

**А.А. Шиян**

## **ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ШЕЛЬФОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПОСРЕДСТВОМ КОНТРОЛЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ГИДРОАЭРОЗОЛЯ**

Как жизнедеятельность биоты, так и антропогенное воздействие в конечном счете изменяют состав морского приповерхностного гидроаэрозоля. Показано, что обусловленное ими изменение вертикального распределения частиц может быть обнаружено оптическими методами и поэтому вертикальное распределение оптической толщины атмосферы является информативным параметром для диагностики состояния шельфовой экосистемы.

Проблемы мониторинга состояния шельфовой экосистемы выходят на первый план вследствие роста интенсивности антропогенной деятельности [1, 2]. Среди методов, наиболее перспективных для осуществления мониторинга, необходимо выделить оптические методы [2]. В качестве объекта, который несет информацию о состоянии шельфовой экосистемы и который удобно исследовать оптическими методами, выступает приповерхностный гидроаэрозоль (ПГА) [2]. По химическому составу частиц ПГА можно судить как о химическом составе веществ, выделяемых биотой (они концентрируются в поверхностной пленке моря и на стенках пузырей), так и о ритмах функционирования биоты.

В настоящем сообщении проведены оценки влияния биоты на поведение оптических характеристик ПГА и обсуждены методы для его экспериментального обнаружения.

Образованные в результате разрушения пузырей на поверхности моря частицы ПГА [2,3] при их подъеме в воздушной среде будут испаряться [2, 4]. Поэтому оптическая толщина атмосферы с ростом высоты  $z$  (при фиксированной базе для измерений) будет уменьшаться, выходя на плато при  $z > z_c$ , когда частицы придут в равновесие с окружающей средой.

Поверхностно-активные вещества, выделяемые в процессе функционирования биоты, уменьшают скорость испарения частиц (см. [2] и литературу к ней). Поэтому критическая высота  $z_c$  выхода на плато в изменении оптических характеристик ПГА (т.е. высота установления равновесного радиуса частиц) будет больше, чем  $z_c$  для частиц морской воды.

В [4] показано, что при влажности 80% (ее принято считать стандартной для морских условий [4]) равновесный радиус капель морской воды для широкого класса внешних условий составляет половину от начального их радиуса  $R_0$ . Обозначим высоту, на которой радиус капель морской воды будет  $R_s = R_0/2$ , буквой  $z_0$ .

Так как оптическая толщина  $\tau$  атмосферного воздуха пропорциональна площади частиц [3], то для морской воды

$$\tau_s = \tau(z_0) = \tau_0 / 4,$$

где  $\tau_0$  – оптическая толщина атмосферы у среза воды.

Влияние биотических поверхностно-активных веществ скажется в том, что на высоте  $z_0$  радиус частиц будет удовлетворять неравенству  $R_0 > R(z_0) > R_0/2$ . Для оптической толщины атмосферы тогда имеем

$$\tau_s < \tau(z_0) < \tau_0.$$

Причем ввиду сильного влияния поверхностно-активных веществ наиболее типичными значениями будут  $R(z_0) \simeq R_0$  и, соответственно,  $\tau(z_0) \simeq \tau_0 = 4\tau_s$ . Таким образом, влияние биоты может быть обнаружено экспериментально, ибо оно способно изменять оптическую толщину атмосферы в несколько раз.

Таким образом, состояние шельфовой экосистемы может быть охарактеризовано высотой  $z_c > z_0$ , начиная с которой оптические характеристики атмосферы выходят на плато (т.е. перестают изменяться оптические характеристики ПГА). Характерные величины  $z_0$  для морской воды можно оценить по данным [4] как  $z_0 \sim 10$  м.

Наличие ритмичности в функционировании биоты в приповерхностном слое шельфовой экосистемы [2] приведет к появлению соответствующей ритмичности во временной изменчивости высоты  $z_c(t)$ . Это обстоятельство позволяет разделить влияние веществ биогенного и антропогенного происхождения (поскольку последние не демонстрируют изменчивости). Угнетенное состояние в функционировании биоты шельфовой экосистемы будет характеризоваться уменьшением амплитуды колебаний (например, суточных или сезонных), что может быть положено в основу методик оптического экологического мониторинга.

