

О ДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕНОСТИ В СЛОЕ ПОСТОЯННОГО ПИКНОКЛИНА В ЧЕРНОМ МОРЕ

**В.Н. Белокопытов, И.Г. Шокурова,
А.Б. Полонский**

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: v.belokopytov@gmail.com

Описаны основные тенденции долгопериодной изменчивости в пикноклине Черного моря в течение XX в. на основе архивных данных температуры и солености. Рассмотрены с критической точки зрения существующие гипотезы причин наблюдаемых изменений термохалинных характеристик.

Введение. В 1980-е гг. при оценках долгопериодных изменений термохалинной структуры вод Черного моря впервые было выявлено увеличение температуры и солености в пикноклине [1–3], что с тех пор часто трактуется как подъем его верхней границы. Эта общая тенденция была подтверждена и в работах последних лет [4–7]. Для объяснения наблюданного повышения температуры и солености в промежуточном и глубинном слоях моря предлагалось несколько гипотез, но ни одну из них пока нельзя считать достаточно обоснованной.

Основные тенденции. Основные тенденции долгопериодной изменчивости в пикноклине на протяжении XX в. можно характеризовать как понижение температуры и солености от 1920-х гг. до 1960-х, дальнейшее их повышение до середины 1980-х гг., некоторое понижение к началу XXI в. и вновь увеличение (рис.1).

Применение метода оптимальной интерполяции позволило восстановить среднемесячные поля на регулярной сетке за десятилетние периоды времени с пятилетним сдвигом. Рассчитанные по ним линейные тренды статистически значимы, в период после 1950 г. повышение температуры составило $\sim 0.017^{\circ}\text{C}/10$ лет на 200 м и

$\sim 0.007^{\circ}\text{C}/10$ лет на горизонте 300 м. Увеличение солености происходило в среднем со скоростью $\sim 0.06 \text{‰}/10$ лет на 100 м, $\sim 0.05 \text{‰}/10$ лет на 200 м и $\sim 0.025 \text{‰}/10$ лет на 300 м.

Характер долгопериодных изменений в пикноклине значительно отличается от тенденций в поверхностном слое моря, в котором для температуры воды отрицательный тренд, наблюдавшийся с 1950-х гг. сменился в 1980-90х гг. на положительный тренд. Многолетний ход солености воды в поверхностном слое моря характеризуется ее ростом от 1920-х гг. до конца 1950-х, а затем постепенным снижением в течение последних 50 лет. На фоне низкочастотных колебаний солености хорошо выражена десятилетняя изменчивость с периодом около 20 лет.

Таким образом, в поверхностном слое и в пикноклине Черного моря наблюдаются противоположные тенденции изменений термохалинных характеристик на десятилетнем-междесятилетнем масштабе. Это приводит к изменениям гидрологического режима моря, в частности к чередованию периодов с повышенной и пониженной вертикальной плотностной стратификацией.

Обсуждение. Очевидно, что основные факторы, формирующие изменчивость термохалинных характеристик в поверхностном слое Черного моря – изменения теплового и водного баланса, т.к. крупномасштабная адвекция из других бассейнов отсутствует. Вопрос стоит в выявлении относительной роли отдельных компонентов балансов, что является отдельной задачей, осложняемой разбросом существующих оценок. Характер изменений температуры и солености поверхностного слоя хорошо соответствует общим климатическим тенденциям Северного полушария и, в отличие от Средиземного моря, об особых региональных особенностях Черного моря говорить не приходится. Поэтому, при оценках доминирующих факторов, определяющих долгопериодные тенденции в поверхностном слое моря, можно учитывать результаты многочисленных исследований глобальной изменчивости климата.

Существующие представления о причинах долгопериодных изменений в слое пикноклина гораздо менее определенны.

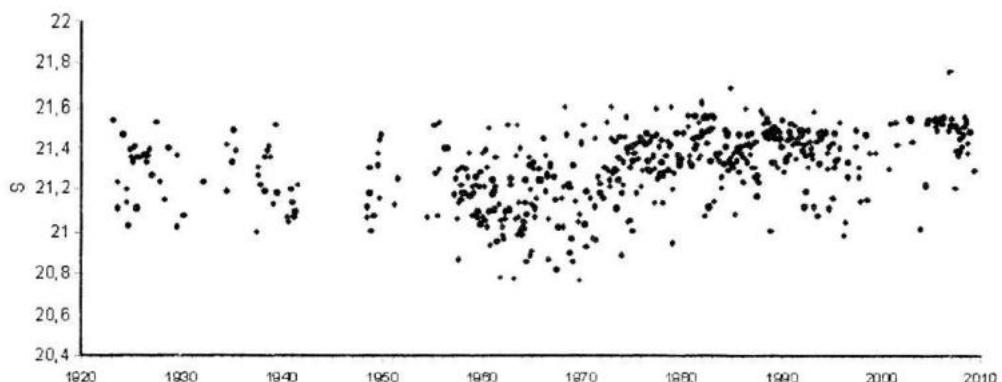


Рис. 1. Среднемесячные значения солености в Черном море на горизонте 200 м

Наиболее простым и очевидным объяснением повышения температуры и солености в промежуточном и глубинных слоях может служить увеличение объема или солености поступающих мраморноморских вод. А.К.Богданова [8] с помощью косвенных оценок выявила тенденцию увеличения притока мраморноморских вод при понижении уровня Черного моря. В работе [4] выявлена положительная корреляционная связь между соленостью в слое 30–150 в Черном море и соленостью поверхностных вод в Эгейском море, что, по мнению авторов, связано с увеличением солености вод, нижнебосфорского течения.

