

1990

INTRATHERMOCLINE LENSES OF THE RED-SEA WATER IN THE INDIAN-OCEAN

MESHCHANOV, SL

<http://hdl.handle.net/10026.1/9735>

DOKLADY AKADEMII NAUK SSSR

All content in PEARL is protected by copyright law. Author manuscripts are made available in accordance with publisher policies. Please cite only the published version using the details provided on the item record or document. In the absence of an open licence (e.g. Creative Commons), permissions for further reuse of content should be sought from the publisher or author.

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР

1990

ТОМ 311 № 2

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

УДК 551.465 (267.32)

ОКЕАНОЛОГИЯ

© С.Л. МЕЩАНОВ, Г.И. ШАПИРО

**ВНУТРИТЕРМОКЛИННЫЕ ЛИНЗЫ КРАСНОМОРСКИХ ВОД
В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ***(Представлено академиком Л.М. Бреховских 15 III 1989)*

Во многих районах Мирового океана обнаружены изолированные линзы, содержащие воды с аномальными свойствами [1, 2]. Одной из причин их формирования является водообмен через проливы, отделяющие водные массы с различными термохалинными свойствами. Внутритермоклинные линзы образуются, например, при излиянии средиземноморских вод в Атлантику или тихоокеанских вод в Северный Ледовитый океан. Наиболее изучены линзы средиземноморских вод, которые имеют диаметр 50–80 км, толщину 400–600 м, время жизни 2–4 года [1–3]. Они являются неотъемлемым элементом дискретно-непрерывной структуры промежуточных вод Северной Атлантики [4].

В ряде работ [2, 5, 6] высказано предположение о том, что распространение красноморских вод (КВ), по крайней мере частично, также происходит не единым слоем, а в виде изолированных объемов (линз) вод повышенной солености. Эта гипотеза основана на том, что в некоторых районах Индийского океана (в Аравийском море [6, 7], в Сомалийском бассейне [8–10], в Мозамбикском проливе [11]) время от времени регистрировались прослойки вод красноморского происхождения. Из-за недостаточности данных в указанных работах не была исследована трехмерная структура аномальных вод и не была выявлена их геометрическая форма (струя, язык, меандр, линза и т.п.). Обнаруженное недавно в Аденском заливе [12] в слое 240–320 м пятно КВ (диаметр около 9 км, толщина 80 м) имеет несомненно линзообразную форму, но относится к явлениям существенно меньшего масштаба, которые здесь не рассматриваются.

Таким образом, до сих пор отсутствовал сколько-нибудь детальный анализ, который позволил бы подтвердить либо опровергнуть гипотезу о дроблении слоя промежуточных КВ в Индийском океане и о формировании внутритермоклинных линз, аналогичных обнаруженным в Северной Атлантике.

В настоящей работе предпринята попытка заполнить этот пробел. На основе анализа многолетних гидрологических данных доказано существование изолированных линз КВ повышенной солености в северо-западной части Индийского океана, выявлены их типические свойства и определены районы наиболее вероятного обнаружения. Используются материалы за 1935–1981 гг. из банка гидрологических данных Института океанологии АН СССР, а также данные экспедиции на судне "Ф. Беллинсгаузен" (1967 г.), любезно предоставленные Л.И. Галеркиным.

Определим вероятность обнаружения КВ в некоторой ограниченной области океана как $P = n/N$, где n — число станций, на которых присутствует обусловленное КВ инверсионное повышение солености; N — общее число достаточно глубоких для обнаружения залегающего в слое 600–800 м ядра КВ станций в рассматриваемой области. Точность определения солености при гидрологических измерениях, как пра-

