

УДК 551.463.5 (268.46)

Л.Р. Лукин, В.А. Матюшенко, В.В. Воробьев

## ГИДРООПТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ

Представлены результаты измерения показателя ослабления света морской воды зондирующим прозрачномером на фиксированной длине волны излучения 530 нм. Анализ полученных сведений показал, что пространственное распределение этого показателя связано с гидрологической структурой вод моря.

### Введение

Белое море, служащее традиционным поставщиком биологических ресурсов: водорослей, рыбы, морских млекопитающих и др., в настоящее время привлекает внимание и как объект недропользования, связанный с перспективой поиска и промышленной добычи в Горле моря россыпных месторождений алмазов и других минеральных ресурсов. Горло моря характеризуется интенсивными приливотливными течениями, перемешивающими воды от поверхности до дна [1]. Отсюда можно предполагать, что в районе промышленной добычи алмазов со дна моря вся толща вод в Горле может быть замутнена взвешенными частицами пелитово-алевритовой крупности. При этом шлейф взвеси под воздействи-

ем течений может распространиться и в сопредельные районы моря.

Известно также [2], что одним из основных факторов, определяющих величину первичной биологической продукции в море, является процесс фотосинтеза фитопланктоном. В свою очередь, фотосинтез зависит не только от наличия в воде растворенных биогенных элементов, температуры, но и в значительной степени от условий освещения. При всех прочих равных условиях активность фотосинтеза и глубина его оптимума больше в прозрачных водах, чем в мутных.

Таким образом, реализация проекта промышленного освоения алмазных россыпей на дне Горла может повлиять на естественные процессы образования первичной биологической продукции не только в этом районе, но также в Бассейне и Воронке моря.

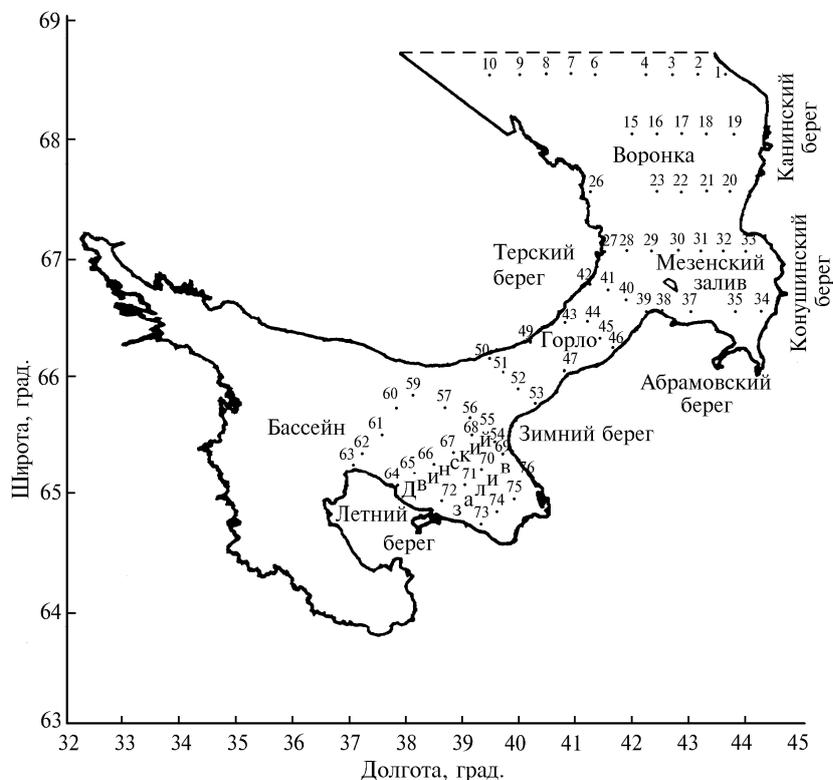


Рис. 1. Схема расположения гидрооптических станций. Белое море, август, 1995 г.

В этой связи возникла необходимость получить сведения о прозрачности вод в восточной части Белого моря до начала освоения минеральных ресурсов на дне моря, что позволит по изменчивости этой характеристики оценивать степень и масштабы техногенного воздействия на экосистемы моря, связанного с недропользованием.

### Материал и методики

В основу этой статьи легли материалы, характеризующие прозрачность вод в восточной части Белого моря, собранные авторами в экспедиции, организованной ИЭПС УрО РАН в августе 1995 г. на ПТС-74. Наблюдения были произведены на 66 подвесных гидрооптических станциях, расположенных в виде разрезов (рис. 1). Координаты станций, удаленных на расстояние до 25 миль от берега, определяли с помощью судовой РЛС, а местоположение станций, находящихся за пределами действия РЛС, – методом навигационного счисления.

