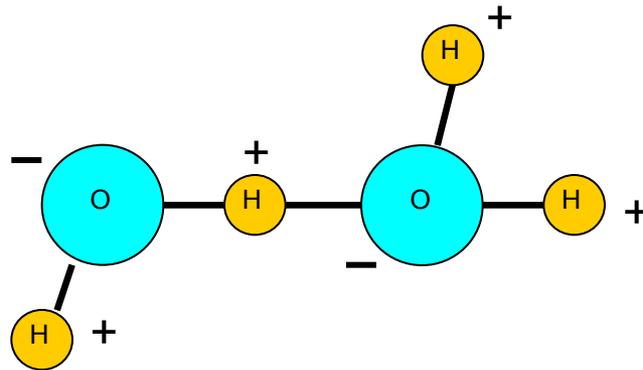


Содержание

1. Свойства воды
2. Плотностная стратификация
3. Годовой термический цикл озер

Введение в физическую лимнологию

1. Свойства воды



Полярный характер молекул



Образование водородных связей

Наиболее прочные водородные связи: три атома лежат на одной прямой



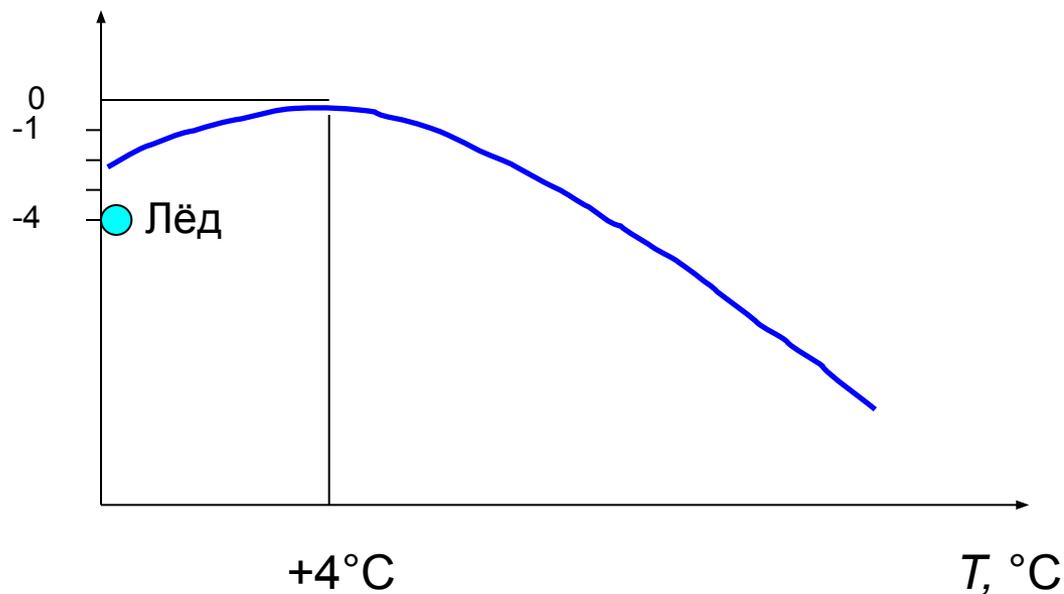
Кристаллическая структура льда: расстояния между молекулами наибольшие

Введение в физическую лимнологию

1. Свойства воды

Аномалия плотности воды

При $T = +4^{\circ}\text{C}$ (точнее 3.98) расстояние между молекулами воды наименьшее
($\rho - 1000$), $\text{кг}/\text{м}^3$

