

# СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Сухоруков Б.Л.<sup>1</sup>, Никаноров А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем ЮО РАН, <sup>2</sup>ФГБУ «ГХИ», Россия

В настоящее время мониторинг воды водных объектов – «концентрационный» (по определению Ю.Одума – мерологический), в основе которого лежит определение концентрации одного компонента. Определяют большое число химических, а для экологического мониторинга и биологических показателей после чего проводят процедуру интерпретации этих данных, создавая различные системы оценок либо качества воды, либо «состояния водного объекта». Фундаментальное обоснование таких систем оценок практически отсутствует, а определение «состояния водного объекта», приведенное в ГОСТе, вызывает удивление своей неконкретностью. В экологической литературе отсутствует четкое определение понятия «состояние водной экосистемы».

Принципиальным отличием рассматриваемого подхода от традиционного является попытка найти объективные, внутренне присущие *экосистеме* параметры состояния. В подходе, основанном на измерении излучательных характеристик водной экосистемы, (по Ю.Одуму холистическом) в экосистеме на начальном этапе не разделяют компоненты на химические и биологические, а измеряют интенсивность всего спектра восходящего излучения видимой области (400–750 нм). Спектр формируют все присутствующие в воде компоненты. Важно, что в этой области поглощают все пигменты планктона, ответственные за один из основных, если не основной, процесс на Земле – процесс фотосинтеза. Следовательно, спектральные особенности этого процесса неизбежно найдут свое отражение в регистрируемых спектрах.

На следующем этапе при обработке всего массива, образованного экспериментальными спектрами, находят *спектральные функции экосистемы*. Такие функции, вообще говоря, представляют собой обобщенные спектральные характеристики конкретной водной экосистемы и могут изменяться для различных экосистем, что и было зарегистрировано по данным различных экспериментов. Обойти такой «индивидуализм» удастся за счет привлечения в статистическую обработку большого по объему (десятки тысяч) массива модельных спектров коэффициентов яркости, рассчитанных на основе использования теории переноса. Добавление к модельному массиву десятков и даже сотен экспериментальных спектров приводит к изменению спектральных функций такой общей экосистемы на десятые доли процента.

Следующий этап позволяет найти *обобщенные координаты* каждого из зарегистрированных экспериментально и модельных спектров коэффициентов яркости восходящего от воды излучения, где каждый спектр будет представлен в виде точки в n-мерном пространстве. Всевозможные спектры образуют пространство оптических образов водных экосистем (ПО-ОВЭ). Изменение спектра экосистемы приводит к изменению положения этого образа в ПО-ОВЭ, формируется траектория оптического образа, соответствующая процессу, проходящему в экосистеме. Оказывается, что для анализа внутриводоемных процессов – основной задачи мониторинга состояния водных экосистем – достаточно проанализировать форму этих траекторий в пространстве, образованном первыми тремя обобщенными координатами.

Проверка эффективности предлагаемого подхода выполнена экспериментально, с помощью метода натурального моделирования. В экспериментальные водные экосистемы, созданные путем пространственного разделения природной водной экосистемы на несколько частей одинакового объема в изначально полностью идентичных условиях, вносят загрязняющее вещество в различных концентрациях. Ожидают, что экосистемы различным образом прореагируют на различное воздействие. Аналогичные работы по изучению параллельных процессов проводили и ранее многие авторы, но в этих работах измеряли различные показатели, хорошо известные как химикам, так и биологам и экологам: температуру, pH, Eh, O<sub>2</sub>, биомассу и численность планктона и т.д. Оптические свойства водных экосистем, тем более, с использованием представленной интерпретации не выполняли.

Результат наших экспериментов по изучению специально преобразованных спектров коэффициентов яркости восходящего от воды излучения показал следующее. Траектории всех экосистем оказались существенно различными. Большие и малые концентрации загрязняющего вещества порождали траектории разной направленности по отношению к траектории материнской экосистемы. Наблюдали время задержки реакции экосистем на воздействие около 4 суток. Подобные траектории в фазовом пространстве, а ПООВЭ можно рассматривать именно как фазовое пространство, указывают на то, что мы наблюдаем за неким динамическим процессом, и обобщенные координаты, в которых сформировано ПООВЭ являются параметрами состояния наблюдаемого внутриводоемного процесса. Ранее было показано, что обобщенные координаты коррелируют с известными компонентами: концентрациями взвешенных веществ и хлорофилла *a* фитопланктона, но эта корреляция указывает на то, что только в первом приближении интерпретировать полученные результаты можно в привычных понятиях концентраций. На самом деле, детальную интерпретацию необходимо проводить по положению спектра в ПООВЭ с учетом формы зарегистрированных спектров.