В качестве объективного показателя гидрооптической структуры вод была использована величина ослабления света морской водой  $\epsilon$  на фиксированной длине волны 530 нм видимого диапазона излучения в узком участке спектра 20 нм. Измерение  $\epsilon$  производили контактным методом *in situ* с помощью погружаемого прибора «Квант» [3], который позволяет производить измерение  $\epsilon$  с погрешностью не более  $0,01 \text{ м}^{-1}$  путем непрерывного зондирования водной толщи от поверхности до дна.

Результаты измерения  $\epsilon$  показали, что оптическая структура вод исследуемой акватории характеризуется большой пространственной неоднородностью и широким диапазоном значений показателя ослабления света: в Воронке – от 0,2 до  $6,2 \text{ м}^{-1}$ ; в Мезенском заливе – от 0,3 до 2,3; в Горле – от 0,3 до 2,0; в восточной части Бассейна и Двинском заливе – от 0,5 до  $2,8 \text{ м}^{-1}$ .

### Обсуждение результатов

В Белом море выделяют два основных типа гидрологического режима – гомогенный, характерный для мелководных районов – Онежский залив, Горло, Мезенский залив и Воронка, где сильными приливотливными течениями воды перемешиваются от поверхности до дна, и стратифицированный, характерный для обширной области малоподвижных вод в глубоководной части Бассейна, Кандалакшского и Двинского заливов. При этом в районах со стратифицированным режимом выделяют глубинную водную массу, которая заполняет котловины моря до горизонта около 100 м, и поверхностную водную массу, верхний слой которой в летний период имеет сезонную модификацию, представляющую собой перемешанный ветровым волнением квазиоднородный слой (толщиной от 2–3 до 10–15 м) распределенных и более теплых вод, разделяющийся резко выраженным пикно- и термоклинном [1, 4].

В этой связи, обсуждая полученные материалы, необходимо отметить наличие определенной связи показателя  $\epsilon$  с гидрологической структурой вод.

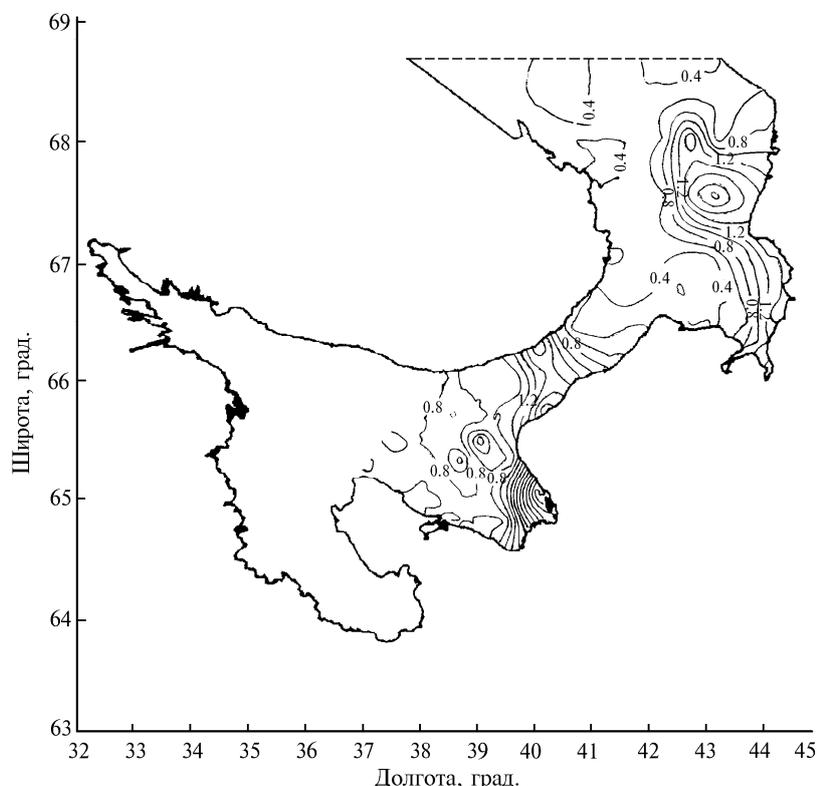


Рис. 2. Распределение показателя ослабления света  $\epsilon$  ( $\text{м}^{-1}$ ) на горизонте 10 м. Белое море, август, 1995 г.

Анализируя полученные сведения о пространственном распределении показателя ослабления света, можно отметить, что по степени прозрачности вод отчетливо прослеживается известная схема квазипостоянных поверхностных течений в Белом море [5]. Так, в Двинском заливе вдоль Летнего берега выделяются поток Онежского течения, несущего относительно прозрачные воды с показателем  $\epsilon$ , равным  $0,7\text{--}0,8\text{ м}^{-1}$ , и поток мутных вод реки Северной Двины, выносимый Двинским течением от вершины залива вдоль Зимнего берега. Кроме этого, на границе Бассейна и Двинского залива в поверхностном слое четко проявляется бинарная структура динамических вихрей – антициклонического, характеризующегося подъемом глубинных ( $\epsilon = 0,6\text{ м}^{-1}$ ) вод, и циклонического – опусканием поверхностных замутненных ( $\epsilon = 1,3\text{ м}^{-1}$ ) вод.

