

ИКИ РАН, Москва, 12 ноября 2024

# Построение термохалинных портретов океанов по данным Арго



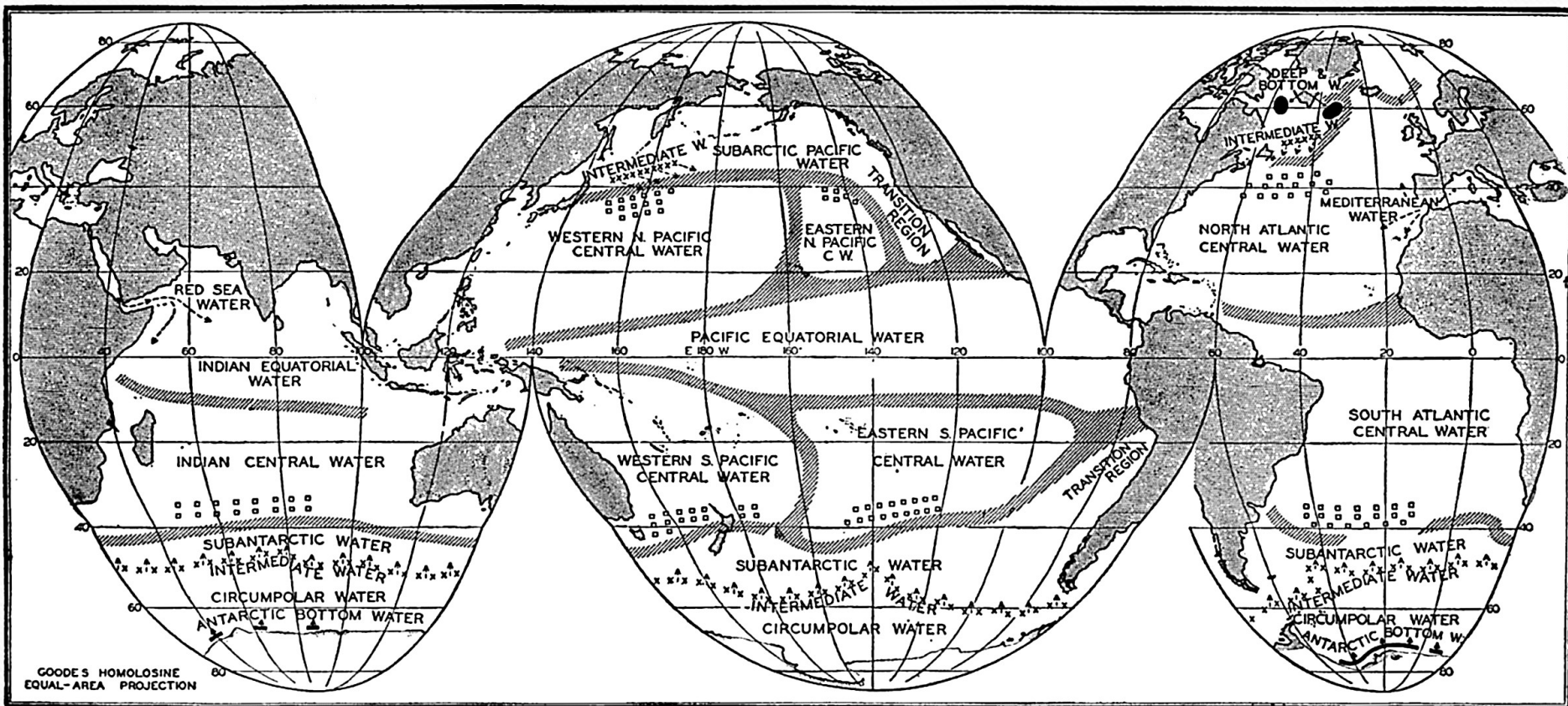
Журбас, К.В. Лебедев, Н.П. Кузьмина

Одним из самых удивительных свойств океанской воды является наличие тесной связи между температурой и соленостью, когда вертикальные профили температуры и солености, измеренные на расстоянии сотен и даже тысяч километров, характеризуются аналогичной зависимостью температуры от солености. Объем океанской воды, демонстрирующий аналогичную зависимость температуры от солености, считается отдельной водной массой. В Мировом океане водные массы различаются в зависимости от их географического положения и происхождения. Водные массы океана активно изучаются с 1930-х годов и, казалось бы, о них известно все. Однако в 1998 году была запущена программа Арго. Буи Арго дрейфуют вместе с океанскими течениями на глубине 1000–2000м, периодически всплывая на поверхность для передачи данных измерений на спутник. К настоящему времени с помощью буев Арго собрано более 2 млн вертикальных профилей температуры и солености, более-менее однородно распределенных по площади океана. Повторное изучение водных масс с использованием огромного массива профилей Арго позволило выделить ранее незамеченную водную массу в главном термоклине Экваториальной Атлантики и тем самым завершить феноменологическую картину основных водных масс Мирового океана.

## Введение: некоторые сведения о водных массах из классической монографии Sverdrup et al. (1942) *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*

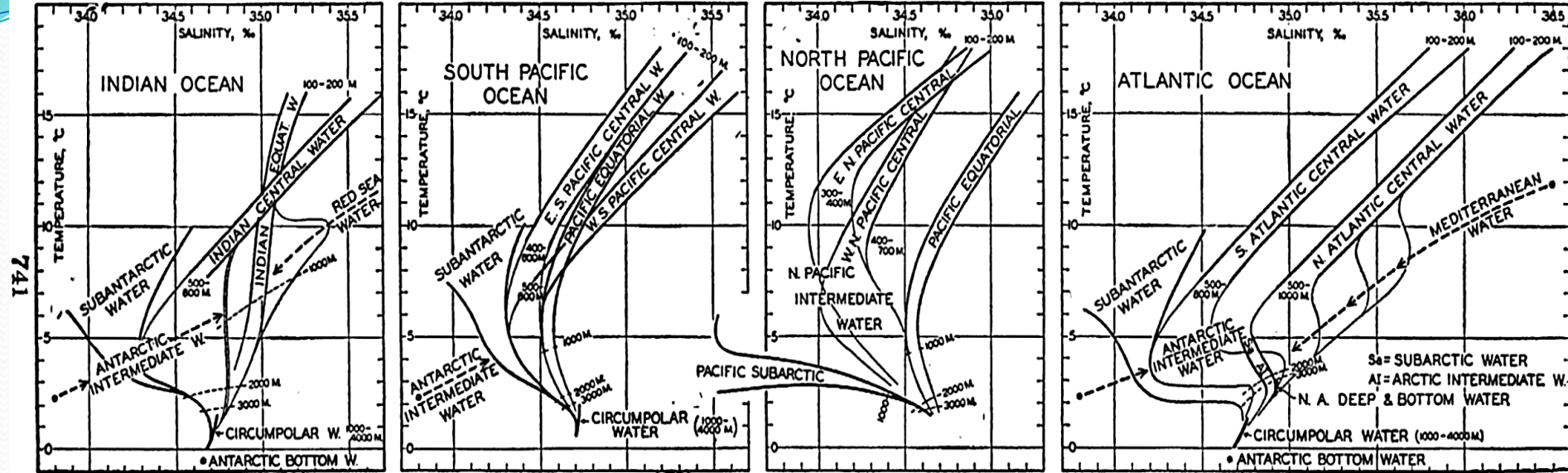
- **Определение** водной массы: объем воды, имеющий общую историю формирования в определенном районе океана и физико-химические свойства, отличные от свойств окружающей воды (Helland-Hansen, 1916; Sverdrup et al., 1942);
- Свойства включают в себя не только традиционные величины температуры и солёности, но также другие консервативные и неконсервативные трассеры, такие как изотопные отношения, содержание кислорода, силикатов, нитратов, фосфатов и др.;
- Основные водные массы Мирового океана были описаны в монографии Sverdrup et al. (1942). Впоследствии имело место лишь уточнение свойств, ареалов распространения, механизмов формирования, обнаружение региональных водных масс;
- В верхнем деятельном слое океана в низких и средних широтах (т.е. в главном термоклизе) выделяют Центральные и Экваториальные водные массы (на англ. CW and EW); и те, и другие характеризуются убыванием температуры и, как правило, солёности с глубиной;
- ЦВ располагается в главном термоклизе в субтропических антициклонических круговоротах и формируется в конце зимы на поверхности океана в зонах субтропической конвергенции механизмом Экмановской накачки;