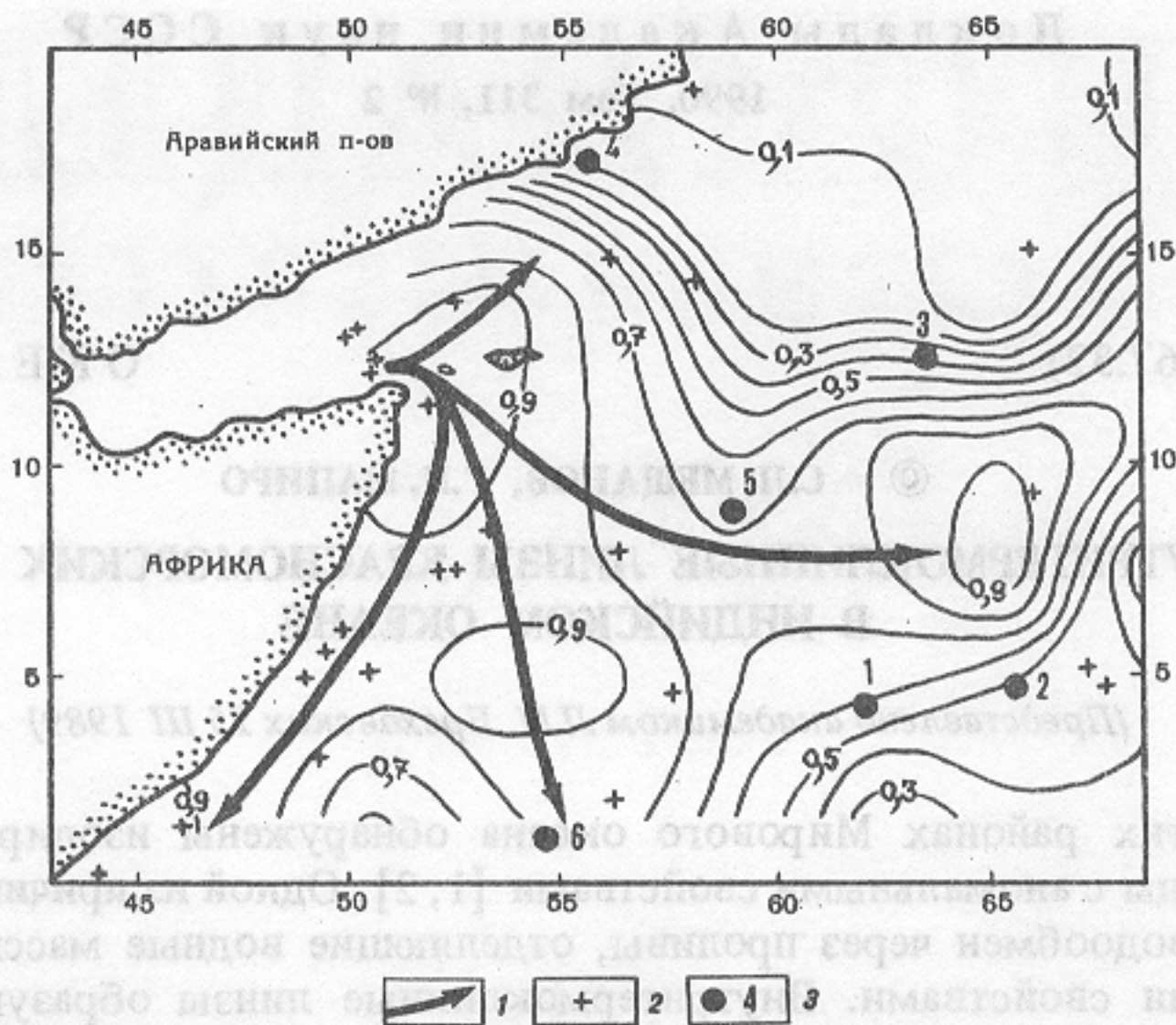


Рис. 1. Вероятность P присутствия высокосоленных КВ в северо-западной части Индийского океана. 1 — траектории основных ветвей КВ; 2 — положение аномалий солёности на изопикнической поверхности $\sigma_t = 27,25$ усл.ед.; 3 — положение и порядковый номер изолированных линз КВ

вило, составляет $\pm 0,02\text{‰}$. Вследствие этого при оценке значения n достоверными считались лишь максимумы красноморского происхождения с повышением солёности в инверсионном слое не менее $0,04\text{‰}$. Для дальнейшего анализа из имеющихся данных были отобраны станции с глубиной наблюдений не менее 750 м, т.е. содержащие типичные для КВ значения плотности $\sigma_t = 27,1-27,4$ усл. ед. Число информативных с точки зрения обнаружения КВ станций составило $N = 1097$.

