

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ
ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В
ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЧЕРНОГО
МОРЯ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К БЕРЕГАМ
УКРАИНЫ**

Е.А. Агафонов, А.С. Кукушкин,
Ю.А. Прохоренко
Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2.
E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net

Одной из наиболее информативных характеристик водной среды является показатель ослабления света (ПОС). Именно этот первичный гидрооптический параметр зависит от гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и гидродинамических процессов, происходящих в водах морей и океанов.

В прибрежной зоне на величину и распределение ПОС на поверхности в водной толще оказывает влияние эрозия берегов, речной сток, залповые сбросы взвешенного материала, развитие фитопланктона, антропогенные факторы и, наконец, взмучивание придонной взвеси ветровыми волнами, течениями и сгонно-нагонными движениями вод. Последние, в свою очередь, тесно связаны с метеорологическими условиями.

Оптические свойства вод определяют глубину проникновения и спектральный состав естественной дневной радиации, поступающей в море, что оказывает существенное влияние на условия развития биологической жизни в море. Фотохимические реакции протекают только при наличии солнечной энергии, определяющей развитие первичной продукции, служащей основой пищевой цепи в морях и океанах.

Шельфовая зона Черного моря является одним из районов Мирового океана, где интенсивно осваиваются природные ресурсы. Акватории, прилегающие к берегам Украины, нуждаются

в разработке экологических прогнозов для оценки результатов взаимодействия человека с морем. Изучение пространственно-временной изменчивости прозрачности вод играет большую роль в выработке основ экологической диагностики таких зон.

Авторами ранее был проведен всесторонний анализ многолетних наблюдений ПОС на трассах различной ориентации в шельфовых и прибрежных поверхностных водах Черного моря, прилегающих к берегам Украины от Керченского пролива до дельты Дуная, в различные сезоны года [1-5]. В результате анализа получено достаточно подробное представление о распределении прозрачности вод на исследованных акваториях моря. Кроме того, одновременные наблюдения различных гидрофизических (температура, соленость, поверхностные течения) параметров и ветровых условий в СЗЧМ позволили установить влияние динамики вод в различные сезоны на формирование поля прозрачности, а также наблюдать по оптическим характеристикам особенности распространения трансформированных речных вод в этом районе моря.

Основные результаты проведенных работ можно свести к следующим обобщениям.

Наиболее прозрачные воды, характеризующиеся незначительным изменением ПОС в осенний и зимние сезоны в различные годы, зарегистрированы вдоль западного, южного и юго-восточного берегов Крыма. Прозрачность этих вод близка к прозрачности вод открытого моря. При приближении к Керченскому проливу она уменьшалась, что, видимо, связано с влиянием азовоморских вод. Отдельные участки мутных вод отмечались в районах курортных и портовых городов, что подтверждалось повышенным содержанием суммарной взвеси в этих районах.

Наиболее мутные воды регистрировались вдоль западного берега в северо-

западной части Черного моря (СЗЧМ) в районе гидрофронта, где происходит смешение больших объемов трансформированных речных вод Днепра, Днестра и Дуная, несущих значительное количество взвешенного материала. В осенний период, когда сток рек минимален, воды пониженной прозрачности находились вблизи берега и только из района, прилегающего к приустьевой зоне Дуная, отмечено распространение их в центральную область СЗЧМ, которое вызывалось антициклоническим динамическим образованием, наблюдавшимся в районе работ.

В зимний сезон гидрофронт находился дальше от берега и характеризовался значительной изменчивостью показателя ослабления и температуры вдоль западного берега. Было выявлено, что распределение ПОС и температуры во вдольбереговом течении имеет квазиволновой характер, с характерным пространственным масштабом около 16 миль. При этом местоположение мутных ("холодных") и более прозрачных ("теплых") вод в оба сезона совпадали, что, видимо, связано с идентичностью факторов, формирующих структуру этих полей. Одним из основных факторов является прерывистый характер поступления больших по объему масс холодных речных вод в СЗЧМ из Днепро-Бугского и Днестровского лиманов и связанное с этим усиливающееся меандрирование вдольберегового течения.

Установлено, что пространственные зоны, связанные с процессами трансформации речных вод в морские, отличаются не только по солености, температуре и концентрации органической компоненты взвеси, но и по значениям показателя ослабления света в поверхностном слое вод. Наиболее мутные воды зафиксированы в гидрофронтальной зоне. Основная зона трансформации, расположенная вблизи устьев рек, практически не была охвачена измерениями. Величина показателя ос-

лабления в ней выходила за пределы измеряемого диапазона ПОС.

На зональных разрезах в северном районе СЗЧМ определены три характерных участка изменчивости прозрачности и температуры - западный, который определялся днепровскими водами, восточный - водами северо-восточного направления из района Тендровской косы и промежуточный, находившийся между ними, где изменения гидрофизических характеристик незначительны.

Установлено, что трансформированные речные воды распространяются из СЗЧМ на юг не только вдольбереговым течением, в структуре которого в приустьевом районе Дуная и в районе Румынии зарегистрированы антициклонические вихри, но и во время весеннего половодья они выносятся на восток, а далее захватываются антициклоническими вихрями, существующими в области материкового склона справа от ОЧТ и переносятся в зоне конвергенции к берегам Болгарии.

