

СТРАТИФИКАЦИЯ ВОД ОКЕАНА

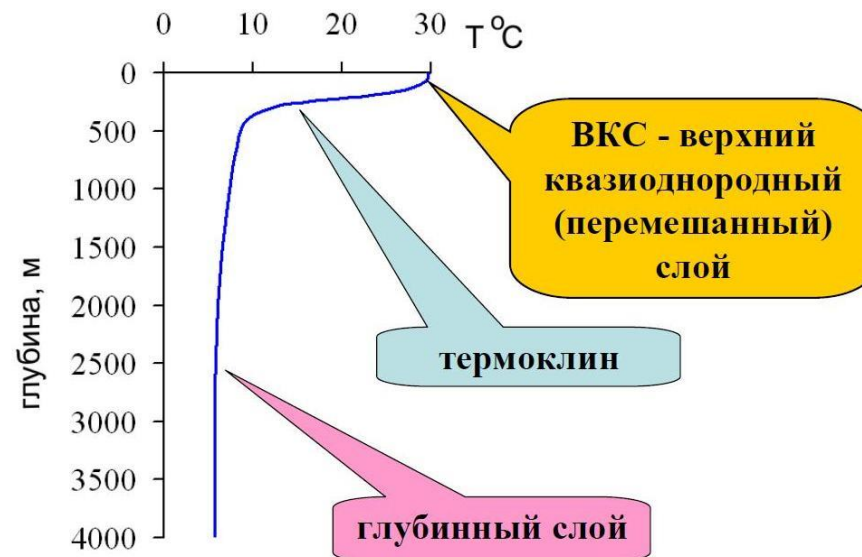
Влияние гравитационных сил приводит к стратификации вод океана (расслоённости вод по глубине): плотность вод увеличивается с глубиной. Соответственно, возникает стратификация вод по всем основным гидрологическим параметрам (температуре, солёности и др.). Эта стратификация является устойчивой.

Стратификация по температуре

Характерные профили (глубинные зависимости) температуры разнятся в разных районах океана (полярных, субполярных, тропических и т.д.). Тем не менее, во всех профилях можно выделить следующие основные участки:

- 1) квазиоднородный поверхностный слой, достаточно хорошо перемешанный за счет действия ветра и волн;
- 2) термоклин (который может делиться на сезонный и главный), залегающий обычно на глубинах до нескольких сотен метров (максимум до 1,5–2 км);
- 3) относительно однородный глубинный слой, простирающийся до дна.

Вертикальное распределение температуры в океане



Типичные профили температуры в разных районах Мирового океана:

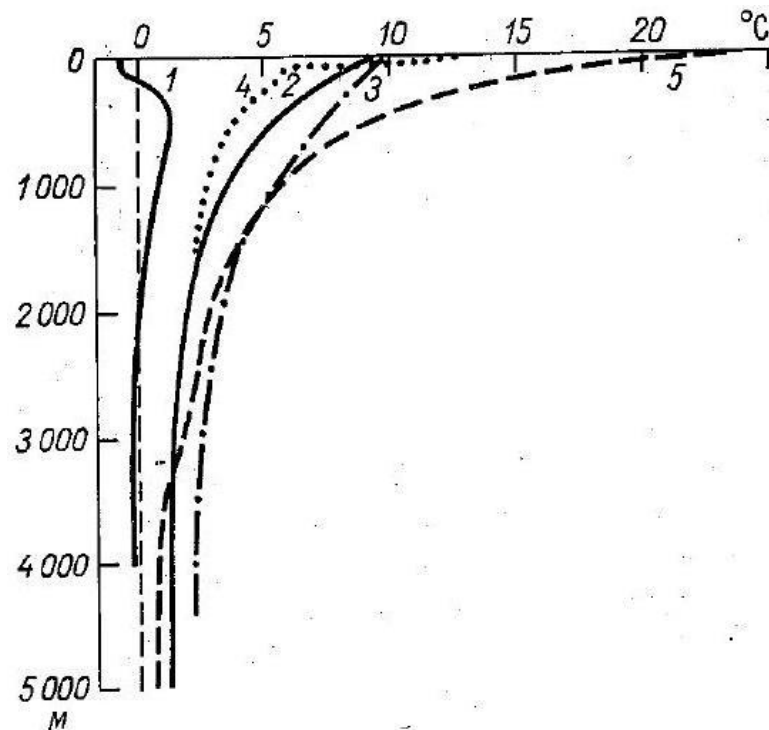


Рис. 95. Типы вертикальных профилей температуры воды в Мировом океане.