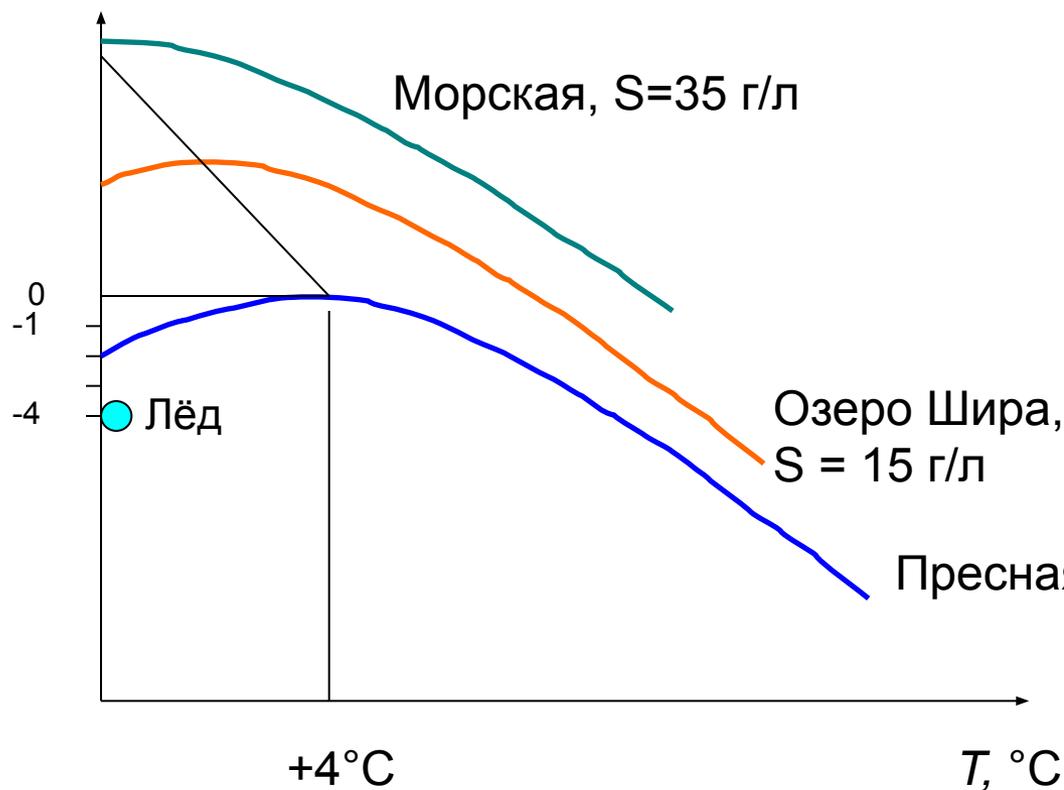


Введение в физическую лимнологию

1. Свойства воды

Плотность воды зависит от солености

$(\rho - 1000)$,
 кг/м^3



С увеличением солености температура максимальной плотности снижается,

у морской воды она отрицательна

Введение в физическую лимнологию

1. Свойства воды

Методы измерения плотности:

1. Ареометр

2. Вибрационный измеритель плотности:

Основан на измерении периода собственных колебаний U-образной трубки, заполненной измеряемой жидкостью при постоянной температуре

Введение в физическую лимнологию

1. Свойства воды

Плотность воды – функция температуры, давления и солёности

Уравнение состояния:

$$\rho = \rho(T, P, S)$$

В большинстве водоемов давление можно не учитывать, поскольку оно мало влияет на плотность (жидкость почти несжимаема):

$$\rho = \rho(T, S)$$

Универсального уравнения состояния не существует, поэтому применяют различные приближенные уравнения, аппроксимируя данные прямых измерений

Измерение солености

Электропроводность (*conductivity*, «кондуктивность») воды является функцией количества растворенных солей, поэтому вместо солености проще приборами измерять электропроводность

Электропроводность K (Сименс/см) зависит от температуры. Поэтому для расчетов солености необходимо корректировать на постоянную температуру, обычно $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (K_{25})



Введение в физическую лимнологию

Кондуктивность, измеренная в озере при температуре *in situ*, пересчитывается в кондуктивность при постоянной температуре 25°C (K_{25}) по формуле (ISO, 1985):

$$K_{25} = K \times (1 + \alpha \times (T - 25))^{-1}$$

где K_{25} – удельная кондуктивность (электропроводность при 25°C) (миллиСименс см⁻¹),

K – электропроводность при температуре *in situ* (миллиСименс см⁻¹),

T – температура в градусах Цельсия,

α – эмпирический коэффициент, для каждого водоема свой.

