

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№ 5804-В87

УДК 551.46.45:5023(262.5)

Э.Н. Альтман, И.Ф. Гертман

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОГО МОРЯ
И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Особенности режима Черного моря определяются значительным стоком рек черноморского водосбора (в среднем $342 \text{ км}^3/\text{год}$) и ограниченным водо- и солеобменом с Мировым океаном. Высокосоленные воды нижнебосфорского потока (соленостью до 36 ‰ , в среднем $180 \text{ км}^3/\text{год}$) по выходе из Босфора следуют по ложбинам шельфа до свала глубин, где интенсивно смешиваются с водами холодного промежуточного слоя (ХПС) и, в зависимости от степени смешения, растекаются по соответствующим изопикническим поверхностям водной массы, расположенной ниже уровня постоянного галоклина (ПГ) /Богуславский и др., 1980/. Объем этой водной массы составляет $486,5 \text{ тыс. км}^3$, а солесодержание $11,1 \times 10^{12} \text{ т}$. Верхняя черноморская водная масса (ВЧВМ) формируется как сезонный погранслой. Ее объем в среднем составляет $20,5 \text{ тыс. км}^3$, а солесодержание - $0,4 \times 10^{12} \text{ т}$. Воды ВЧВМ в целом устойчиво стратифицированы: летом, в первую очередь, за счет термической стратификации, а зимой - вследствие роста солености с

глубиной. Между ВЧВМ и водной массой, в пределах которой распространяются воды нижнебосфорского потока, располагается ХПС. Его объем составляет 20 тыс. км³. ХПС формируется зимой преимущественно в результате конвективной эрозии ПГ в центрах основных циклонических круговоротов /Овчинников, Попов, 1984/. Значительная халинная стратификация ХПС с максимумом вертикального градиента солености в пределах его толщи обуславливает ограниченный энерго- и массообмен между ВЧВМ с высоким содержанием кислорода и глубинными водами, зараженными сероводородом.

Мощность ВЧВМ и, соответственно, глубина залегания ПГ в Черном море определяются продукцией энергии турбулентности над ПГ и эффектами плавучести в верхних слоях. Максимум энергии турбулентности и увеличение объема ВЧВМ наблюдаются в зимний период, когда наряду с интенсивным динамическим перемешиванием (вынужденной конвекцией) происходит турбулизация вод, связанная с охлаждением поверхности моря (свободная конвекция). Эффект плавучести, препятствующий заглублению нижней границы турбулизированной ВЧВМ, в зимний период целиком определяется разностью солености вод ВЧВМ $S_0 \approx 18,3\text{‰}$ и соленостью вод под ПГ $S_H \approx 22\text{‰}$.

Таким образом, трансформация современной термохалинной структуры может быть вызвана в результате изменения следующих факторов:

- продукции энергии турбулентности в ВЧВМ;
- солености ВЧВМ S_0 ;
- солености вод, подстилающих галоклин S_H .

Отметим, что значимые изменения S_H , так же как и значимые изменения вертикальной скорости подъема вод, свя-

занные с колебаниями расхода нижнебосфорского потока, в силу значительного объема водной массы, принимающей этот поток, могут происходить во временных масштабах порядка тысячелетий /Богуславский, Котовщиков, 1984; Мадерич, Эфроимсон, 1986/. В реально обозримых временных масштабах под влиянием естественных и антропогенных воздействий могут измениться только два первых фактора (здесь не рассматриваются варианты с регулируемым водообменом через Босфор).

Многолетние крупномасштабные колебания продукции энергии турбулентности могут происходить в свою очередь по двум причинам:

- изменение интенсивности ветровой деятельности над морем (для зимнего периода определяет параметры вынужденной конвекции);
- изменение теплового баланса поверхности (для зимнего периода определяет параметры свободной конвекции). Однако при современной халинной стратификации моря естественные климатические колебания потоков механической и тепловой энергии через поверхность моря не могут вызвать однонаправленных изменений глубины залегания ПГ. Реально это явление может произойти только при изменении солености вод ВЧВМ в результате нарушения ее солевого баланса. Распреснение ВЧВМ повышает эффекты плавучести в деятельном слое и, при относительно стабильных потоках тепловой и механической энергии через поверхность моря, приводит к подъему ПГ. Осолонение уменьшает эффекты плавучести и, при том же влиянии атмосферы, обуславливает увеличение сезонного погранслоя, так как ослабевает скачок плотности, сдерживающий проникновение сво-

бодной конвекции.