**Введение: некоторые сведения о водных массах из классической монографии Sverdrup et al. (1942) *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology***



Приблизительные границы водных масс верхнего слоя по Sverdrup et al. (1942).

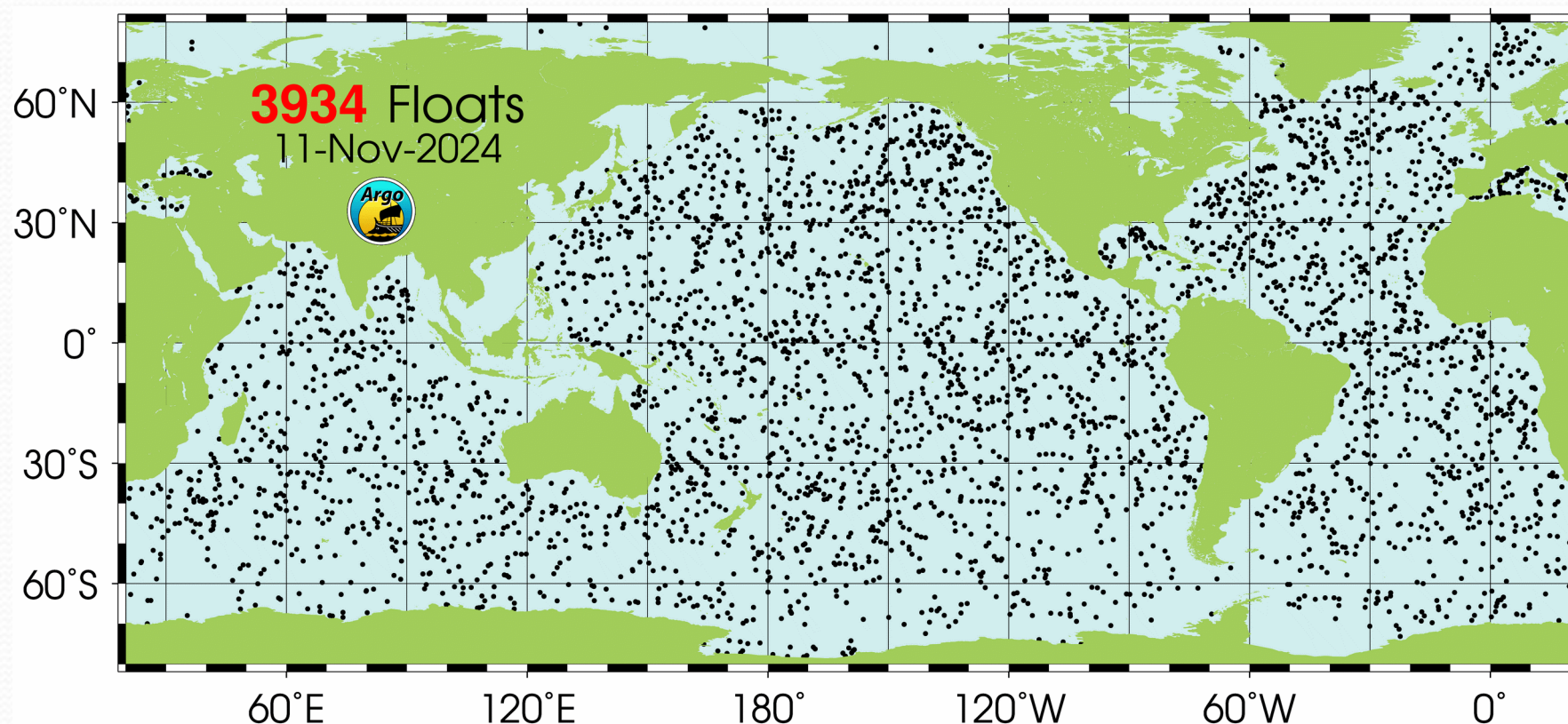
# Введение: некоторые сведения о водных массах из классической монографии Sverdrup et al. (1942) *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*



Зависимости температуры от солёности основных водных масс Мирового океана по Sverdrup et al. (1942).

**Резонный вопрос:** почему ЭВ выделяется в Тихом и Индийском океанах, но отсутствует в Атлантическом океане, если динамика и процессы перемешивания в экваториальной зоне всех трех океанов похожи? (Система зональных течений и противотечений, Экваториальные подповерхностные противотечения Кромвелла, Ломоносова, Тареева, экваториальные волны Россби и Кельвина...). Более того, именно Индийский океан имеет специфику относительно Атлантики и Пацифики, т.к. в нем нет симметрии относительно экватора (северный субтропический круговорот и соответственно северная ЦВ отсутствуют), из-за муссона экваториальное подповерхностное противотечение существует только зимой и весной Северного полушария. Было бы более логично, чтобы ЭВ отсутствовала в Индийском океане...

## Подход: построение объемометрических TS диаграмм по данным Арго



Текущее расположение дрейфтеров Арго – около 4000 штук. Такое количество дрейфтеров Арго в океане поддерживается с 2005 г. Всего собрано более 2 млн TS профилей.

# Подход: построение объемометрических TS диаграмм - термохалинных портретов океанов по данным Арго

- Объемометрическая TS диаграмма (volumetric TS diagram or VTS diagram) представляет собой распределение объема воды (в море, океане, части океана) на TS плоскости: ось x – соленость, ось y – потенциальная температура, ось z – соответствующий объем воды. Идея не нова (Montgomery, 1958; Cochrane, 1958; Pollak, 1958; Worthington, 1981), но мы эту идею применили к огромному, невиданному ранее массиву TS профилей программы Арго (более 2 млн);

- Пошаговая инструкция:

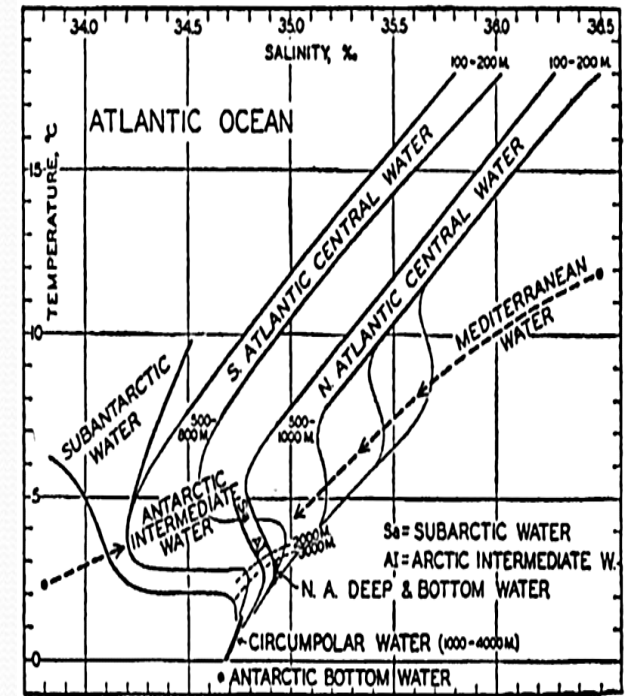
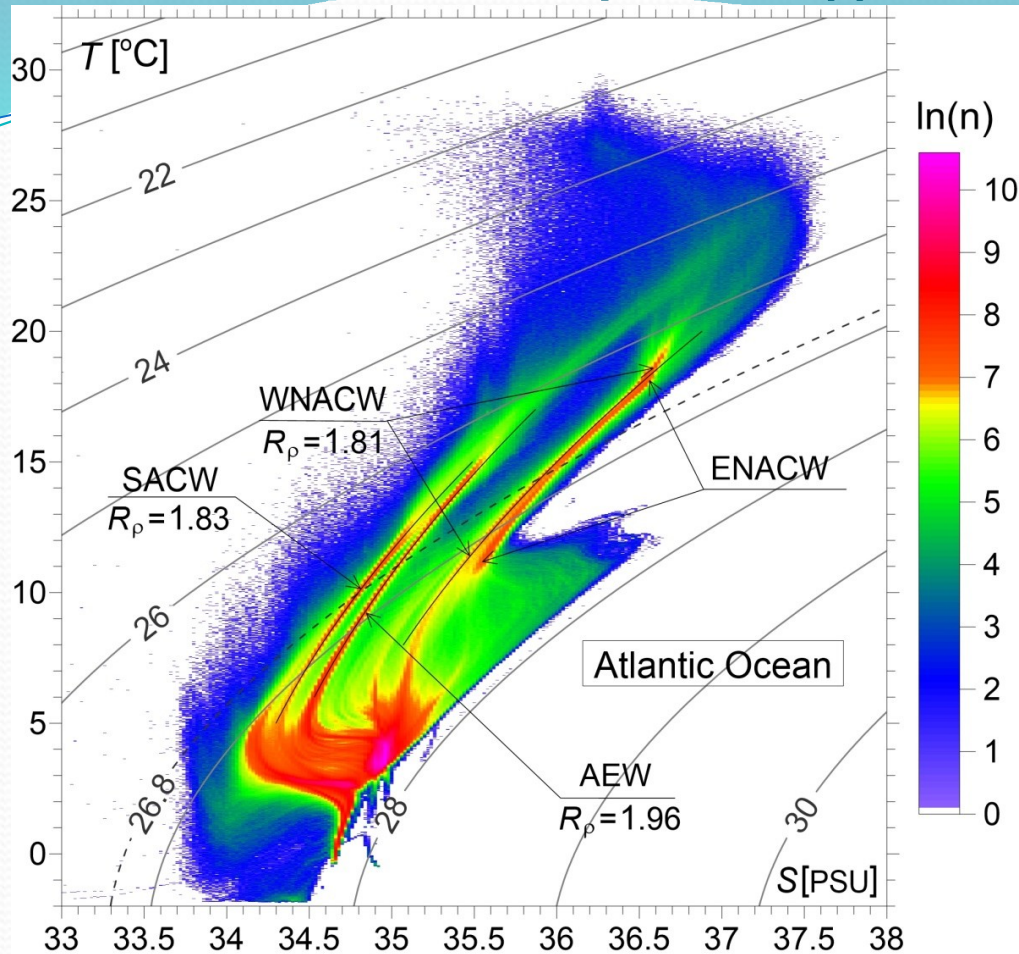
- В квадратах  $1^\circ \times 1^\circ$  равной площади отбираем равное количество TS профилей (реально 20 профилей на квадрат на широте экватора) в слое 0–2000 м с равным шагом по глубине (5 м), равномерно распределенных по площади квадрата. При этом получается, что каждая пара TS значений на отобранных профилях соответствует элементарному объему воды  $60 \times 1852 \times 60 \times 1852 \times 5 / 20 \text{ м}^3 \approx 3 \text{ км}^3$ .

- Считаем количество TS пар,  $n(T,S)$ , попавших в элементарные ячейки размером  $[\delta T, \delta S] = [0.02^\circ\text{C}, 0.02\text{psu}]$  на TS плоскости;

- Строим двумерную зависимость  $\ln(n)$ ,  $n \geq 1$ , от температуры и солености; берется логарифм  $n$ , чтобы на графике можно было увидеть изменчивость объема в широком диапазоне  $1 \leq n \leq 10000$ .

- Были построены и проанализированы VTS диаграммы Атлантического, Индийского и Тихого океанов; результат для Атлантики показался нам наиболее неожиданным и впечатляющим.

# Результаты для Атлантики



Распределение водных масс Атлантики на TS плоскости по Sverdrup et al. (1942).

VTS диаграмма верхнего 2000 м слоя Атлантики по данным Арго:

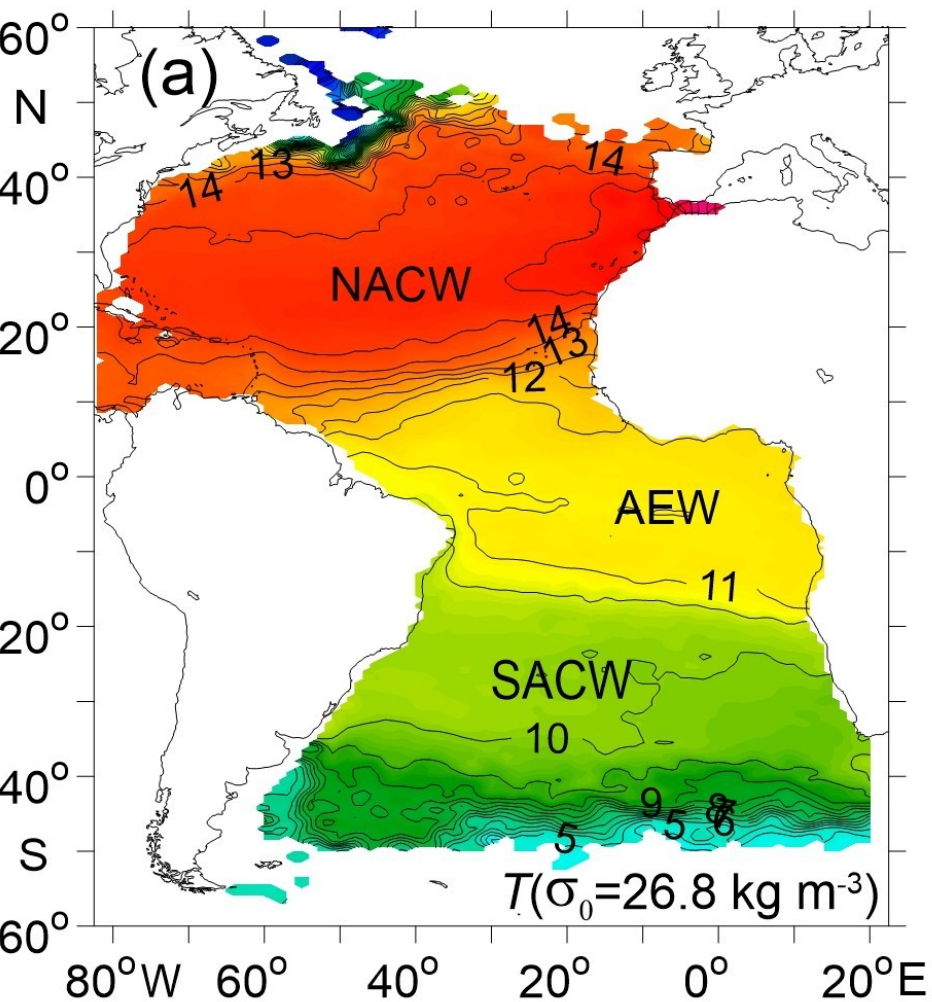
- WNACW — Западная Центральная водная масса северной части Атлантического океана,
- ENACW — Восточная Центральная водная масса северной части Атлантического океана,
- SACW — Центральная водная масса южной части Атлантического океана,
- AEW — Экваториальная водная масса Атлантического океана.