Таким образом, даже краткое изложение основных результатов работ говорит о расширении возможностей интерпретации гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических данных и динамических характеристик района при привлечении для анализа гидрооптических параметров среды.

Для экспрессного и качественного контроля окружающей среды при проведении мониторинга в прибрежных водах Черного моря, прилегающих к берегам Украины, необходимо знать количественные значения показателя ослабления света. Вместе с тем знание количественных параметров ПОС может быть использовано при решении вопросов, связанных с конструированием измерительной гидрооптической, подводной фото- и телеаппаратуры, определением видимости под водой, и необходимо в качестве одной из входных переменных при разработке модели экосистемы шельфа.

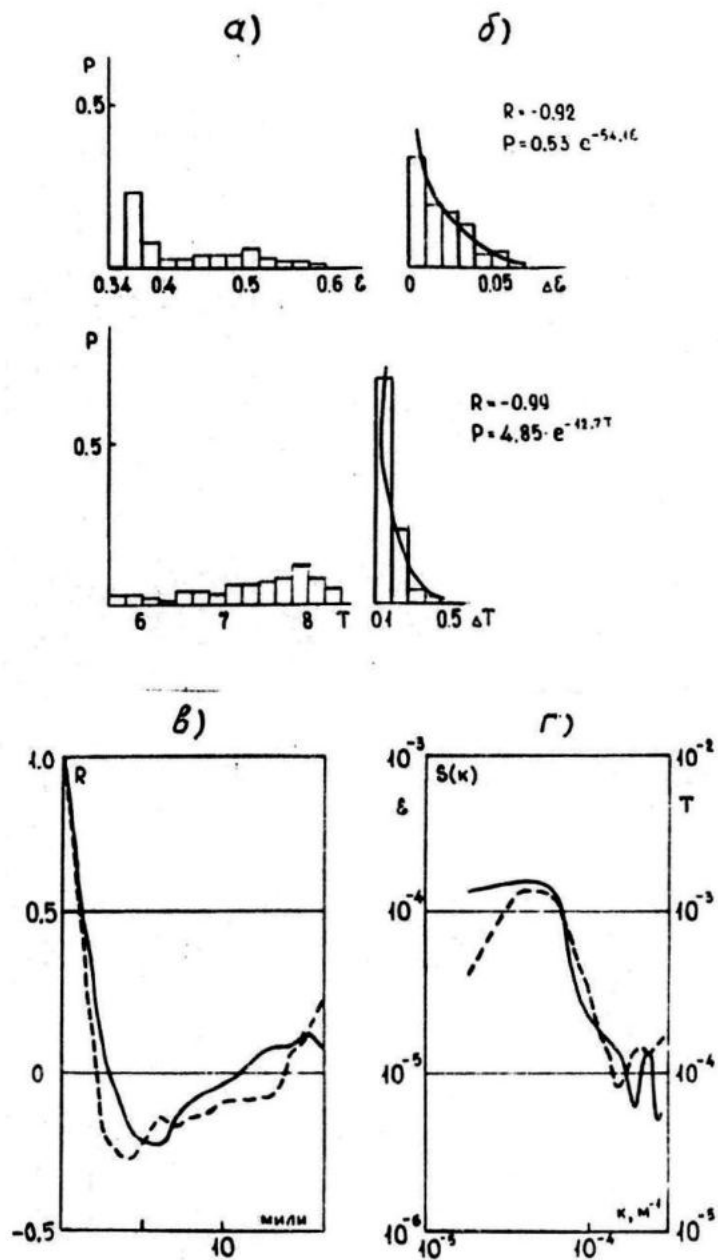


Рисунок. Пример результатов вычисления гистограмм абсолютных значений ϵ и T (а); гистограмм и их аналитических выражений для градиентов ϵ и T (б); корреляционных функций ϵ (сплошная линия) и T (штриховая линия) (в); спектров ϵ и T (г).

Статистические оценки показателя ослабления света (m^{-1}) и его градиентов для различных сезонов года в прибрежной зоне Украины (1979-1984 г.г.)

