

УДК 551.46.062.5(261.24)«321»

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ  
ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦ И МОЩНОСТИ  
ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ  
В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД**

*О.И. Лобчук*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, olga\_may87@mail.ru

Рассматривается изменчивость положения верхней и нижней границы холодного промежуточного слоя, а также его мощности. Использовались данные натурных измерений, выполненных в конце апреля — начале мая 2006 г. в экспедициях на двух научных судах («Gauss» и «Профессор Штокман») в северных и южных частях Балтийского моря. Границы холодного промежуточного слоя определялись как уровень максимального градиента температуры воды по вертикали при ее понижении (термоклин) и повышении (антитермоклин).

*Ключевые слова:* термохалинная структура, холодный промежуточный слой, температура воды, мощность, Балтийское море.

**SPATIAL VARIABILITY OF THE LOCATION OF BOUNDARIES  
AND THE THICKNESS OF THE COLD INTERMEDIATE LAYER  
IN THE BALTIC SEA IN SPRING**

*O.I. Lobchuk*

Shirshov Institute of Oceanology, RAS

The variability of the locations of the upper and lower boundaries of the cold intermediate layer (CIL), as well as variability of its thickness, are investigated. The study is based on field data obtained at the end of April — early May 2006 during expeditions of Russian and German research vessels in the northern and southern areas of the Baltic Proper. The boundaries of the CIL were defined as the layers of maximum gradient of water temperature while it decreases and increases with depth (thermocline and anti-thermocline, correspondingly).

*Keywords:* thermohaline structure, cold intermediate layer, temperature, thickness, Baltic Sea.

**Введение**

Известно [2], что термохалинная структура вод средиземных морей планеты в целом двухслойна. В Балтийском море это нижний слой, более соленый и теплый, содержащий поступающие из океана воды, характеристики которых в течение всего года практически не изменяются (4—7 °С, 11—13 PSU), и верхний слой (толщиной от 10 до 70 м в зависимости от сезона и части моря), распресненный стоком рек до 6—8 PSU, где явно прослеживаются сезонные изменения [3, 4]. На границе между этими слоями — ниже сезонного термоклина, но выше постоянного пикно-халоклина — в теплое время года выделяется еще и холодный промежуточный слой (ХПС), в котором температура воды аномально низкая (2—4 °С),

а соленость соответствует значениям в верхнем слое. Несмотря на то что низкая температура этого слоя позволяет ежегодно отчетливо выделить его на всей акватории Балтики, где глубина превышает 60 м [3, 4, 9, 10], его характеристики описаны крайне фрагментарно.

Ранее рядом авторов [4, 6, 7, 9] было предложено использовать в качестве формального критерия выделения ХПС в термохалинной структуре моря практически удобный параметр — максимум градиента температуры воды по вертикали. Тогда «холодным промежуточным» слоем формально является слой между уровнями максимального отрицательного и максимального положительного значений градиента температуры воды по вертикали (т.е. между сезонным термоклином и антитермоклином). Как было показано ранее путем анализа результатов многочисленных STD-зондирований [6], в летний период антитермоклин находится вблизи постоянного пикно-халоклина, хотя и не совпадает с ним строго. Поэтому данный критерий выделения ХПС вполне соответствует общепринятому пониманию ХПС как слоя холодных вод, расположенных летом между термоклином и пикноклином.

В настоящей работе автор исследует изменчивость положения верхней и нижней границы ХПС с юга на север (вдоль главной оси моря), применяя избранный критерий к экспедиционным натурным данным, полученным в период формирования ХПС весной.

### Массив гидрологических данных

Для анализа использованы данные STD-зондирований, полученные в двух рейсах, проходивших практически одновременно в северной и южной частях Балтийского моря (рис. 1).

Во-первых, использовались данные шести вертикальных STD-зондирований, проведенных в северной части Готландского бассейна в 76-м рейсе НИС «Профессор Штокман» (23 апреля — 4 мая 2006 г.). Рейс проходил в рамках программы экологического мониторинга кампании «Питергаз» (начальник экспедиции А.С. Щука, данные получены группой В.И. Баранова). Измерения проводились зондом FSI 3 Micro STD, который обеспечивает измерение температуры воды с точностью до 0,0005 °С и электропроводности с точностью, достаточной для вычисления солености с точностью 0,001 PSU. Данные вертикальных зондирований имели дискретность по вертикали от 3—4 до 25—30 см.