**Там, где по Sverdrup et al. (1942) располагается SACW, на VTS диаграмме по данным Арго четко выделяются две водные массы, обозначенные как SACW и AEW).**

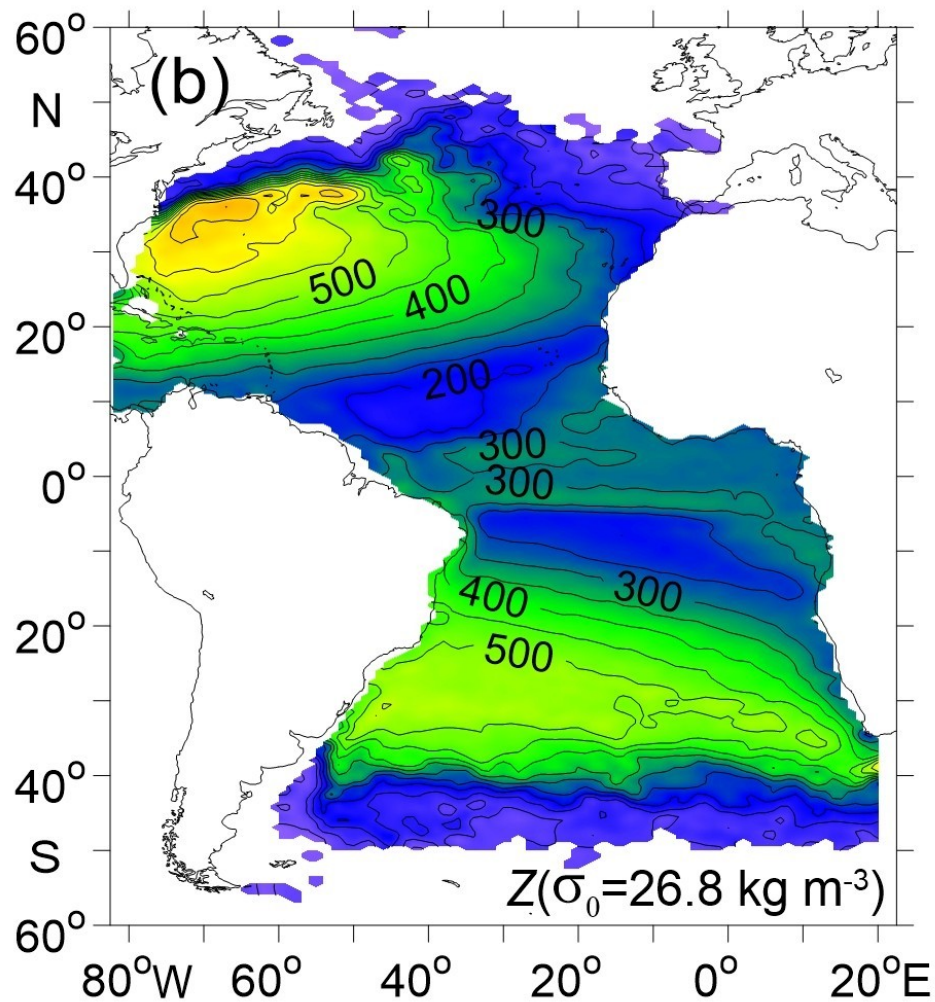


# Результаты: географическое расположение водных масс Атлантического океана

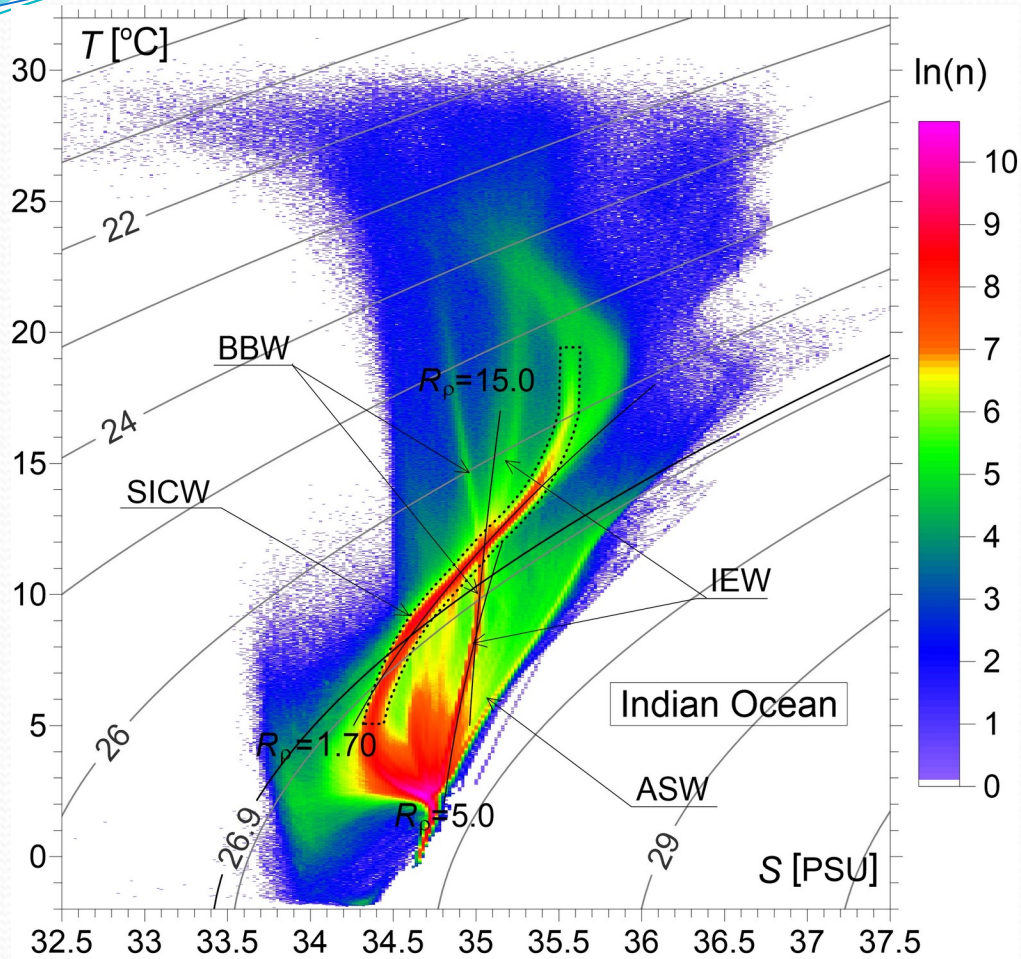
Потенциальная температура на  
изопикнической поверхности 26,8