Поскольку поляризуемость частиц ПГА пропорциональна концентрации ионов [5], которая возрастает с уменьшением радиуса частиц, то поляризационные эффекты в интенсивности обратного рассеяния лазерного излучения от частиц в электрическом поле (см. например, [3, §5.4]) также будут проявлять поведение, подобное описанному выше, в частности характеризоваться наличием высоты  $z_c$  выхода на плато.

Проведенное исследование показывает перспективность использования для дистанционного оптического мониторинга состояния шельфовой экосистемы методик, основанных на анализе высотных зависимостей характеристик как прошедшего, так и отраженного излучения (лучше всего – лазерного).

Оценим длину базы  $L$ , необходимую для наблюдения эффекта поглощения на частицах ПГА. Типичные концентрации частиц ПГА  $n$  равны примерно  $1 \text{ см}^{-3}$  [3], объемный коэффициент ослабления можно оценить как  $k = \pi R^2$  [3]. Тогда заметное ослабление излучения будет достигаться при  $L \approx (nk)^{-1}$ , и для частиц с  $R \approx 20 \text{ мкм}$  [2]  $L$  будет равна примерно 1 км. Такая длина базы для проведения экспериментальных измерений является вполне приемлемой, особенно при использовании угловых отражателей (когда трасса проходит дважды). Проведенные оценки показывают возможность использования рассмотренных методик как в стационарном («экологический полигон»), так и в подвижном вариантах.

Схема проведения экспериментальных измерений должна включать контроль высоты  $z_c$  выхода оптических параметров ПГА на плато. Сам эксперимент можно осуществлять в основном двумя способами. Первый базируется на поглощении оптического излучения и требует для своего осуществления наличия пары «излучатель–приемник», разнесенных на расстояние 1 км и способных подниматься на высоту  $z \gg 10$  м над уровнем моря. Увеличить эффективную длину базы можно с использованием угловых отражателей – тогда излучатель и приемник могут быть оформлены в виде единого комплекса. Последнее особенно удобно для подвижного варианта, когда излучатель и приемник будут размещены на судне, а угловые отражатели – на вспомогательном катере или на системе буйев. Использование лазерного излучения представляется в этом случае наиболее перспективным, т.к. это позволит работать в импульсном режиме [3] по методу совпадений (что особенно важно при наличии качки). Второй способ базируется на рассеянии света и наиболее удобно реализуется по лидарной схеме (см. [6]). При этом можно обходиться без перемещения измерительного комплекса по высоте и ограничиваться лишь сравнительно небольшими углами отклонения от горизонта.

1. Беляев В.И., Кондуфорова Н.В. Математическое моделирование экологических систем шельфа. Киев: Наукова думка, 1990. 240 с.
2. Проблемы диагностики состояния шельфовой экосистемы и динамики антропогенных загрязнений / В.А. Иванов, С.И. Кропотов, Н.П. Малюта, А.А. Шиян. Севастополь. 1992. 36 с. (Препринт АН Украины. Морской гидрофизический институт).
3. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Оптика атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. 255 с.
4. Andreas E.L. Time constants for the evolution of sea spray droplets. // Tellus. 1990. V. 42B. N 5. P. 481 – 497.
5. Лишиц Е.М., Пятаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979. 528 с.
6. Лидарное зондирование промышленных аэрозолей./В.Е. Зуев, Б.В. Кауль, И.В. Самохвалов и др. Новосибирск: Наука, 1986. 189 с.

A . A . S h i j a n . **Optical Diagnosis of the Shelf Ecosystem State by Near-Surface Hydroaerosol Composition.**

Composition of the maritime near-surface hydroaerosol is changeable due to anthropogenic and biotic vital activity. It is shown in the paper that the change of vertical distribution of particles, being an informative parameter of the shelf ecosystem state, can be detected by optical techniques.