Во-вторых, использовались данные 14 вертикальных STD-зондирований, проведенных институтом исследований Балтийского моря в г. Варнемюнде (Германия, IOW) в рамках регулярного мониторинга HELCOM в рейсе НИС «Gauss» (4—12 мая 2006 г.) на стандартных станциях в южной и центральной частях моря (см. рис. 1). Начальником экспедиции был Dr. N. Wasmund. Измерения проводились стандартным STD-зондом Neil Brown Mark III, с точностью до 0,005 °С по температуре и 0,005 мС/см по электропроводности. Дискретность данных по вертикали составляла три — четыре измерения на метр.

### Метеоусловия

Для периода измерений (конец апреля — начало мая 2006 г.) по данным метеопоста Висбю (о. Готланд), расположенного в центральной части моря, была характерна следующая метеообстановка [5].

Температура воздуха в целом за период измерений изменялась в широком диапазоне — от  $-1,1$  до  $20,4$  °С, однако по характеру этих изменений можно разделить весь период на два этапа. Если до 3 мая повышение температуры воздуха был незначительным и крайне неравномерным, то с 4 мая изменчивость температуры четко следовала суточному циклу: регулярный дневной прогрев до  $19$ — $20$  °С и понижение температуры до  $5$ — $6$  °С ночью. Ветер, слабый и умеренный в этот период, имел переменное направление с преобладанием южного и юго-восточного. Наиболее существенным по ветровому воздействию можно считать эпизод 29 апреля — 2 мая, когда ветер восточного — юго-восточного направления со скоростью  $4$ — $7$  м/с (до  $8$  м/с) был достаточно устойчив. 26 апреля 2006 г. был отмечен кратковременный северный шквал, когда скорость ветра достигала  $12$  м/с.

Таким образом, метеоусловия в целом соответствовали сезону, в результате чего развивался весенний прогрев вод поверхностного слоя и формирование сезонного термоклина.

### Разрез вдоль главной оси моря

Холодный промежуточный слой начинает отчетливо проявляться в структуре вод только после формирования сезонного термоклина — с конца апреля — начала мая [3, 4]. Именно этот начальный период существования ХПС интересен для анализа потому, что свойства вод, слагающих ХПС, со времени начала его формирования (март — апрель) еще не столь значительно изменены текущими гидрофизическими процессами и есть возможность получить дополнительную информацию об особенностях самого процесса его формирования.

Эстуарийный характер общей циркуляции, существенно различные внешние условия, связанные с протяженностью моря с юга на север, — все эти факторы обуславливают значительные градиенты солёности и температуры воды вдоль всей оси Балтийского моря [1, 6, 8]. Поэтому изменчивость характеристик ХПС, тесно связанного с параметрами локальной термохалинной структуры, совсем не очевидна и представляет собой богатый источник информации о происходящих процессах.

На рис. 2 представлена вертикальная структура вод Балтийского моря. Из рисунка видно, что положение границ ХПС весьма изменчиво.

Рассматривая верхнюю границу ХПС, можно отметить следующее. На ст. 189PSh, находящейся на севере Балтийского моря, верхняя граница располагалась на глубине  $11$  м, а на ст. TF0270, которая находится в глубоководной части моря, — уже на глубине  $41$  м. Средняя по всем профилям глубина залегания ХПС составила  $25 \pm 3$  м. Минимальная глубина залегания нижней границы ХПС отмечена в северном районе моря, который по естественным причинам прогревается позднее