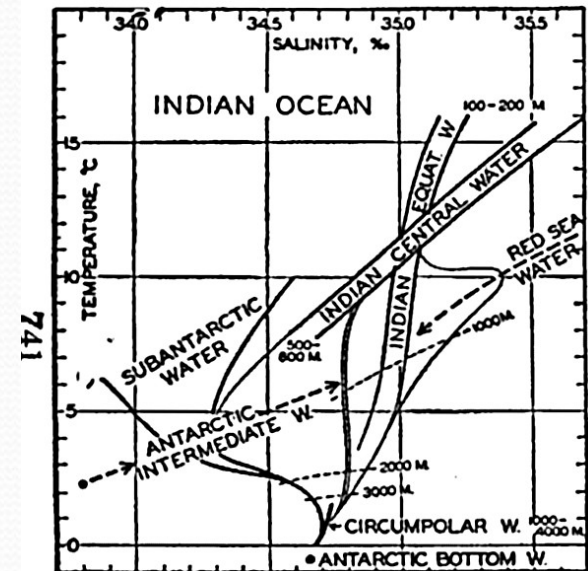
Глубина залегания изопикны 26,8



# Результаты для Индийского океана

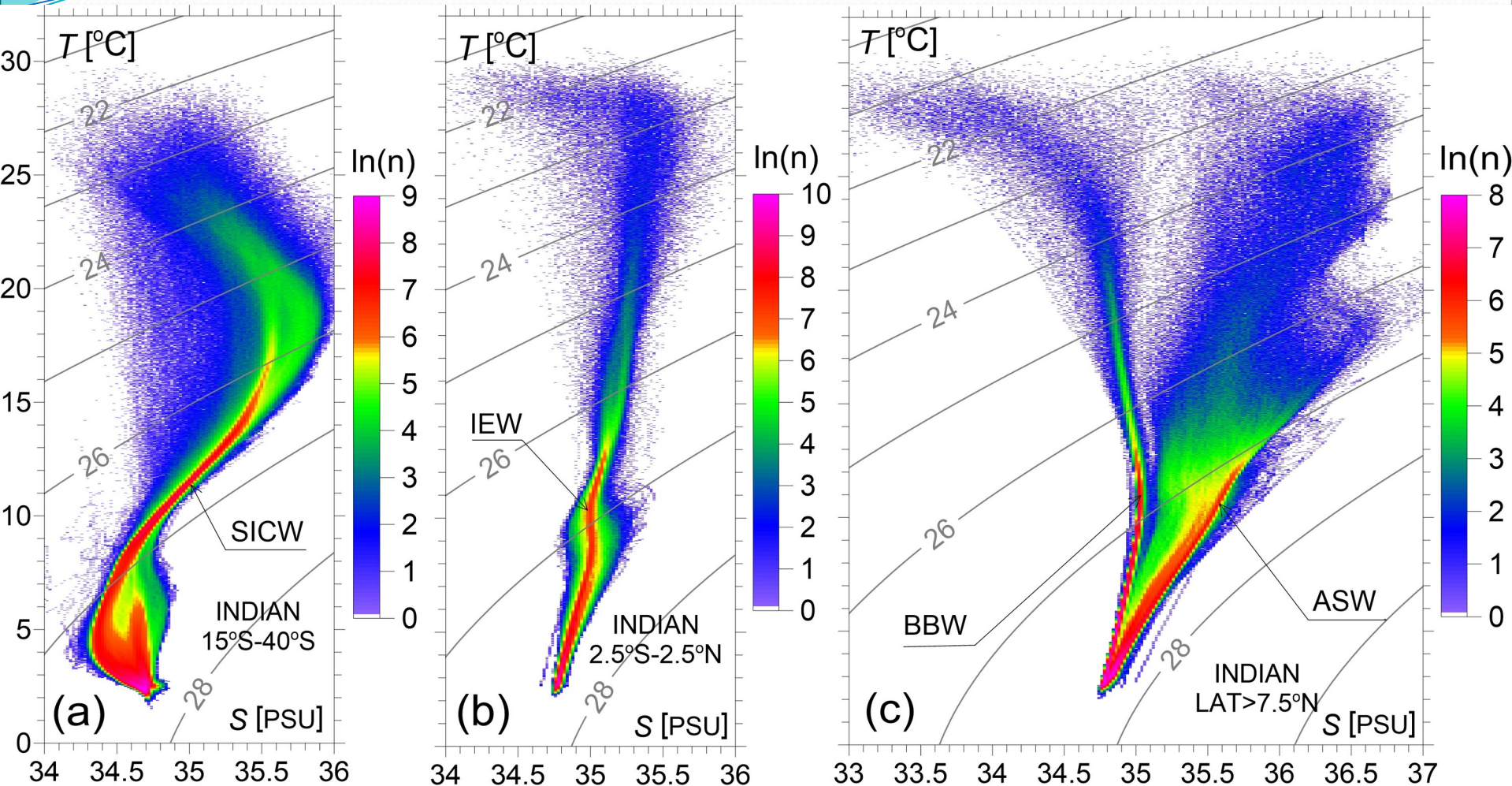


VTS диаграмма верхнего 2000 м слоя Индийского океана по данным Арго.



Распределение водных масс Индийского океана на TS плоскости по Sverdrup at al. (1942).