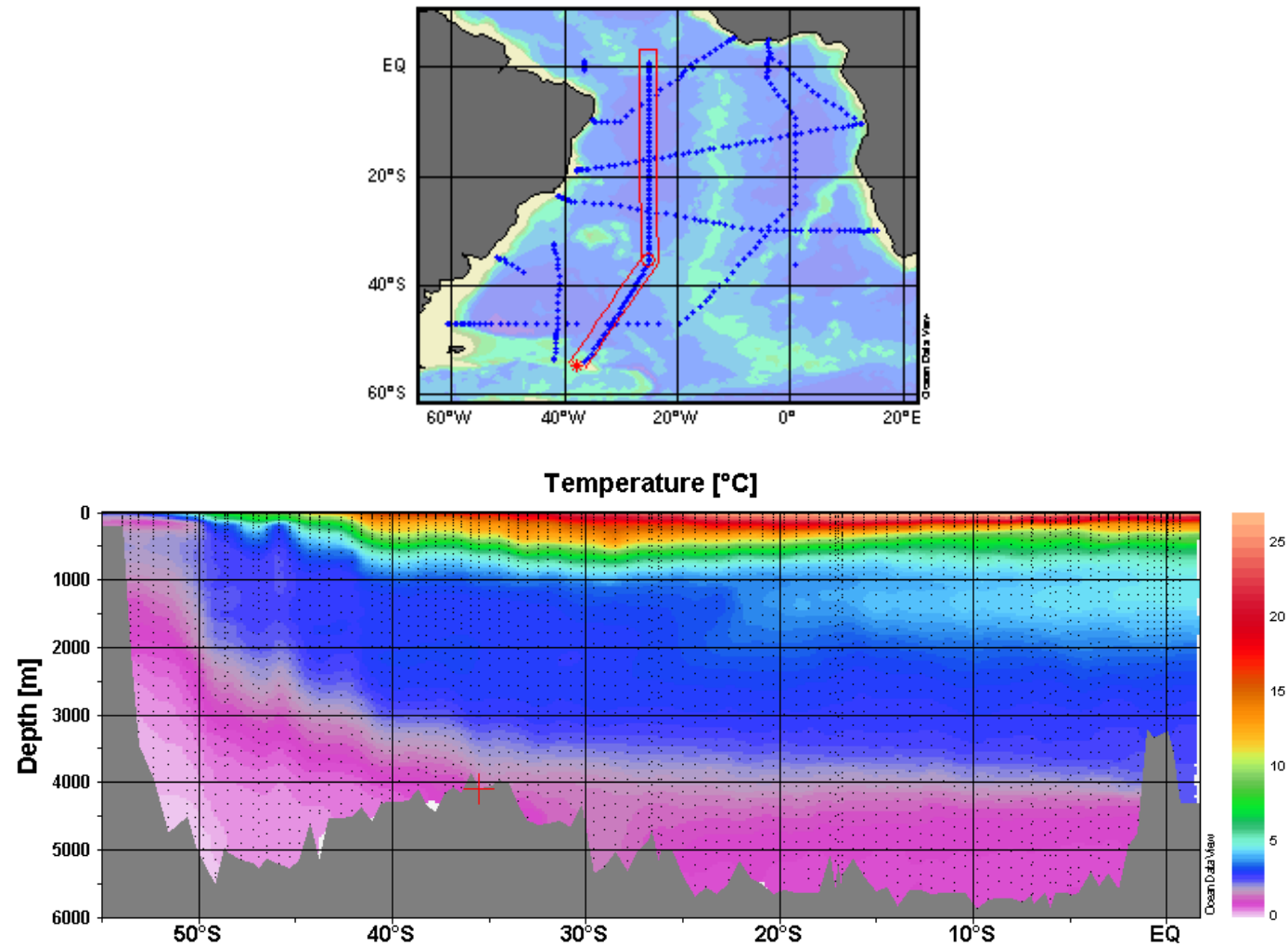
1 — полярный; 2 — субантарктический; 3 — субарктический атлантический; 4 — субарктический тихоокеанский; 5 — умеренно-тропический.

