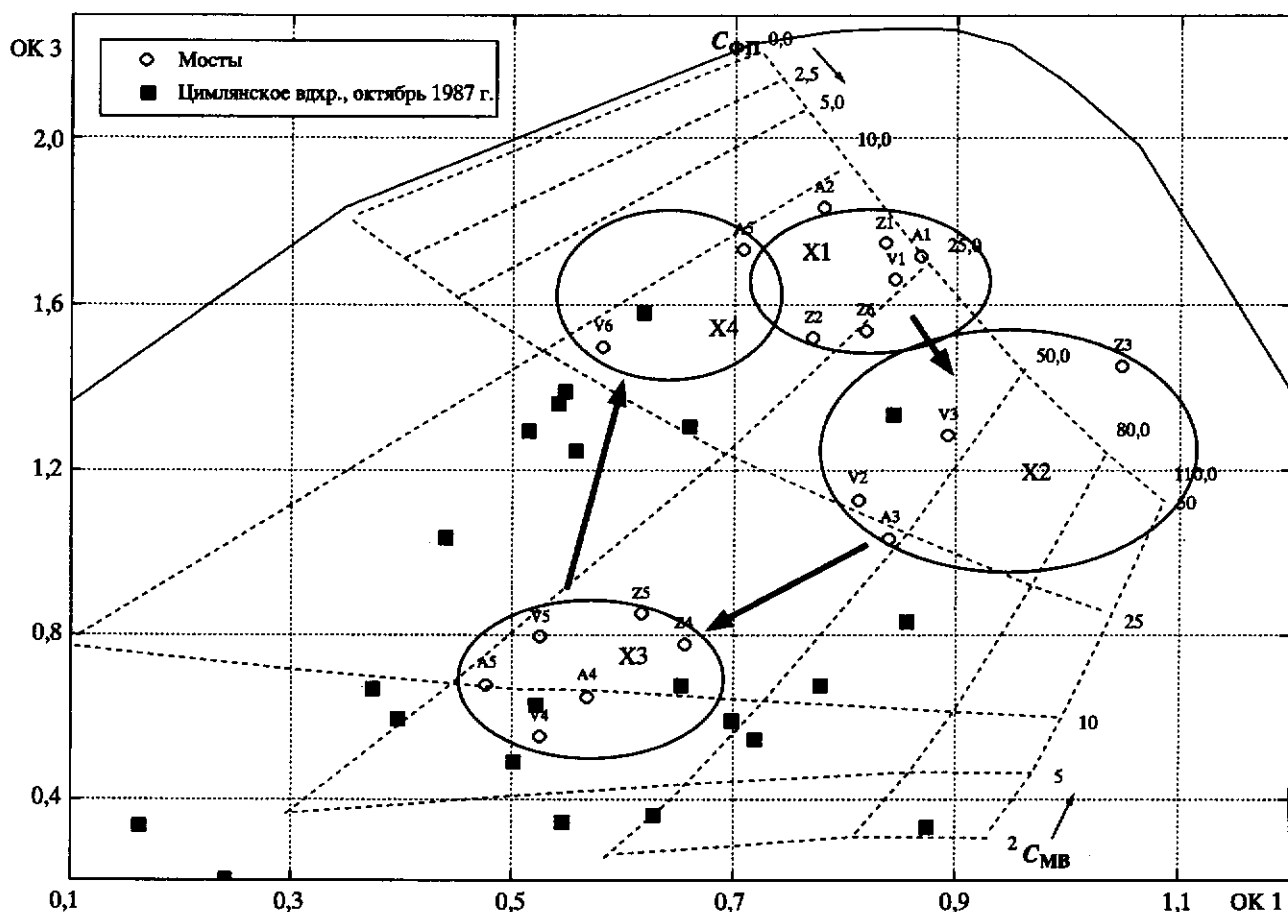


Рис. 3. Область пространства оптических образов с нанесенными квадратами ОО, полученными экспериментально на Цимлянском водохранилище в октябре 1987 г. Пояснения переходов ОО см. в тексте

заметно не изменилось. Экосистема р. Дон, во всяком случае, в тех районах, где проводились измерения, относится к классу эвтрофных и даже гиперэвтрофных водных объектов, хотя наблюдаются периоды уменьшения трофности водоема. Долговременные изменения трофности находятся в пределах точности метода.

4. По данным дистанционных измерений возможно перенесение результатов, полученных в искусственных экосистемах, на естественные: в водохранилище обнаружены ОО, близкие к ОО мезокосмов, тогда как в речной экосистеме такие ОО обнаружены не были. В частности, можно создавать искусственные экосистемы с оптическими свойствами, подобными естественным, что принципиально важно для целей выбора тестовых участков при дешифрировании многозональной природоресурсной космической информации. С точки зрения изучения внутриводоемных процессов полученные результаты требуют дальнейшего уточнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одум Ю. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986. 328 с.
2. Сухоруков Б.Л., Никаноров А.М. Цикличность внутриводоемных процессов по данным дистанционной спектрометрии в эвтрофных водоемах // Доклады РАН. 2005. Т. 400. № 3. С. 378–381.
3. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.
4. Зега Э.П., Иванов А.П., Кацев И.Л. Перенос изображения в рассеивающей среде. Минск: Наука и техника, 1985. 327 с.
5. Никаноров А.М., Сухоруков Б.Л. Подобие модельных и материнской экосистем по данным дистанционного мониторинга поверхностных вод // Водные ресурсы. 2003. № 3. С. 328–334.
6. Гительсон А.А., Гарбузов Г.П. и др. Методы и приборы дистанционного мониторинга состояния поверхностных вод суши // Гидрохимические материалы. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. Т. 100. С. 15–46.
7. Методические рекомендации по дистанционным методам контроля качества поверхностных вод суши. Вып. 1. Подготовка и проведение экспрессной гидрохимической съемки. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 32 с.