# Результаты для Индийского океана



SICW — Южная Центральная водная масса,

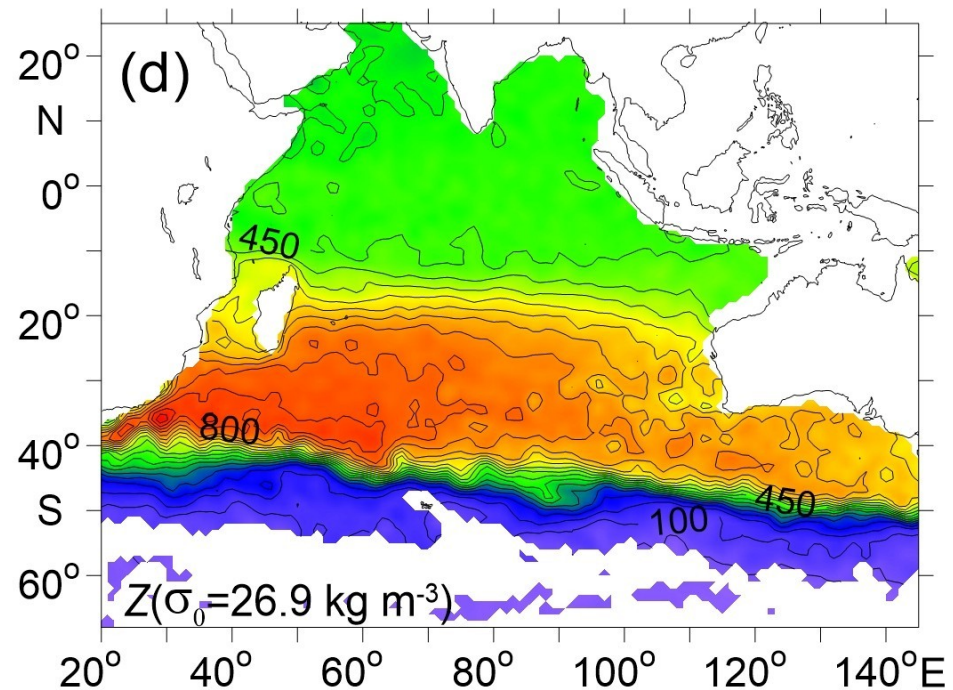
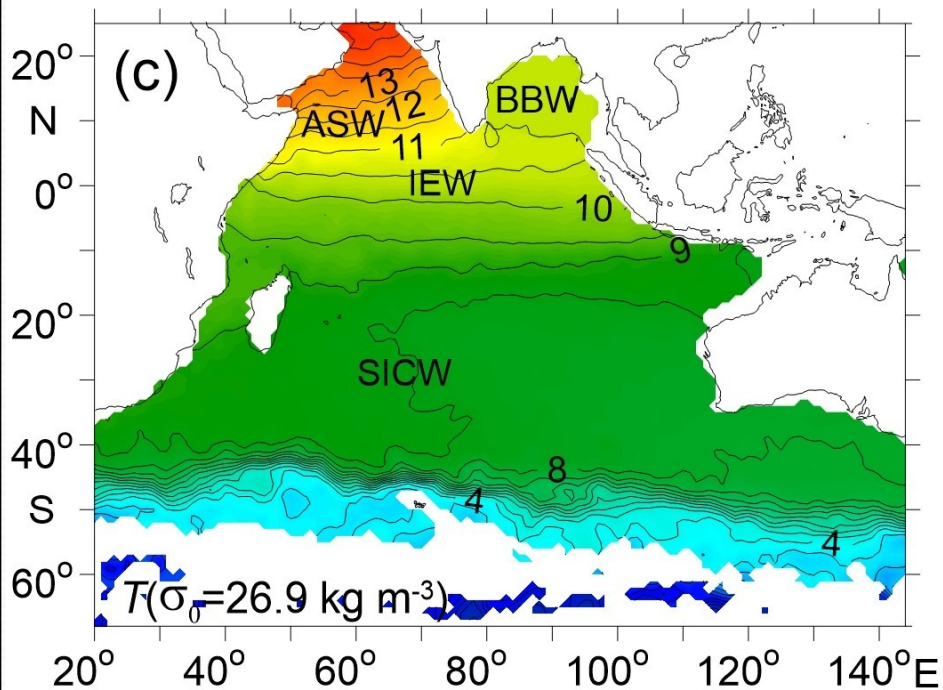
IEW — Экваториальная водная масса

ASW — водная масса Аравийского моря, BBW — водная масса Бенгальского залива.

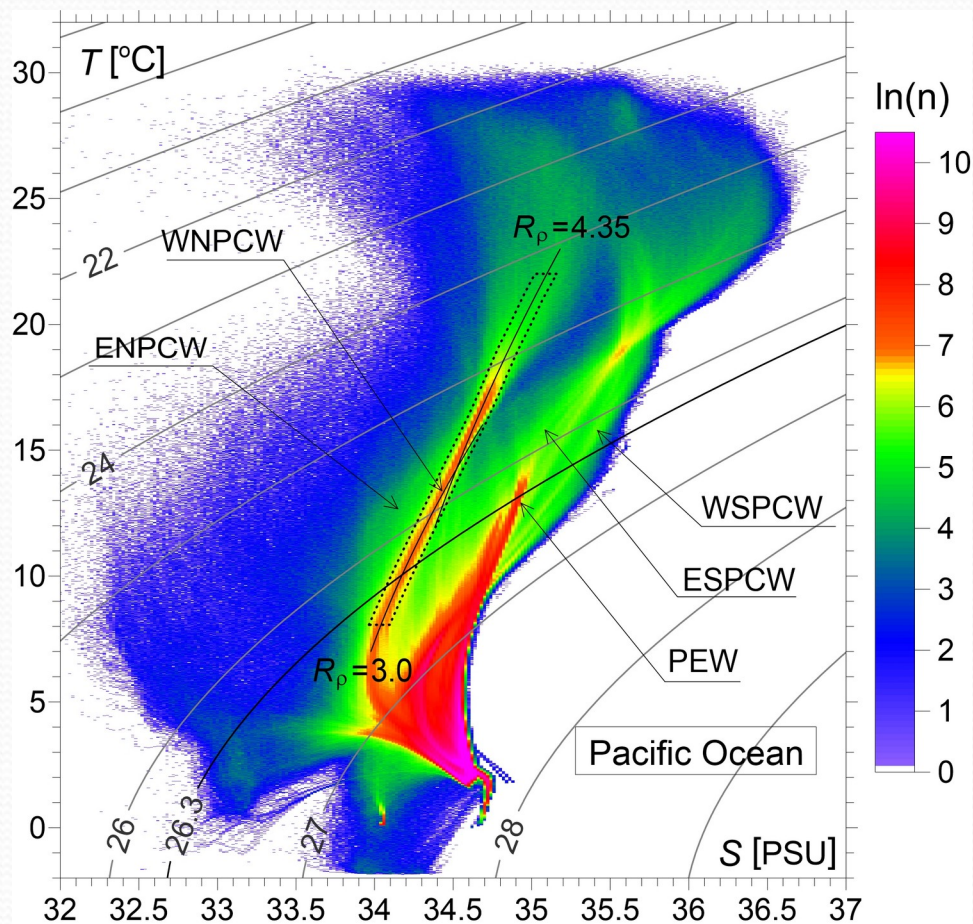
# Результаты: географическое расположение водных масс Индийского океана

Потенциальная температура на  
изопикнической поверхности 26,9

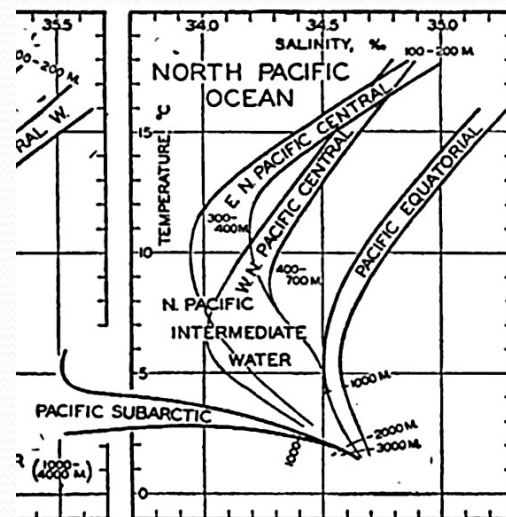
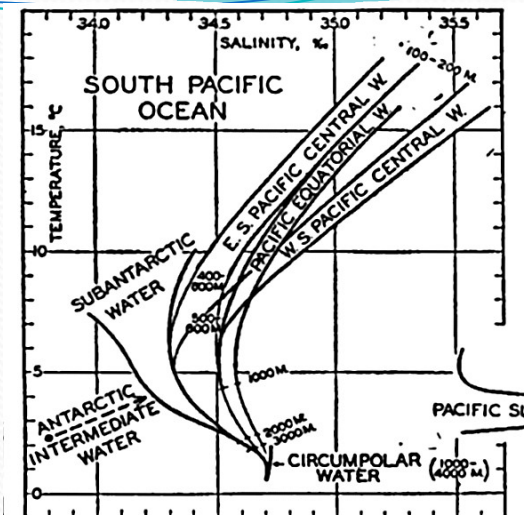
Глубина залегания изопикны 26,9