Пространственное распределение величины P , рассчитанное с осреднением по трехградусным квадратам, представлено на рис. 1. Области высоких значений P (свыше 0,9) соответствуют районам преобладающего непрерывного поступления КВ, и, следовательно, нахождение изолированных линз в этих районах маловероятно. На рис. 1 видно, что красноморские воды отделены от окружающих вод Аравийского моря довольно узким фронтом, в котором величина P меняется приблизительно от 0,3 до 0,7. Этот фронт не удастся обнаружить на климатических картах температуры и солёности, полученных стандартным методом [13], так как отличие T, S -индексов КВ от фоновых значений быстро уменьшается с удалением от Аденского залива. Предложенный нами способ анализа оказывается более информативным, поскольку он учитывает не только горизонтальные изменения термохалинных свойств промежуточных вод, но и их вертикальную структуру (наличие характерных для КВ инверсий солёности).

Существование фронтальной зоны ($0,3 \leq P \leq 0,7$) можно объяснить двумя причинами. Первая — это колебания от года к году или от сезона к сезону положения основного ядра КВ с относительно гладкой границей. Вторая — возникновение сильной изрезанности этой границы, формирование мезомасштабных языков, меандров, вихрей и, наконец, полное отделение объемов КВ от материнской водной массы с образованием линз повышенной солёности. При осреднении по пространству и времени положения такой изменчивой границы и возникает переходная зона. Следовательно, можно ожидать, что отмеченная на рис. 1 фронтальная зона является наиболее вероятным районом обнаружения линз КВ.

Вероятностный анализ позволил выделить и основные пути распространения красноморских вод в Индийском океане. Естественно, они пролегают через области повышенных значений параметра P ($P > 0,9$). На рис. 1 стрелками указаны выделенные нами четыре основные ветви КВ. Основная масса красноморских вод проходит через довольно узкий (около 100 км) пролив между м. Гвардафуй и о. Абдаль-Кури, после чего происходит ее разделение на три ветви: юго-восточную, южную и сомалийскую (вдоль африканского побережья). Еще одна быстро трансформирующаяся ветвь КВ распространяется из Аденского залива на северо-восток вдоль аравийского побережья и прослеживается до $17-18^\circ$ с.ш. Определить дальнейшее распространение аравийской ветви на север по инверсиям солёности довольно трудно, так как солёность вод северной части Аравийского моря на тех же глубинах совпадает или даже несколько превышает солёность КВ, а на меньших глубинах она даже может возрастать за счет поступления вод Персидского и Оманского заливов.

Следует отметить хорошее совпадение полученных нами траекторий основных ветвей КВ с оценками путей распространения КВ, выполненными методом "ядра" [9, 14, 15]. В работах [8-10] показано, что распространение сомалийской ветви КВ происходит в виде струи шириной 100-350 км, положение которой практически не подвержено сезонным изменениям. Воды этой ветви прослеживаются в Мозамбикском проливе до $20-25^\circ$ ю.ш. [11]. При определенных условиях воды аравийской ветви КВ могут отклоняться к востоку и достигать берегов Индии [15]. Хорошее совпадение путей распространения КВ, выявленных по материалам отдельных экспедиций и полученных статистическим методом, свидетельствуют о незначительной межгодовой изменчивости картины распространения красноморских вод в Индийском океане.

Итак, статистический анализ позволил выделить районы, где обнаружение линз КВ (если, конечно, они существуют) более или менее вероятно. Однако он один не может служить надежным индикатором дискретно-непрерывного характера красноморских вод. В частности, этот метод не доказывает сам факт существования изолированных линз вблизи фронтальной зоны.

Для установления дискретно-непрерывной структуры КВ выполнено исследование пространственного распределения солёности на изопикнической поверхности в соответствии с концепцией К.Н. Федорова [6]. Была выбрана поверхность $\sigma_t = 27,25$ усл.ед которую с достаточной точностью можно считать "предпочтительной" для распространения КВ в северо-западной части Индийского океана [13]. На всех станциях определены значения солёности на этой поверхности и проведено их осреднение по трехградусным квадратам. Получено, что около 3% от общего числа станций в исследуемой области (отмечены на рис. 1 крестиками и кружочками) являются "аномальными", т.е. рассчитанные на них значения солёности превышают средние значения на выбранной изопикнической поверхности более чем на два среднеквадратичных отклонения. По аналогии с ситуацией в Северной Атлантике [1, 3] можно ожидать, что выявленные таким образом изопикнические аномалии солёности являются хорошими индикаторами интрузионных прослоек и изолированных линз.