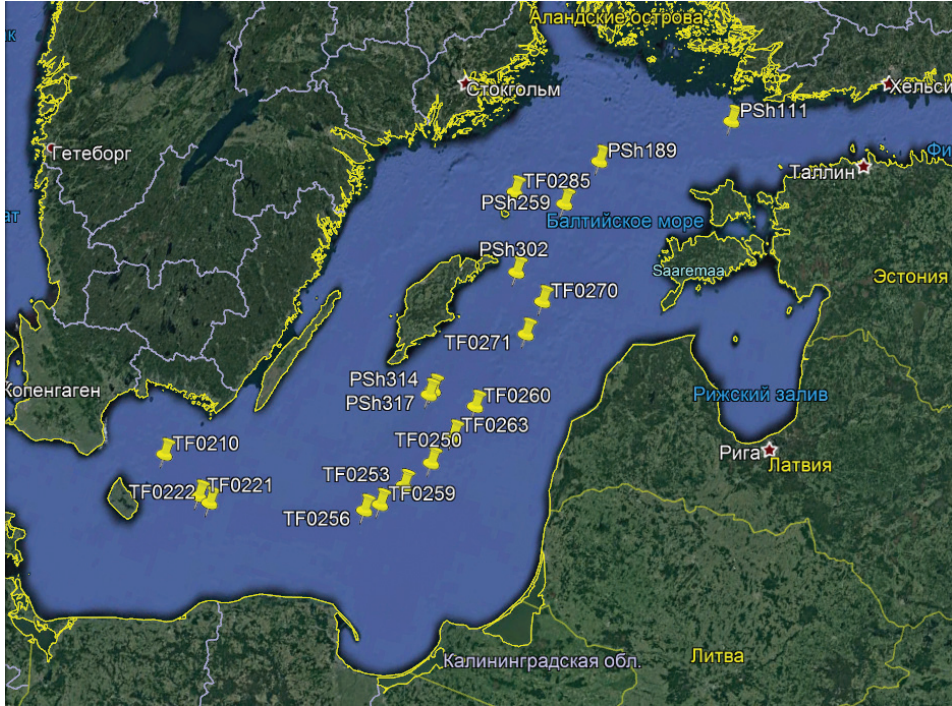


Рис. 1. Карта Балтийского моря со станциями СТД-зондирования, данные которых использованы для анализа.

PSh — станции рейса НИС «Профессор Штокман», 23 апреля — 4 мая 2006 г.; TF — станции НИС «Gauss», 4—12 мая 2006 г. Карта построена с помощью программы Google Earth.

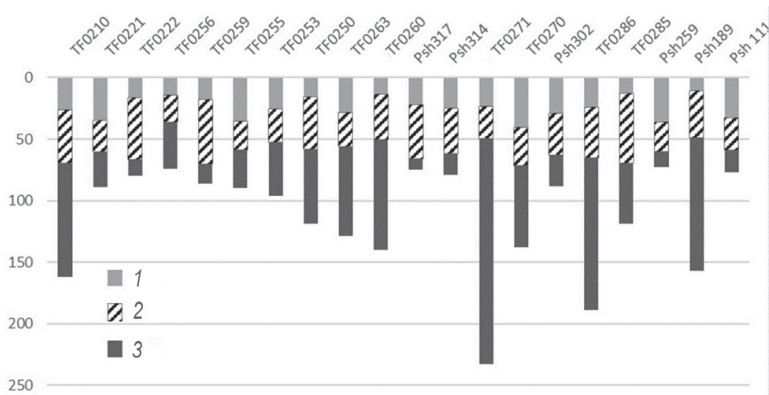


Рис. 2. Вертикальная структура вод Балтийского моря, полученная на основе профилей температуры воды.

1 — верхний слой; 2 — холодный промежуточный слой, находящийся между термоклином и антитермоклином; 3 — нижний слой. Станции по горизонтальной оси указаны без привязки к расстоянию между ними. Положение станций см. рис. 1.

южных районов, и явного тренда в изменении заглубления сезонного термоклина с севера на юг там не наблюдается.

Очень значителен диапазон изменений положения границ. Например, на станциях PSh259 и PSh189, находящихся на расстоянии 52,2 км друг от друга, измерения, выполненные с интервалом 42 ч, показали, что глубина залегания термоклина различается на 25,4 м (36 и 10,6 м соответственно). Аналогично, сравнение данных для станций TF0259 и TF0250 (76,5 км, 8 ч) показало, что глубина залегания термоклина различается только на 2,1 м (17,6 и 15,5 м соответственно); для станций TF0221 и TF0222 (10 км, 100 мин) — на 18,2 м (34,5 и 16,3 м), для станций TF0259 и TF0256 (15,6 км, 110 мин) — на 3,1 м (14,5 и 17,6 м).