# Результаты для Тихого океана

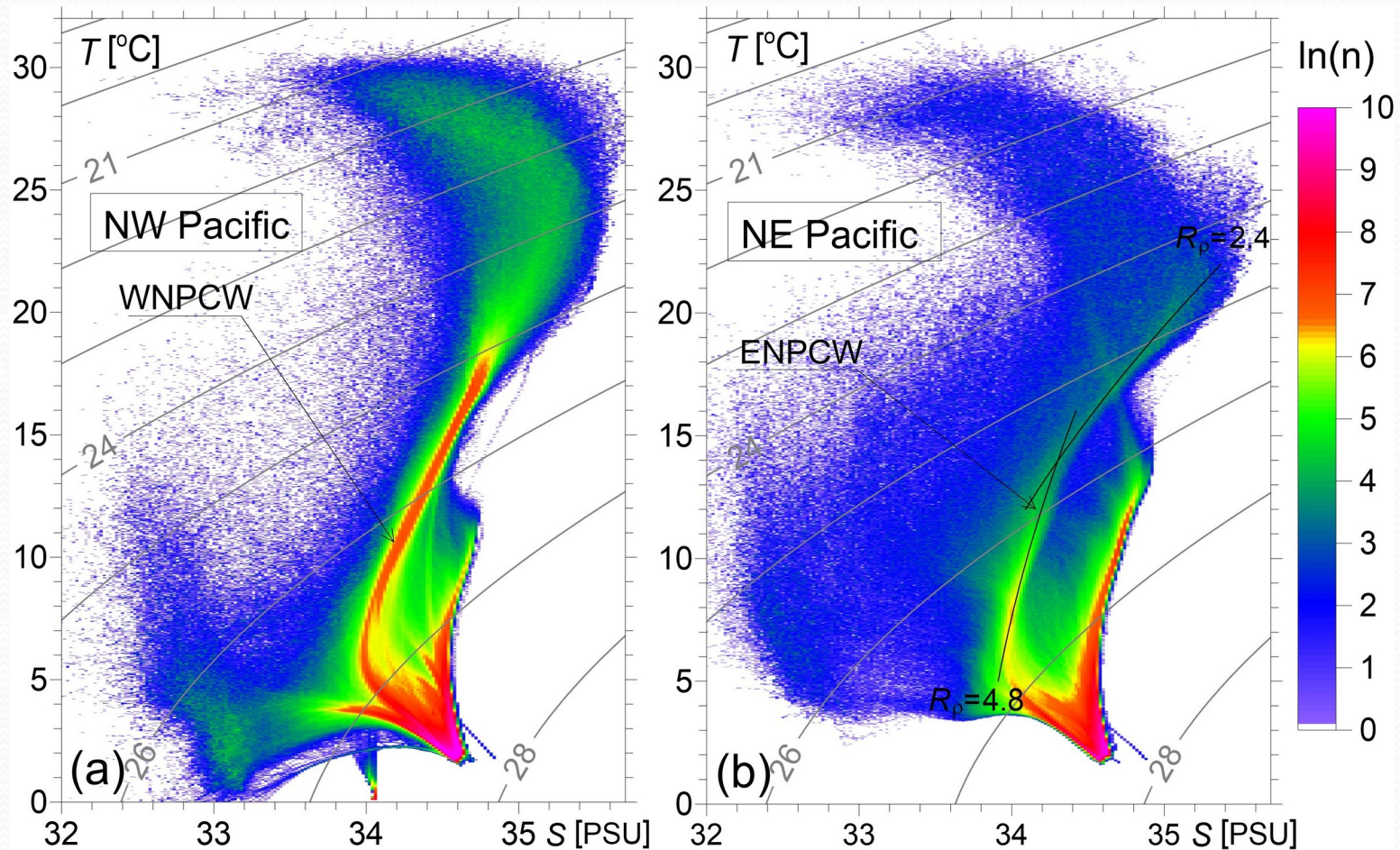


VTSD диаграмма верхнего 2000 м слоя Пацифики по данным Арго.



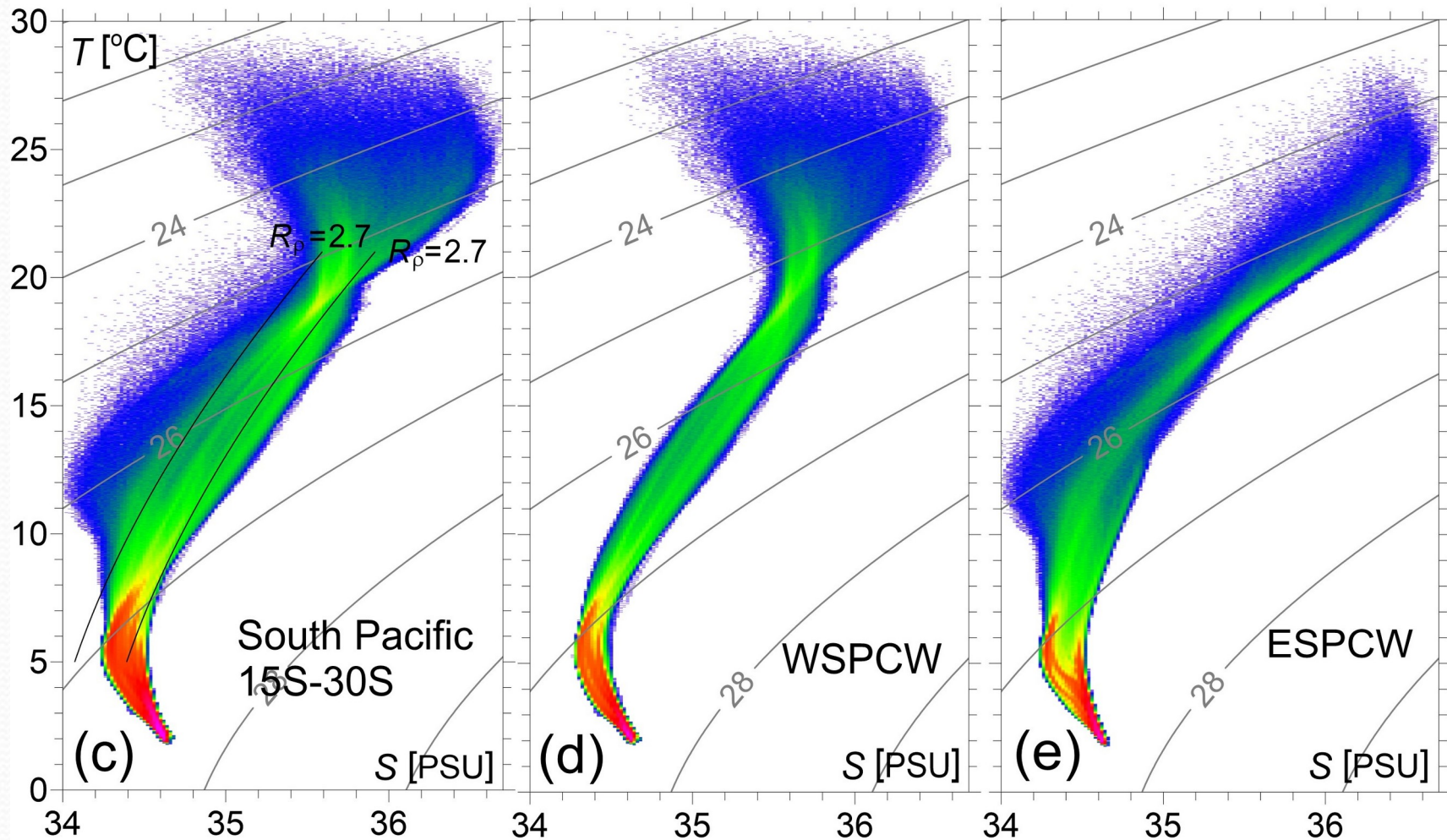
Распределение водных масс Южной (верх) и Северной (низ) Пацифики на TS плоскости по Sverdrup et al. (1942).