На границе Бассейна и Горла у Зимнего берега Двинское течение разделяется на два потока, один из которых направлен в Горло и далее на север, к Терскому берегу, а второй отклоняется на северо-запад вдоль зоны смешения бассейновских и горловских вод. В Горле моря у Терского берега на глубине  $15\text{--}25\text{ м}$  прослеживается поток относительно прозрачной воды ( $\epsilon = 0,4\text{ м}^{-1}$ ), выходящий вдоль этого берега в Бассейн. В северной части моря по значениям  $\epsilon$  прослеживаются Мезенское и Канинское течения, а также Баренцево-морское течение, входящее в Воронку у Терского берега. В качестве примера на рис. 2 показано распределение показателя ослабления света на горизонте  $10\text{ м}$ .

На условной границе между Белым и Баренцевым морями наблюдается вертикальное расслоение вод: на ст. 4 (рис. 3) отмечается интрузия наиболее прозрачных ( $\epsilon = 0,2\text{ м}^{-1}$ ) баренцево-морских вод в слое  $2\text{--}8\text{ м}$  и потоки менее прозрачных вод на ст. 3 и 10, где значения  $\epsilon$  составляют  $0,4$  и  $0,5\text{ м}^{-1}$  в слоях  $12\text{--}20$  и  $0\text{--}20\text{ м}$  соответственно. В остальной же северной части моря – Воронке и Мезенском заливе – значения  $\epsilon$  одинаковы от поверхности до дна (например, на ст. 7), что свидетельствует о преобладании процесса вертикального турбулентного перемешивания вод над работой сил плавучести в этом районе.

Относительно глубоководную западную часть Воронки заполняют воды с  $\epsilon$ , равным примерно  $0,3\text{ м}^{-1}$ , которые распространяются до Мезенского залива (ст. 30, 31) и достигают Горла у Зимнего и Терского берегов (ст. 39, 42). В центральной части Мезенского залива прозрачность воды понижается до значения  $\epsilon = 0,5\text{ м}^{-1}$  (ст. 35), а у Абрамовского и Конушинского берегов (ст. 38, 34) соответственно до  $1,2$  и  $1,4\text{ м}^{-1}$ .

На мелководье восточной и южной частей Воронки в придонных водах отмечается резко выраженный нефелоидный слой толщиной  $1\text{--}3\text{ м}$ , образующийся в результате размыва и переноса течениями донных осадков. Максимальное значение показателя ослабления света ( $\epsilon = 6,2\text{ м}^{-1}$ ) было зарегистрировано на мелководье у Канинского берега на

ст. 20, в зоне схождения выходящего из залива Мезенского течения и встречного ему Канинского течения. Между районами с ярко выраженной гомогенной вертикальной структурой вод и мелководными районами с придонным нефелоидным слоем наблюдается переходный тип вертикального распределения  $\epsilon$ , где прозрачность воды изменяется более плавно от поверхности до дна, или видна послойная структура вод, как, например, на ст. 17 и 22 соответственно (рис. 3, а).

В Горле моря в основном наблюдается гомогенный тип вертикального распределения  $\epsilon$ , с увеличением показателя ослабления света от  $0,3\text{--}0,4\text{ м}^{-1}$  на северной его границе до  $0,6\text{--}0,91\text{ м}^{-1}$  на южной границе. Однако в глубоководном желобе, проходящем от северной границы Горла и соединяющимся с Бассейном, по характеру вертикального распределения  $\epsilon$  можно выделить три слоя вод: поверхностный – до глубины около  $35\text{ м}$ , где  $\epsilon$  составляет около  $0,35\text{ м}^{-1}$ ; промежуточный – на глубине от  $35$  до  $55\text{ м}$ , где  $\epsilon$  равна примерно  $0,45\text{ м}^{-1}$ ; «глубинный» – от  $55\text{ м}$  до дна, где значения  $\epsilon$  постепенно увеличиваются до  $0,8\text{ м}^{-1}$  на глубине  $90\text{ м}$  (рис. 3, б, ст. 44).