Для воды оз. Шунет α составило 0.0188, для воды оз. Шира 0.0204.

Соленость (г л⁻¹):

$$S = 0.8286 K_{25} + 0.1937$$

Сибирский Федеральный Университет

Рогозин Д.Ю.

г. Красноярск, 2016

Введение в физическую лимнологию

Уравнение состояния Ши́ра

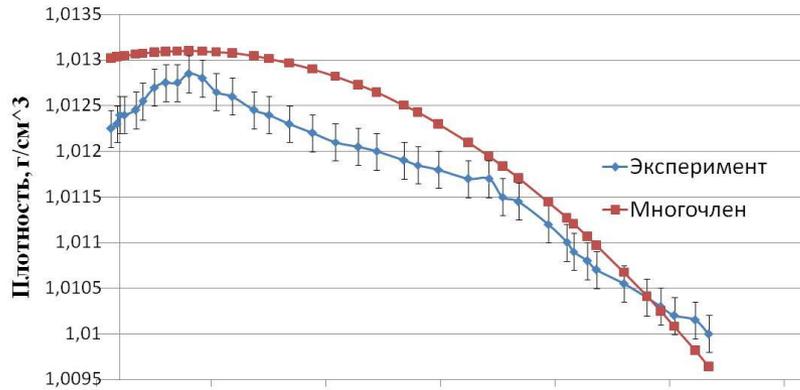
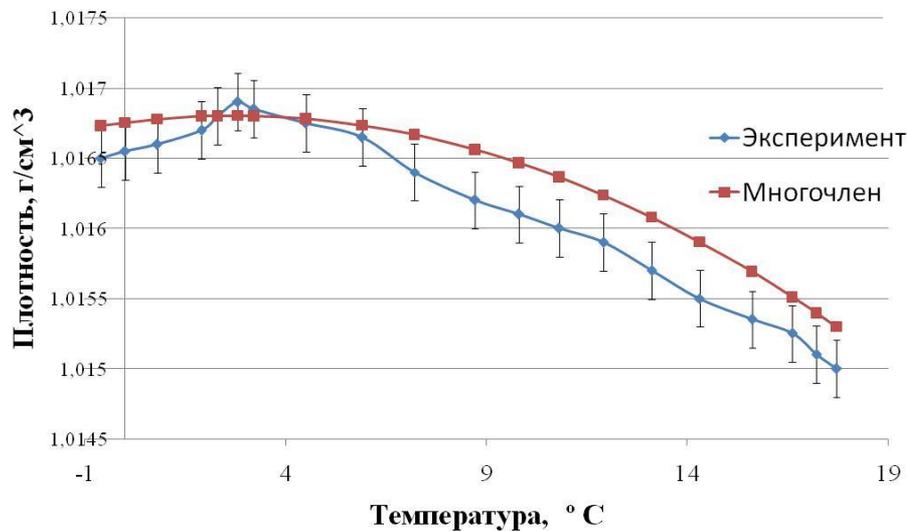