# Результаты для Тихого океана



WNPCW — Западная Центральная водная масса северной части Тихого океана,  
ENPCW — Восточная Центральная водная масса северной части Тихого океана,  
PEW — Экваториальная водная масса Тихого океана.

# Результаты для Тихого океана

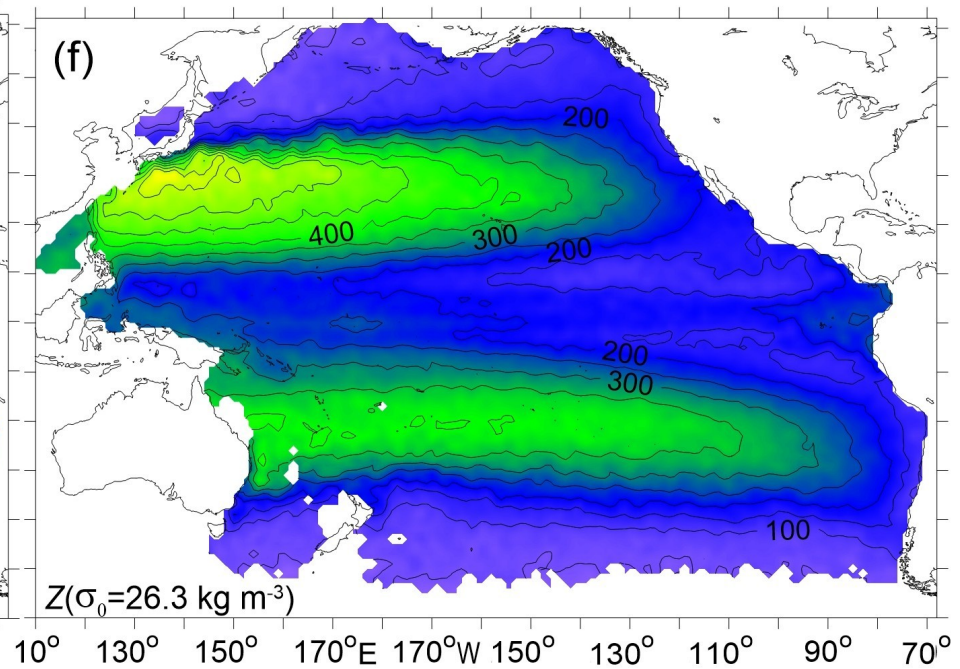
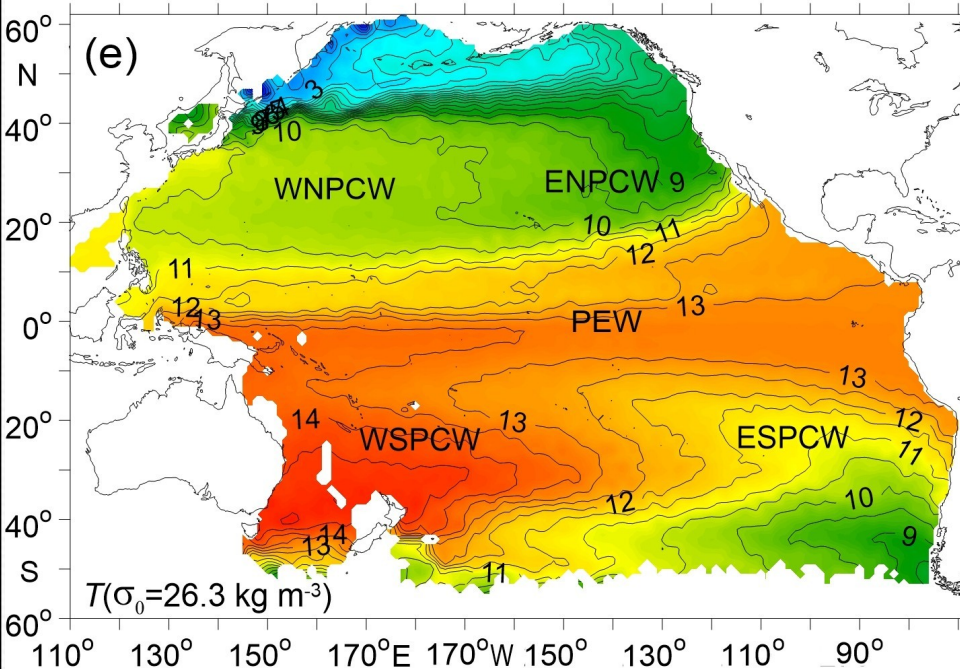


WSPCW — Западная Центральная водная масса южной части Тихого океана,  
ESPCW — Восточная Центральная водная масса южной части Тихого океана.

# Результаты: географическое расположение водных масс Тихого океана

Потенциальная температура на  
изопикнической поверхности 26,3

Глубина залегания изопикны 26,3





# Выводы

С использованием данных измерений Арго были построены детальные объёмометрические диаграммы (VTS диаграммы) Атлантического, Индийского и Тихого океанов

VTS диаграмма Атлантического океана, построенная по данным Арго, показала, что главный термоклин в экваториальной зоне в слое 150–500 м характеризуется уникальной TS зависимостью, четко отличающейся от TS зависимостей в центральных водных массах южной и северной Атлантики, что дало основания идентифицировать новую водную массу – Атлантическую экваториальную воду (AEW);

VTS диаграммы Тихого и Индийского океанов в целом соответствуют классическим представлениям. При этом данные Арго показывают, что TS зависимости для одних водных масс носят очень строгий характер и выглядят в виде тонких «нитей» (SACW, WNACW, ENACW, SICW и WNPCW,) в то время как TS зависимости для других водных масс выглядят излишне размытыми (WSPCW, ESPCW и ENPCW), что является предметом дальнейшего изучения.



Спасибо за внимание!