Одно из возражений против гипотезы увеличения поступления солей через Босфор состоит в том, что в последние 50 лет происходило увеличение пресного баланса [3]. Это привело к поверхностному распреснению вод, дополнительному повышению уровня моря, и, соответственно [8], должно уменьшить объем притока средиземноморских вод.

Оценки изменений солености в Эгейском море за период 1960–1990 гг. [4] совпадают с тенденциями в пикноклине Черного моря и по знаку, и по величине (~0.2 ‰), что выглядит как убедительный аргумент. Однако, объем притока соленых вод через Босфор невелик и составляет не более 310 км³/год по самым максимальным оценкам. Это составляет лишь ~0.1% от объема слоя моря 0 – 500 м, что неизбежно должно снизить влияние увеличения солености поступающих вод на 2–3 порядка.

Другим объяснением наблюдаемых тенденций в слое пикноклина могут

служить колебания скорости вертикальных движений, связанных с интенсивностью общей циркуляции в море. Наиболее явным образом это проявляется в сезонном ходе циркуляций, когда при максимальной интенсивности зимой, купол соленых вод в центральной части моря поднимается выше к поверхности. Исходя из этого, увеличение температуры и солености в пикноклине может быть связано с усилением в последние десятилетия интенсивности циркуляции моря в верхнем слое моря [9,10].

Принятие гипотезы о решающей роли интенсивности циркуляции моря усложняется рядом неопределенностей, таких как вопросы надежности оценок вертикальных скоростей, или сложности с выявлением причин, вызывающих изменения циркуляции. Так, например, оценки многолетних изменений завихренности касательного напряжения ветра могут, как совпадать с тенденциями в пикноклине [11], так и не совпадать [12]. Одним из сомнительных моментов также является то, что увеличение интенсивности общей циркуляции должно вызвать подъем слоев в центральной части моря и опускание на периферии, но явных противоположных тенденций термохалинных характеристик в зоне опускания вод пока обнаружено не было.

Еще одна гипотеза о причинах термохалинных изменений в пикноклине – зависимость интенсивности вертикального тепло- и солеобмена от степени распреснения /осолонения/ поверхностного слоя моря. Согласно результатам моделирования [3, 13] при уменьшении солености (плотности) верхнего слоя

значительно уменьшается вертикальный турбулентный обмен, происходит осолонение слоя пикноклина, его верхняя граница поднимается. При осолонении поверхности слоя моря происходит обратный процесс.

Основная неопределенность при данном подходе – сильная зависимость результатов от метода определения коэффициентов турбулентного обмена, значения которых могут сильно различаться, как в случае простых параметризаций в виде зависимости от частоты плавучести, так и для более сложных схем Покановского-Филандера или Меллора-Ямады [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блатов А.С., Косарев А.Н., Тужикин В.С. Изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря и ее связь с внешними факторами // Водные ресурсы. – 1980. – № 6. – С. 71–82.
2. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 239 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, Т. IV. Черное море. Вып. 1, Гидрометеорологические условия / под ред. А.И. Симонова и Э.И. Альтмана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 430 с.
4. TSimplis M.N., Josey S.A., Rixen M., Stanev E.A. On forcing of sea level in the Black sea // J.Geophys. Res. – 2004. – V.109. – C08015.
5. Белокопытов В.Н., Шокурова И.Г. Оценки междесятилетней изменчивости температуры и солености в черном море в период 1951–1995 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2005. – Вып. 12. – С. 12–21.
6. Полонский А.Б., Ловенкова Е.А. Тренд температуры и солености деятельного слоя в Черном море во второй половине XX века и его возможные причины // Изв. РАН. ФАО. – 2004. – Т. 40, № 6. – С. 832–841.
7. Полонский А.Б., Ловенкова Е.А. Долговременные тенденции в изменчивости характеристик пикноклина Черного моря // Изв. РАН. ФАО. – 2006. – Т. 42, № 3. – С. 419–430.
8. Богданова А.К. Сезонные и межгодовые колебания водообмена через Босфор // Биология моря. – 1972. – Вып. 27. – С. 41 – 54.
9. Полонский А.Б., Шокурова И.Г. Изменения сезонного хода геострофической циркуляции в Черном море // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 1. – С. 16 – 31.
10. Кныш В.В., Коротаев Г.К., Моисеенко В.А., Кубряков А.И., Белокопытов В.Н., Инюшина Н.В. Сезонная и межгодовая изменчивость гидрофизических полей Черного моря, восстановленных на основе реанализа за период 1971 – 1993 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47, № 3. – С. 433–446.
11. В.Н. Белокопытов. Сезонная и межгодовая изменчивость завихренности поля ветра над Черным морем по данным архивных синоптических карт // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2007. – С.176–178.
12. Полонский А.Б., Шокурова И.Г. Многолетняя изменчивость завихренности касательного напряжения трения ветра в Черном море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2011. – Вып. 24. – С. 182 – 189.
13. Богуславский С.Г., Совга Е.Е., Казаков С.И. Влияние поля солености на положение верхней границы зоны сероводорода в Черном море // Морской гидрофизический журнал. – 2006. – № 1. – С. 16 – 21.
14. Демышев С.Г. Исследование чувствительности параметризации Меллора-Ямады к выбору конечно-разностных аналогов в численной трехмерной модели оперативного прогноза течений в Черном море // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 3. – С. 29 – 39.