Расположение трасс измерений	Диапазон измерения m^{-1}	Диапазон наиболее вероятных значений εm^{-1}	Диапазон изменения градиентов $\Delta\varepsilon, m^{-1}/миля$	Распределения вероятности градиентов $\Delta\varepsilon, m^{-1}/миля$	Характерный размер оптических неоднородностей, мили
Северо-западная часть Черного моря					
3 рейс «Ай-Тодор» 7-11.06.79					
по 44° 40' с.ш.	0,23-0,5	0,27-0,28	0-0,07	$P=0.3\exp(-74\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 00' с.ш.	0,23-0,34	0,32-0,33	0-0,06	$P=0.42\exp(-12\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 20' с.ш.	0,26-0,5	0,32-0,33	0-0,12	$P=0.2\exp(-61\Delta\varepsilon)$	—
по 45° 40' с.ш.	0,27-0,46	0,38-0,39	0-0,1	$P=0.21\exp(-58\Delta\varepsilon)$	—
97 рейс «Муксун» 10-23.11.83					
по 44° 20' с.ш.	0,22-0,44	0,34-0,36	0-0,06	$P=1.14\exp(-108\Delta\varepsilon)$	—
по 44° 40' с.ш.	0,42-0,56	0,42-0,44	0-0,06	$P=0.85\exp(-95\Delta\varepsilon)$	2,5
по 45° 00' с.ш.	0,4-0,66	0,42-0,44	0-0,06	$P=0.52\exp(-59\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 20' с.ш.	0,12-0,2	0,14-0,18	0-0,05	$P=0.72\exp(-92\Delta\varepsilon)$	2
по 45° 40' с.ш.	0,24-0,34	0,26-0,28	0-0,02		2,5
99 рейс «Муксун» 28.02-15.03.84					
по 44° 20' с.ш.	0,34-0,54	0,38-0,4	0-0,06	$P=0.76\exp(-72\Delta\varepsilon)$	1,3
по 44° 40' с.ш.	0,34-0,5	0,38-0,42	0-0,06	$P=0.71\exp(-22\Delta\varepsilon)$	0,4
по 45° 00' с.ш.	0,36-0,46	0,38-0,4	0-0,04	$P=0.76\exp(-67\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 20' с.ш.	0,28-0,46	0,4-0,42	0-0,04	$P=0.77\exp(-92\Delta\varepsilon)$	1,25
по 45° 40' с.ш.	0,36-0,66	0,38-0,48	0-0,05	$P=0.58\exp(-67\Delta\varepsilon)$	0,4
Одесса – Севастополь	0,34-0,66	0,36-0,38	0-0,05	$P=0.53\exp(-54\Delta\varepsilon)$	2,5
Крымское побережье					
3 рейс «Ай-Тодор» 7-11.06.79					
м. Херсонес – Железный Рог	0,12-0,17	0,12-0,14	0-0,05	$P=0.89\exp(-23\Delta\varepsilon)$	3
45 рейс «Муксун» 10-16.03.78					
Кацивели – Керченский пролив	0,16-0,27	0,18-0,2	0-0,04	—	—
52 рейс «Муксун» 24.11-05.12.78					
Фрунзенское – Керченский пролив	0,2-0,28	0,2-0,22	0-0,02	—	3,4

Для получения экспериментальных распределений в разные годы и различные сезоны весь массив данных был подвергнут первичной обработке и представлен в виде рядов случайных величин, соответствующих определенным координатам. Далее по общепринятым методикам были рассчитаны гистограммы абсолютных значений показателя ослабления света и его градиентов и получены аналитические выражения, аппроксимирующие экспериментальные распределения градиентов ПОС для конкретных буксировок.

Теоретическая кривая, наилучшим образом описывающая статистическое распределение градиентов показателя ослабления и температуры, во всех случаях представлена падающей экспонентой с различными значениями параметров, входящих в формулу. Рассчитаны корреляционные функции и функции спектральных плотностей распределения оптических неоднородностей по размерам.

В качестве иллюстративного примера для показателя ослабления света и температуры на переходе между портами Одесса и Севастополь приведен рисунок, где все указанные характеристики представлены в графическом изображении.

Все сведения о статических оценках оптических неоднородностей в исследованных районах приведены в таблице.

Характерный размер оптических неоднородностей определялся по значению первого нуля корреляционной функции.

Полученные данные предназначены для использования основных параметров экспериментальных распределений показателя ослабления света при анализе и прогнозе экологической ситуации, а также могут найти применение при решении прикладных теоретических задач, связанных с использованием многолетних количественных данных по распределению прозрачности мор-

ских вод в прибрежных районах Черного моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов Е.А., Каминский С.Т., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Сезонные комплексные исследования гидрофизических характеристик в северо-западной части Черного моря // Деп. рукопись N 2919-B96.-М.:ВИНИТИ, 1996.-27с.

2. Агафонов Е.А., Каминский С.Т., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Пространственная структура и изменчивость полей течений, показателя ослабления света и температуры в поверхностном слое северо-западной части Черного моря.//Морской гидроф. журнал, 1998, N 4, с.57-69.

3. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Особенности распределения показателя ослабления света в поверхностном слое черноморских вод прибрежной зоны Украины в осенний и зимний периоды.//Сб.научных трудов "Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа". Севастополь: МГИ НАНУ, 1999, с.138-148.

4. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Исследование распространения речных вод в северо-западной части Черного моря в весенний гидрологический сезон.// Метеорология и гидрология, 2000,N8, с.93-101.

5. Агафонов Е.А., Кукушкин А.С., Прохоренко Ю.А. Многолетние наблюдения пространственно-временной изменчивости прозрачности в поверхностных водах северо-западной части Черного моря и прилегающих к берегам Крыма.//Сб. научных трудов "Системы контроля окружающей среды". Севастополь: МГИ НАНУ, 2000, с. 265-270.