Анализ данных наблюдений за полями температуры и солености в течение последних 30 лет, характеризующихся относительной полнотой информации по открытым районам моря, позволил выявить ряд однонаправленных тенденций температуры и солености вод в различных точках моря и связать эти тенденции в рамках единого механизма реакции термохалинной структуры на многолетнее увеличение стока рек, впадающих в северо-западную часть Черного моря /Альтман, Гертман, 1985/. Действительно, последние 30 лет являются уникальным периодом, когда суммарный сток рек имел значимую положительную тенденцию. Средний уровень стока Дуная за это время в целом увеличился на 60 км^3 . Среднегодовой сток Днепра, несмотря на возрастающие антропогенные изъятия, также характеризуется положительным (статистически незначимым) трендом. Регулирование сказалось только на внутригодовом перераспределении стока.

Как и следовало ожидать, в прибрежной водной массе в этот период наблюдались процессы распреснения ($0,05^\circ/\text{год}$). Они достоверно подтверждаются данными наблюдений в п. Одесса, которые устойчиво связаны с изменениями солености в поверхностном слое вод северо-западного шельфа. Отрицательные тенденции солености обнаружены также в данных по солености поверхностного слоя открытых районов моря ($0,005^\circ/\text{год}$), но в силу малости углового коэффициента линейного тренда их статистическая значимость не превышает 95 % уровня.

Несмотря на малость абсолютного распреснения поверхностных слоев, эффекты плавучести в деятельном слое возросли значительно. Следствием этого явилось уменьшение мощностей

синоптического и сезонного погранслоев, а также уменьшение потоков массы и энергии через подстилающие слои скачка плотности. Вторым фактором, способствующим этим процессам, явилось уменьшение суммарной штормовой деятельности над морем, которое по данным Кабатченко И.М. /1982/ за период 1949-1978 гг. составило около 300 часов.

Определить относительный вклад каждого из названных факторов в процесс ослабления вертикального обмена через поверхности раздела (сезонный пикноклин, постоянный гало - клин) достаточно сложно. В настоящее время оценка реакции термохалинной структуры вод Черного моря на многолетнее увеличение стока выполнена в рамках локальной модели с учетом сезонного хода и конвекции в явном виде /Гертман, 1986/. Расчеты показали, что рост сезонного распреснения поверхностного слоя приводит к быстрому падению солености вод над ПГ и резкому снижению вертикального турбулентного обмена в его толще. Уровень ядра ПГ и глубина проникновения интенсивной конвекции поднимаются не более чем на 20 м. Запирание ПГ значительно снижает интенсивность проникающей конвекции, что приводит к положительным тенденциям солености и температуры вод под ПГ. Следует отметить, что положительные тенденции солености ($0,03 \text{ }^{\circ}/\text{oo}/\text{год}$) и температуры ($0,04 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$) на глубинах 100-200 м под ПГ ранее статистически достоверно выявлены по многолетним данным /Блатов и др., 1984; Казаков, Марков, 1984/. Однако представление этого явления как результат антропогенного осолонения моря не подтверждается балансовыми расчетами /Альтман, 1984/.

С позиций рассмотренного механизма объясняются также положительные тенденции солености ($0,02 \text{ }^{\circ}/\text{oo}/\text{год}$) и отрица-

тельные тенденции температуры вод ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{год}$), выявленные по многолетним данным в слоях, подстилающих сезонный пикноклин в северо-западной части моря. По-видимому, именно резкое снижение потоков кислорода через сезонный пикноклин явилось причиной повышения повторяемости заморных явлений на северо-западном шельфе моря. Эти же причины, но уже в отношении ПГ, обусловили подъем верхней границы зоны существования сероводорода в глубоководных районах моря.