Разброс глубины расположения нижней границы ХПС также велик. На ст. TF0256 (южная часть моря) глубина составляла 36 м, тогда как на ст. TF 0270 (центральная часть моря) нижняя граница ХПС находилась на глубине 71 м. Средняя по всем профилям глубина залегания ХПС составила  $60 \pm 8$  м. Изменение положения нижней границы также носит скачкообразный характер: например, от станции TF0259 до соседней станции TF0250 (76,5 км, 8 ч) изменение составило 11,9 м (от 70,4 до 58,5 м). В данном случае речь идет об изменчивости положения постоянного пикно-халоклина, который в остальные времена года постоянен.

Мощность ХПС, вычисленная по разности положения границ между сезонным термоклином и антитермоклином, изменяется на разрезе от 20 до 57 м, средняя мощность составляет  $35 \pm 5$  м. Из рис. 2 видно, что положение верхней и нижней границы ХПС в основном от станции к станции существенно различается.

### Заключение

Проанализированные натурные данные показывают, что при глубине верхней границы ХПС 11—36 м и глубине его нижней границы 49—71 м в зависимости от расположения станции средняя мощность ХПС составила  $35 \pm 5$  м.

В целом данные показывают существенную зависимость глубины залегания границ ХПС от географического расположения станций. От станции к станции положение границ изменяется значительно, но явной динамики их изменения не обнаруживается. Этот факт свидетельствует о том, процесс формирования ХПС происходит в каждом отдельном месте независимо.

*Автор благодарит за предоставленные для анализа данные Институт исследований Балтийского моря (Варнемюнде, Германия) и ООО «Питер Газ».*

*Анализ выполнен в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0013).*

### Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия шельфовых морей СССР. Т. III. Балтийское море. Л.: Гидрометеониздат, 1992. 450 с.
2. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Региональная океанология. М.: изд-во МГУ, 1992. 224 с.
3. Козлова О.И. О возможности вклада адвекции в формирование ХПС Балтийского моря // Вестник БФУ им. И.Канта. 2012. № 7. С. 156—162.

4. *Козлова, О.И.* Характеристики холодного промежуточного слоя в центральной части Балтийского моря после зим различной суровости // Исследовано в России: электронный научный журнал. 2010. С. 149—158. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://zhurnal.gpi.ru/articles/2010/010.pdf>.
5. Погода [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tr5.ru>.
6. *Степанова Н.Б., Чубаренко И.П., Шука С.А.* Структура и эволюция холодного промежуточного слоя в юго-восточной части Балтийского моря по данным натуральных измерений 2004—2008 гг. // Океанология. 2015. Т. 55, № 1. с. 32—43.
7. *Чубаренко И.П., Демченко Н.Ю., Есюкова Е.Е., Лобчук О.И., Карманов К.В., Гурова Е.С., Степанова Н.Б.* Исследование роли промежуточного слоя в термохалинном конвейере Балтийского моря / Отчет о научно-исследовательской работе, ГР 215021740075. Калининград: изд-во АО ИО РАН, 2015. 22 с. Зарегистрирован 17.02.2015.
8. *Chubarenko I.P., Demchenko N.* On the contribution of horizontal and intra-layer convection to the formation of the Baltic Sea cold intermediate layer // Ocean Sci. 2010. V. 6. P. 285—299.
9. *Chubarenko I.P., Kozlova O.I., Sachenko L.* Probable response of the Baltic sea Cold Intermediate Layer to climate warming: field data analysis and numerical modeling / Abstr. Int. Conf. on Climate Change “The environmental and socio-economic response in the Southern Baltic region”. Szczecin, Poland, 2009. P. 31—32.
10. State and Evolution of the Baltic Sea, 1952—2005: A Detailed 50-year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment / Eds. R. Feistel, G. Naush, and N.J. Wastmund. Wiley & Sons, 2008. 704 p.