Наибольшие отличия наблюдаются в поверхностном слое, где велика роль взаимодействия с атмосферой, а на больших глубинах разница между профилями в разных районах океана невелика.

В глубоководной области температура, как правило, слабо увеличивается по мере роста глубины, что связано с т.н. адиабатическим прогревом воды, обусловленным повышением давления с глубиной. Более значительный прогрев воды в придонных слоях, обусловленный поступлением тепла из недр Земли, называют сверхадиабатическим. Температура воды на глубоководных горизонтах обычно близка к 0°C , иногда достигает небольших отрицательных значений.

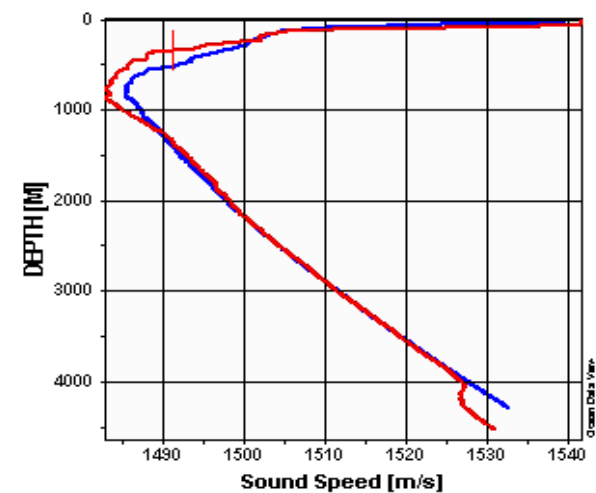
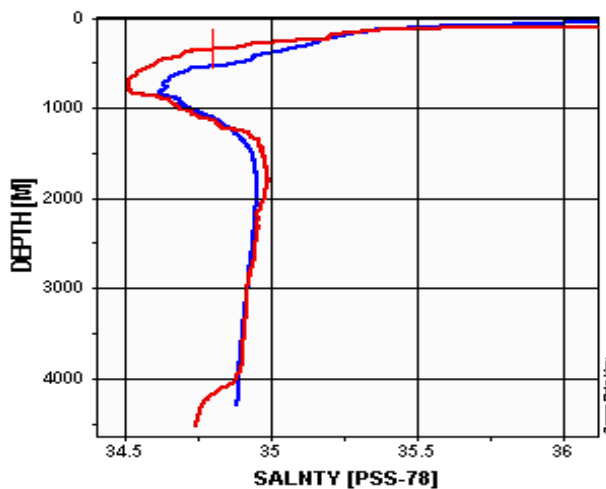
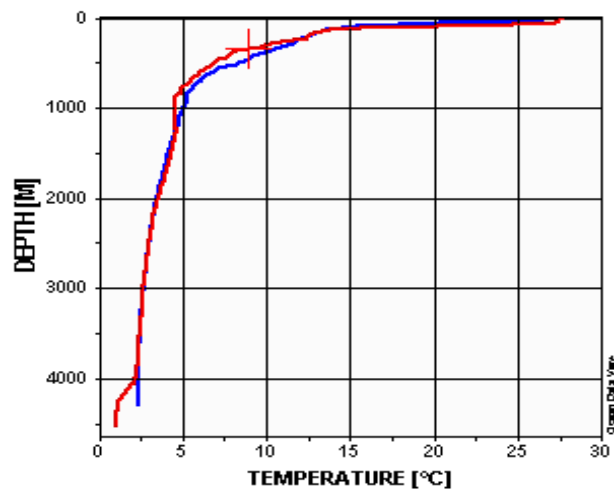
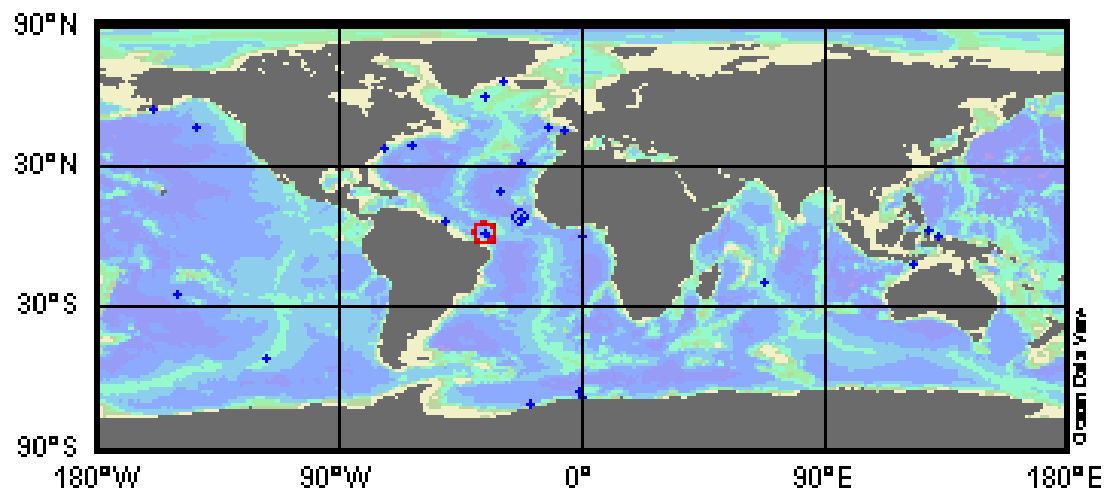
Наиболее холодные воды Мирового океана формируются в антарктическом море Уэдделла, откуда они, стекая по материковому склону Антарктиды, растекаются по дну почти всего океана (эта водная масса называется ААДВ —