8. Никаноров А.М., Сухоруков Б.Л., Тепляков Ю.В. Изучение оптических свойств поверхностных вод суши при помощи методов экологического моделирования // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. Вып. 2. С. 167–176.
9. Сухоруков Б.Л., Гарбузов Г.П., Никаноров А.М. Оптические свойства загрязненных водных экосистем // Метеорология и гидрология. 1997. № 11. С. 5–19.
10. Гарбузов Г.П., Сухоруков Б.Л., Никаноров А.М. Использование дорожных сооружений в системе дистанционного мониторинга речных экосистем // Доклады РАН. 2000. Т. 373. № 5. С. 688–691.
11. Сухоруков Б.Л., Гарбузов Г.П., Никаноров А.М. Оценка состояния водных объектов по спектрам коэффициента яркости // Водные ресурсы. 2000. № 5. С. 579–588.
12. Сухоруков Б.Л., Новиков И.В. Сравнительный анализ двух способов интерпретации дистанционных спектрометрических данных о состоянии водных экосистем // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 4. № 10. С. 944–949.
13. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши, 1988 / Северо-Кавказское управление Гидрометслужбы. Ростов н/Д, 1988. 49 с.

USE OF SPACE OF OPTICAL IMAGES FOR INTERPRETATION OF DATA OF THE REMOTE SPECTROMETRIC MEASUREMENTS IN FRESHWATER ECOSYSTEMS

B.L. Sukhorukov, I.V. Novikov,
Corresponding Member of RAS A.M. Nikanorov

The comparison of the surveys' results carried out in different years was made, using a method for remote spectrometric information interpretation in the space of optical images (OI), when investigating the ecosystems of the Don River, Tsymlyanskoe reservoir and man-made aquatic ecosystems in the Don River mouth. According to the spectrometric measurements in the visual range, a state of the Don River and Tsymlyanskoe reservoir ecosystems differs greatly in general, though for the individual areas' a coincidence of OI in these water bodies is observed. Using these data a transference of the results obtained in man-made ecosystems to natural ones is possible: in the individual parts' of the reservoir the OI close to mesocosms' OI have been recorded, while in the river ecosystem such OI were not detected.

REFERENCES

1. Odum E. 1986. *Ekologiya. [Basic Ecology]*. Vol. 1. Moscow, Mir: 328 p. (In Russian).
2. Sukhorukov B.L., Nikanorov A.M., 2005. [Cyclical vnutrivodoemnyh process according to remote spectrometry in eutrophic reservoirs]. *Doklady RAN*. 400(3): 378–381. (In Russian).
3. Shifrin K.S. 1988. *Vvdenie v optiku okeana. [Introduction to Ocean Optics]*. Leningrad, Gidrometeoizdat: 278 p. (In Russian).
4. Zege E.P., Ivanov A.P., Katsev I.L. 1985. *Perenos izobrazheniya v rasseivayushchey srede. [Image transfer in scattering medium]*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ.:327 p. (In Russian).
5. Nikanorov A.M., Sukhorukov B.L. 2003. [Assessment of the Similarity of Model and Parent Ecosystems Based on Data of Fresh Water Remote Monitoring]. *Water Resources*. 30(3): 328–334. (In English).
6. Gitelson A.A., Garbuzov G.P. and etc. 1991. [Methods and tools for remote monitoring of the surface water]. *Gidrokhimicheskie materialy*. Vol. 100. St. Petersburg, Gidrometeoizdat: 15–46. (In Russian).
7. *Metodicheskie rekomendatsii po distantsionnym metodam kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod sushi. Vyp. 1: Podgotovka i provedenie gidrokhimicheskoy s"emki. [Guidelines on the remote control methods of quality surface water. Issue 1: Preparing and conducting an express hydrochemical survey]*. 1987. Leningrad, Gidrometeoizdat: 32 p. (In Russian).
8. Nikanorov A.M., Sukhorukov B.L., Teplyakov Y.V. 1999. [A study of the optical properties of surface water by the methods of ecological modeling]. *Ekologicheskoe normirovanie i modelirovanie antropogennogo vozdeystviya na vodnye ekosistemy. [Environmental regulation and modeling of anthropogenic impacts on aquatic ecosystems]*. Issue 2. St. Petersburg, Gidrometeoizdat: 167–176. (In Russian).
9. Sukhorukov B.L., Garbuzov G.P., Nikanorov A.M. 1997. [Optical properties of contaminated water ecosystems]. *Meteorologiya i gidrologiya*. (11): 5–19. (In Russian).
10. Garbuzov G.P., Sukhorukov B.L., Nikanorov A.M., 2000. [Using the road constructions in the remote monitoring of river ecosystems]. *Doklady RAN*. 373(5): 688–691. (In Russian).
11. Sukhorukov B.L., Garbuzov G.P., Nikanorov A.M. 2000. [Assessment of the status of water bodies on the spectra of the luminance factor]. *Vodnye resursy. (Water Resources)*. (5): 579–588. (In Russian).
12. Sukhorukov B.L., Novikov I.V. 2001. [Comparative analysis of two ways to interpret remote spectrometric data on the status of aquatic ecosystems]. *Optika atmosfery i okeana*. 4(10): 944–949. (In Russian).
13. *Ezhegodnye dannye o kachestve poverkhnostnykh vod sushi, 1988. [Annual data on the quality of surface water, 1988]*. Rostov-on-Don: 49 p. (In Russian).