Для выделения изолированных линз использованы анализ T, S -кривых, построение (там, где это было возможно) проходящих через "аномальные" станции квазисинхронных гидрологических разрезов и расчеты геострофической скорости. Также учитывалось расположение "аномальных" станций относительно основного ядра КВ и наличие течений.

Всего нами выявлено 6 изолированных линз КВ с горизонтальным размером 40-100 км (рис. 1, 3). Из них наиболее надежно выделяются линзы № 1-3, для ко-

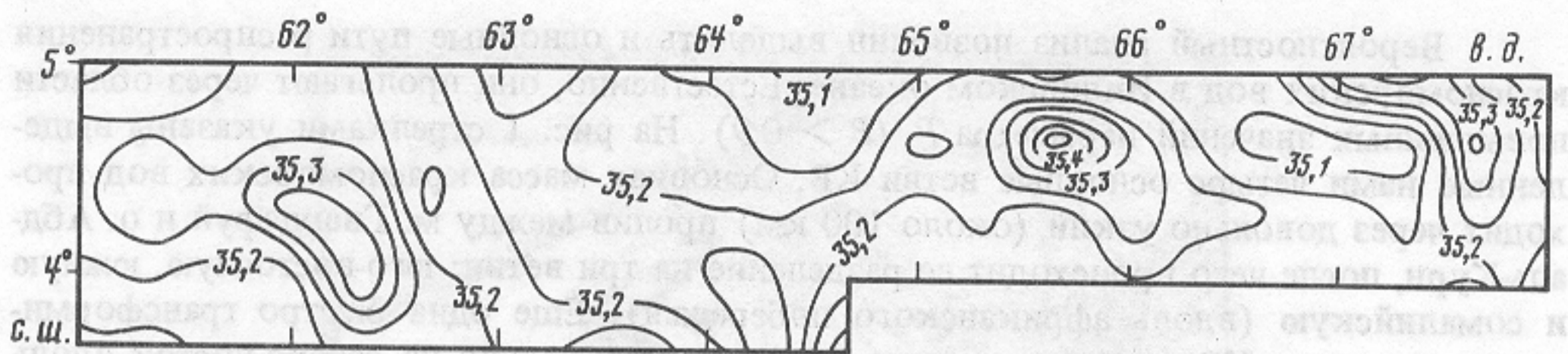


Рис. 2. Распределение солености на изопикнической поверхности $\sigma_t = 27,25$ усл.ед. по данным ГИСУ "Лиман", лето 1981 г. Шаг изолиний равен $0,05\text{‰}$

торых имеются данные полигонных измерений, позволяющие определить их трехмерную структуру. Линзы № 1 и 2 выделены по данным подробной гидрологической съемки с пространственным разрешением 20 миль, выполненной летом 1981 г. ГИСУ "Лиман" (рис. 2). Эти линзы имеют диаметр около 40 миль и характеризуются инверсионным повышением солености в ядре до $0,3\text{‰}$. Линза № 3 получена по данным съемки с пространственным разрешением 30 миль, выполненной в марте—апреле 1967 г. судном "Фаддей Беллинсгаузен". Расположенная в слое 450–750 м линза имеет диаметр не более 30 миль, инверсионное повышение солености — около $0,1\text{‰}$.

Линза № 4, обнаруженная в точке с координатами 17° с.ш., $55^\circ 40'$ в.д. (экспедиция "Дискавери", май 1964 г. [7]), располагается в слое 600–750 м и имеет диаметр около 20 миль. Значения гидрологических характеристик в ядре линзы ($T = 12,2^\circ\text{C}$, $S = 35,9\text{‰}$) превышают соответствующие фоновые значения на тех же глубинах на $1,0^\circ\text{C}$ и $0,25\text{‰}$.