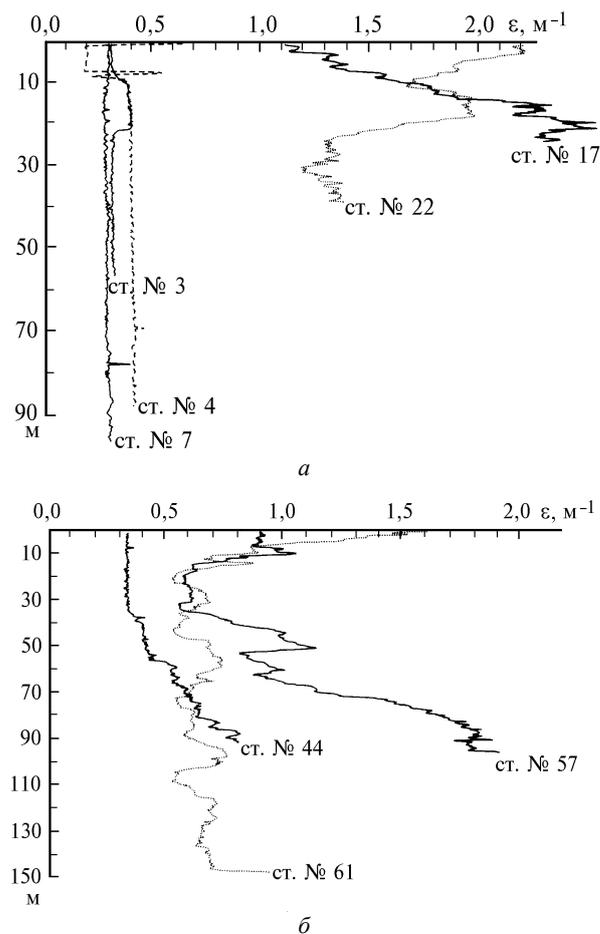


Рис. 3. Характерные кривые вертикального распределения показателя ослабления света ( $\epsilon$  ( $\text{м}^{-1}$ )) от поверхности до дна. Белое море, август, 1995 г.

В области малоподвижных вод глубоководной части Бассейна и Двинского залива характер вертикального распределения  $\epsilon$  имеет стратифицированный тип. В верхнем квазиоднородном слое (0–10 м) значения  $\epsilon$  составляют 0,7–1,5 м<sup>-1</sup>. Ниже этого слоя также четко прослеживаются слои вод с показателем  $\epsilon$ , равным 0,50–0,55 м<sup>-1</sup>, на глубинах 15–20, 35–45, 65–80 и 100–110 м, а также с показателем  $\epsilon$ , равным 0,65–0,70 м<sup>-1</sup>, на глубинах 25–30, 50–60 и 85–95 м. Наиболее ярко слоистая структура вод прослеживается на границе Бассейна и Горла, что, по-видимому, связано с наличием мощного фронтального течения, направленного от Зимнего берега к Терскому (см. рис. 3, б, ст. 61, 57).

У берегов Двинского залива характер вертикального распределения  $\epsilon$  существенно различается. У Летнего берега он близок к гомогенному типу с показателем  $\epsilon$ , равным 0,6–0,8 м<sup>-1</sup> (ст. 63), а у Зимнего берега и в вершине залива – стратифицированный тип.

### Заключение

Выполненные объективными методами и средствами измерения показателя ослабления света мор-

ской воды на длине волны излучения 530 нм позволили выявить фоновое пространственное распределение этой характеристики в восточной части Белого моря и установить, что гидрооптическая структура вод Белого моря тесно связана с его гидрологической структурой. Это позволяет использовать оптические характеристики в качестве индикатора изменения состояния вод и распространения мутьевых шлейфов, возникающих при разработке месторождений минеральных ресурсов на дне моря, и оценивать возможные при этом изменения естественных процессов образования первичной продукции в море.

1. Тимонов В.В. Главные особенности гидрологического режима Белого моря // Памяти Ю.М. Шокальского. М.–Л., 1950. С. 206–236.
2. *Океанология*. Биология океана. Т. 2. Биологическая продуктивность океана / Отв. ред. М.Е. Виноградов. М.: Наука, 1977. 400 с.
3. Козлов В.Д., Самсон Н.М. Прибор для измерения показателя ослабления и рассеяния света в морской воде // Прикладная спектроскопия. Т. 24. Вып. 3. Минск, 1976. С. 46–49.
4. Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования // Исследования морей СССР. 1928. Вып. 7–8. 511 с.
5. Тимонов В.В. Схема общей циркуляции вод Бассейна Белого моря и происхождение его глубинных вод // Труды ГОИН. 1947. Вып. 1(13). С. 118–131.

Институт экологических проблем Севера УрО РАН,  
Архангельск

Поступила в редакцию  
16 апреля 1997 г.

*L.R. Lukin, V.A. Matushenko, V. Vorobjev. Hydrological Structure of Waters of East Part of the White Sea.*

Results of measurement of a parameter of light attenuation of a marine water by probe transparency meter at fixed wavelength of radiation of 530 nm are submitted. The analysis of the received information has shown, that the spatial distribution of this parameter is connected with hydrological structure of sea waters.