Для оценки изменений гидрологического режима Черного моря в результате ожидаемого значительного антропогенного уменьшения стока рек рядом авторов выполнены расчеты с помощью одномерных моделей /Богуславский, Котовщиков, 1984; Гертман, 1986; Мадерич, Эфроимсон, 1986/. Авторы этих работ приходят к одному главному выводу: уменьшение стока приведет к осолонению поверхностных слоев, заглублению и разрушению постоянного галоклина. Временные масштабы периода уменьшения зимней стратификации моря до состояния близкого к нейтральной при полном прекращении стока составляют 30-70 лет. Однако следует иметь в виду, что упрощенные модели турбулентного вовлечения в цитируемых работах, не позволяют удовлетворительно описать глубокую конвекцию. Поэтому в действительности период разрушения современной структуры может значительно отличаться от приведенных оценок. Так подобные процессы в Мертвом море (Штейнхорн, Гат, 1983/, после 20 лет осолонения и медленного опускания (от 100 до 200 м) вод сезонного погранслоя, привели к вентиляции бассейна до дна в течение одной зимы.

Несомненно, что перестройка структуры Черного моря в

результате уменьшения стока рек будет иметь свои особенности, но принципиальная аналогия очевидна. Уточнение прогноза такой перестройки является важнейшей задачей региональной океанологии.

Л и т е р а т у р а

1. Альтман Э.Н. Водный баланс Черного моря и антропогенные изменения солености его северо-западной части //Материалы конференции "Экология и рациональное использование природных ресурсов Южного региона Украины": Сборник, ч. I/АН УССР МГИ. 1984. - с. 9-15. - Деп. в ВИНТИ 08.10.84, № 66II-84.
2. Альтман Э.Н., Гертман И.Ф. Реакция поля солености Черного моря на изменения стока рек//Материалы конференции "Совершенствование управления развитием рекреационных систем": Сборник, ч. II/МГИ АН УССР. - Севастополь, 1985.- с. 231-246. - Деп. в ВИНТИ 06.11.85, № 779I-B85.
3. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 240 с.
4. Богуславский С.Г., Березовский А.А., Беляков Ю.М., Ковешников Л.А. Вопросы гидрологии Черного моря//В кн.: Комплексные исследования Черного моря. - Киев: Наукова думка, 1980. - с. 136-162.
5. Богуславский С.Г., Котовщиков Б.Б. Формирование современного поля солености Черного моря//Океанология. - 1984. - т. 24, № 3. - с. 410-416.
6. Гертман И.Ф. Термохалинная структура и конвективное пе-

Институт биологии
Южных морей АН УССР

БИБЛИОТЕКА

№ 141 деп

- ремешивание вод Черного моря в условиях антропогенного влияния: Дис. ... канд. геогр. наук: II.00.08. - Защищена 03.06.86. - М., ГОИН, 1986. -188 с.
7. Кабатченко И.М. Многолетняя изменчивость ветра и ветровых волн Черного моря/ГОИН, - Москва, 1985. - 22 с. - Деп. в ВНИИГМИ-МЦД 13.09.82, № 159 ГМ-Д82.
8. Казаков С.И., Марков А.А. Использование архива океанографических данных для оценки антропогенных воздействий на состояние Черного моря//Материалы конференции "Экология и рациональное использование природных ресурсов Южного региона Украины": Сборник, ч. I/МГИ АН УССР.- Севастополь, 1984. - с. 74-77. - Деп. в ВИНТИ 08.10.84, № 66II-84.
9. Мадерич В.С., Эфроимсон В.О. Простая модель моря с проливом//Океанология. - 1986. - т. 26, № 3. - с. 402-408.
10. Овчинников И.М., Попов Ю.И. К вопросу о формировании холодного промежуточного слоя в Черном море//ДАН СССР. - 1984. - т. 279, № 4. - с. 986-989.
- II. Штейнхорн И., Гат Д.Р. Мертвое море//В мире науки. - 1983. - № 12. - с. 48-57.

Севастопольское отделение

Государственного океанографического института