Некоторые из обнаруженных нами линз (№ 4–6) сопровождаются теплыми квазиизотермическими или даже инверсионными слоями температуры, тогда как остальные практически не проявляются в поле T . Существование пятен воды повышенной солености, не сопровождающейся соответствующим повышением температуры, возможно вследствие того, что в северо-западной части Индийского океана вклад T в стратификацию вод является определяющим ($\alpha(\partial T/\partial z)/\beta(\partial S/\partial z) = 10\text{--}15$, где α , β — коэффициенты термического расширения и соленостного сжатия морской воды соответственно), и потому связанные с присутствием КВ пятна повышенной солености можно рассматривать как почти пассивную примесь, незначительно влияющую на вертикальную устойчивость промежуточных вод. Согласно расчетам геострофической скорости, линзы КВ выражены в поле течений гораздо слабее, чем линзы средиземноморского происхождения в Северной Атлантике.

Все выделенные нами изолированные линзы КВ расположены во фронтальной зоне, где величина P довольно резко уменьшается от 0,7 до 0,3. Это обстоятельство подтверждает вывод о том, что именно во фронтальной зоне происходит интенсивное дробление красноморских вод на отдельные мезомасштабные прослойки и изолированные линзы повышенной солености. Аномалии солености на выходе из Аденского залива не связаны с изолированными объемами КВ, а отражают сезонную и годовую изменчивость их термохалинных характеристик. Расположенные вдоль побережья Африки упорядоченные аномалии представляют собой проявления струи повышенной солености и прослеживаются на серии перпендикулярных к берегу разрезов [8, 9], т.е. соответствуют траектории сомалийской ветви КВ. Образование этих аномалий в приэкваториальной зоне Сомалийского бассейна вызвано возвратно-поступательным характером распространения этой ветви КВ [9, 10].

Таким образом, выполненный статистический анализ и индивидуальное исследование аномалий доказывают, что в северо-западной части Индийского океана

распространение КВ частично происходит в виде изолированных пятен (линз) повышенной солености, в которых лишь в некоторых случаях наблюдается повышение температуры. Формирование линз связано с дроблением интрузионных вод красного морского происхождения. Наиболее интенсивно оно происходит в районах резкой пространственной изменчивости параметра P .

Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Академии наук СССР, Москва

Поступило
7 IV 1989

ЛИТЕРАТУРА

1. *Armi L., Zenk W.* — J. Phys. Oceanogr., 1984, vol. 14, № 10, p. 1560–1576.
2. *Белкин И.М., Емельянов М.В., Костяной А.Г., Федоров К.Н.* В сб.: Внутригермоклинные вихри в океане. М., 1986, с. 8–34.
3. *Кошляков М.Н., Пантелеев Г.Г.* В сб.: Гидрофизические исследования по программе МЕЗОПОЛИГОН. М.: Наука, 1988, с. 46–57.
4. *Емельянов М.В., Федоров К.Н.* — Океанология, 1985, т. 25, № 2, с. 206–214.
5. *Щербинин А.Д.* — Там же, 1969, т. 9, № 6, с. 975–987.
6. *Федоров К.Н.* Тонкая термохалинная структура вод океана. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 184 с.
7. *Hamon B.V.* — Deep-Sea Res., 1967, vol. 14, № 2, p. 169–181.
8. *Bruce J.G., Volkman G.H.* — J. Geophys. Res., 1969, vol. 74, № 8, p. 1958–1967.
9. *Krause G.* — "Meteor" Forschungsergebnisse, 1968, Reihe A, H. 4, S. 77–100.
10. *Quadfasel D.R., Schott F.* — J. Phys. Oceanogr., 1982, vol. 12, № 12, p. 1358–1372.
11. *Grundlingh M.L.* — Ibid., 1985, vol. 15, № 2, p. 207–212.
12. *Федоров К.Н., Мещанов С.Л.* — Океанология, 1988, т. 28, № 3, с. 357–363.
13. *Wyrtki K.* Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition. Wash., 1971. 531 p.
14. *Сабинин К.Д.* Тр. ИОАН, 1964, т. 65, с. 51–58.
15. *Rochford D.J.* — Austral. J. Mar. and Freshwater Res., 1964, vol. 15, № 1, p. 1–24.