Антарктическая донная вода). В районах, где присутствует ААДВ, температура в придонном слое может претерпевает скачок вниз в придонном слое (формируется т.н. бентический фронт).



Разрез температуры вод в Атлантике (данные программы WOCE).

Бентический фронт соответствует границе раздела между Атлантической глубинной водой и ААДВ (глубины около 4000 м)



Профили температуры, солёности и скорости звука в точке с выраженным бентическим фронтом в Западной Атлантике (красный цвет) и в точке в Восточной Атлантике, куда ААДВ не проникает из-за Китового хребта (синий цвет). Бентический фронт залегает на глубинах около 4000 м (данные программы WOCE)

Стратификация по солености

Близкие закономерности наблюдаются и для профилей солености. Ниже глубин около 2 км соленость изменяется в узких пределах: от 34,6‰ до 35‰.

Участок профиля, на котором наблюдается выраженная зависимость солености от глубины, называется халоклином (галоклином).

Профили солености более изменчивы в разных районах океана, чем профили температуры. Число типичных профилей солености в разных районах океана больше, чем типичных профилей температуры. Выделяют 7-11 типичных профилей солености.

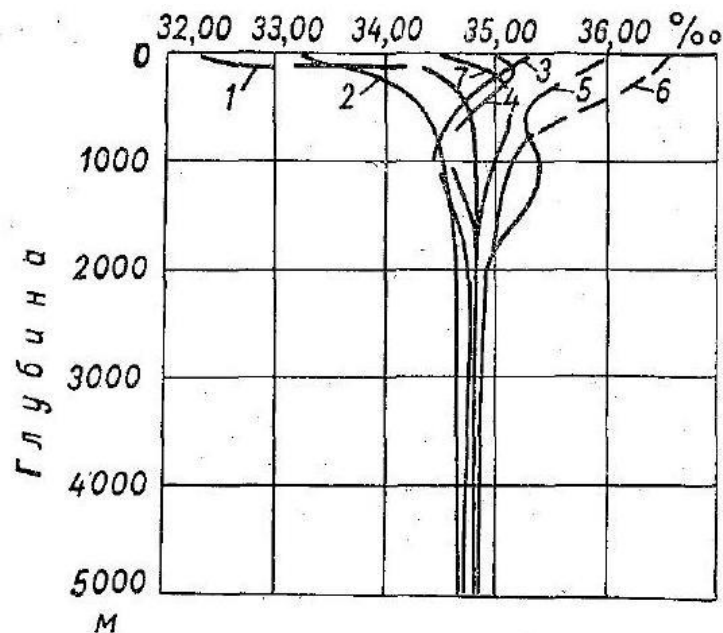


Рис. 2.8. Типовые кривые вертикального распределения солености (по В. Н. Степанову и В. А. Шагину).

1 — полярный тип, 2 — субполярный, 3 — умеренно тропический, 4 — экваториально-тропический, 5 — северо-атлантический, 6 — присредиземноморский, 7 — индомалийский.

Для профиля плотности воды участок быстрого изменения плотности с глубиной называется пикноклином.

Количественной мерой стратификации и ее устойчивости может служить **частота Вайсяля-Брента**:

$$N \approx \sqrt{\frac{g}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_s}$$

Частота Вайсяля-Брента (ВБ) связана с периодом внутренних волн и определяется фактически градиентом плотности по глубине. Более высокому значению частоты ВБ соответствуют глубины, где стратификация вод выражена сильнее и устойчивость выше, например, в области термоклин. Наибольшие значения частоты ВБ соответствуют периодам внутренних волн около 10-15 минут, а наиболее характерные значения периодов в толще вод – несколько часов.

Тонкая термохалинная структура вод океана

В послевоенные годы океанологическая техника получила интенсивное развитие, и были созданы батитермографы и STD-зонды с высокой разрешающей способностью по глубине (около 1 м и даже десятки см). Благодаря им экспериментально была обнаружена тонкая термохалинная структура вод океана (мелкомасштабная расслоённость вод с толщинами квазиоднородных горизонтальных слоёв от десятков см до нескольких метров). Другими словами, обнаружилось, что изменение гидрологических параметров вод по глубине происходит не непрерывно, а дискретно, скачками (профиль носит ступенчатый характер). Квазиоднородные слои воды разделены тонкими прослойками, в которых гидрологические характеристики меняются практически скачкообразно («простыни»). Протяженность квазиоднородных слоев может достигать сотен метров и даже нескольких километров, время жизни – от нескольких минут до часов.

Теоретически существование тонкой структуры предсказано не было, хотя в работах американца Генри Стоммела и указывалось на возможность ее формирования в жидкостях, где реализуется механизм двойной диффузии (например, при устойчивом распределении температуры и неустойчивом распределении солёности по глубине). Однако, в экспериментах выяснилось, что тонкая термохалинная структура может формироваться и при отсутствии двойной диффузии в водах океана, а также в пресноводных водоемах, где солёность вообще отсутствует (например, она была обнаружена в водах озера Лох-Несс в Шотландии).

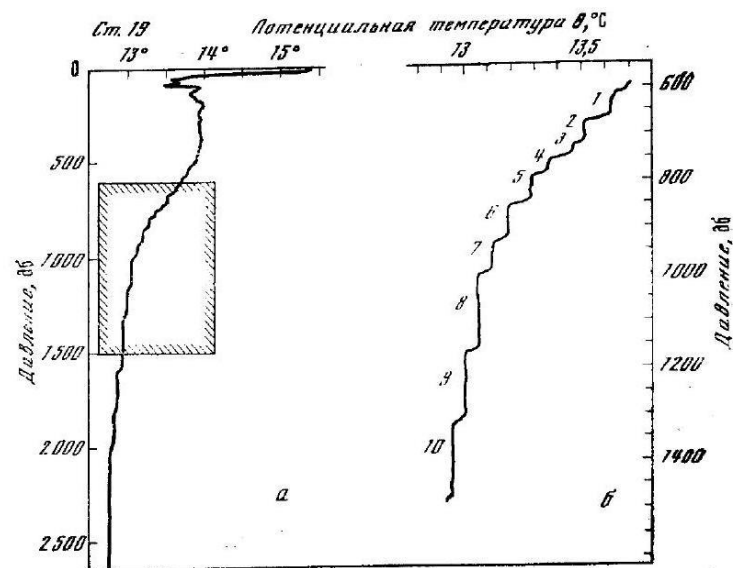


Рис. 8. Пример ступенчатого вертикального профиля температуры

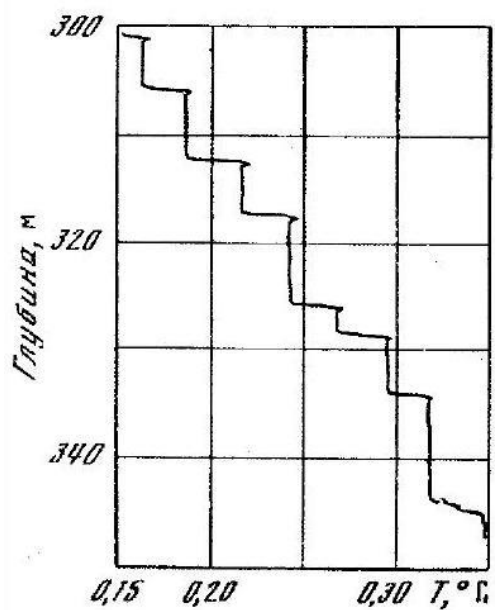


Рис. 14. Пример ступенчатой термической структуры, связанной с послойной конвекцией в слое инверсии температуры в Арктическом бассейне, по данным Нешибы и др. (Neshyba et al., 1971). Цитируется по статье Грегга (Gregg, 1973)

T,S-кривые.

Для описания глубинных зависимостей температуры и солёности в океанологии принято использовать не только профили, но и T,S-кривые, которые позволяют отобразить глубинные зависимости в более компактной форме.

T,S-кривая – это параметрическое представление зависимости температуры от солёности, параметром которой является глубина, т.е. кривая $T(S)$, заданная функциями $T(z)$, $S(z)$.

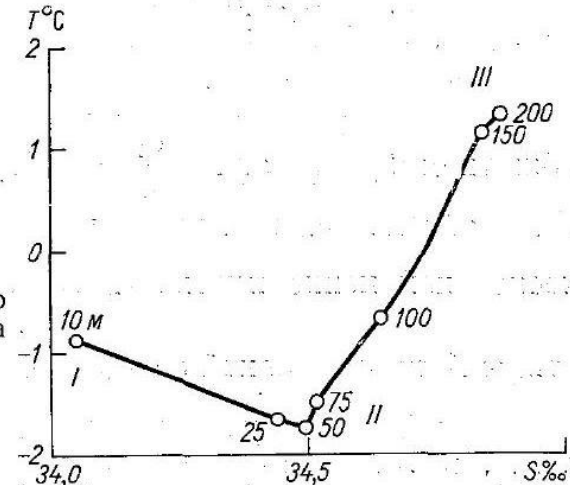
Пример T,S-кривой:

I — поверхностные воды, летом относительно нагретые и распреснённые таянием льдов;

II — слой, сформированный зимним конвективным перемешиванием при охлаждении и ледообразовании; ледообразование повысило солёность этого слоя;

Рис. 22. T,S-кривая для верхнего слоя Северного Ледовитого океана летом.

Глубины указаны в метрах.



III — теплая и солёная прослойка, образованная притоком вод из Северной Атлантики.

Глубину положения каждого слоя нетрудно определить по надписям глубин горизонтов на T, S-кривой.