Рис. 1 – Уравнение состояние озера Ши́ра при $K_{25} = 16.74$ мСм/см



Уравнение состояния озера Ши́ра

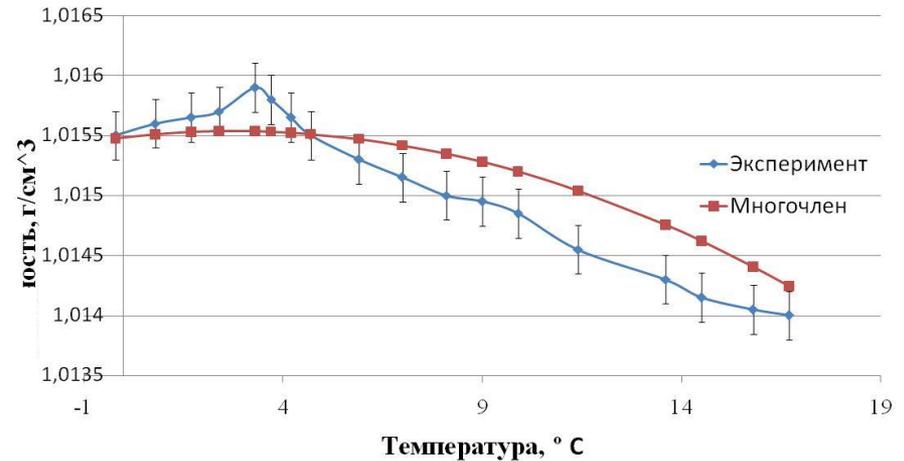


Рис. 2 – Уравнение состояние озера Ши́ра при $K_{25} = 19.38$ мСм /см

Рис. 3 – Уравнение состояние озера Ши́ра при $K_{25} = 20.6$ мСм /см

Введение в физическую лимнологию

Уравнение состояния озера Шира

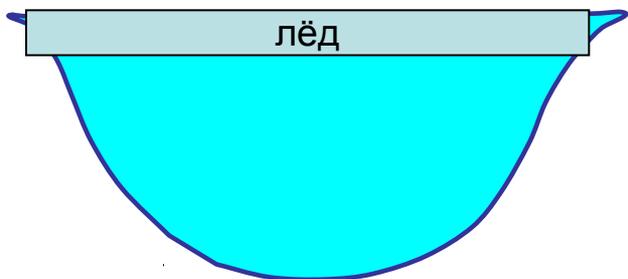
$$\rho = 1.0034 + 5.5 \cdot 10^{-5} \cdot T - 6.3 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 4.7 \cdot 10^{-6} \cdot K_{25}^2 - 0.9 \cdot 10^{-7} \cdot K_{25} - \frac{2}{K_{25}} \cdot 9.2 \cdot 10^{-3} + 0.8 \cdot 10^{-8} \cdot K_{25}^3$$

Введение в физическую лимнологию

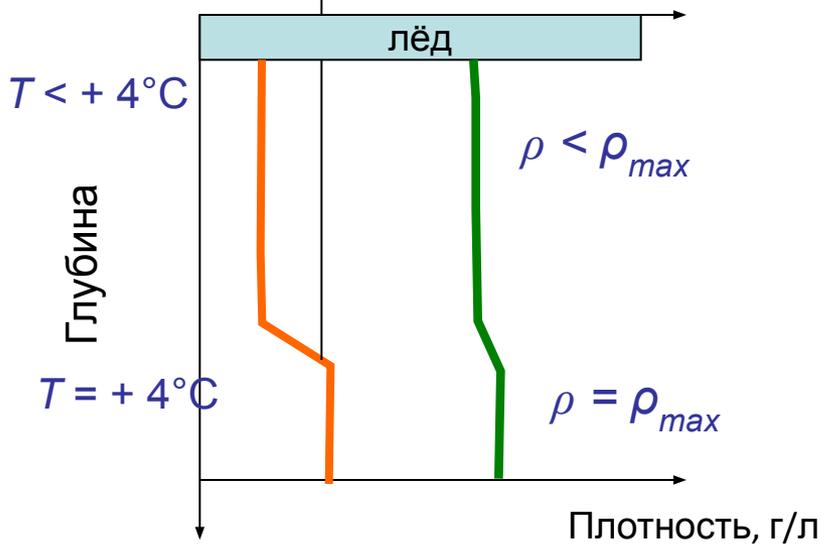
Годовой термический цикл в глубоких озерах умеренной зоны



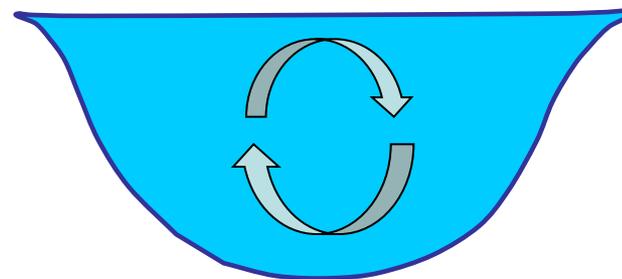
1. Зимняя стратификация (обратная)



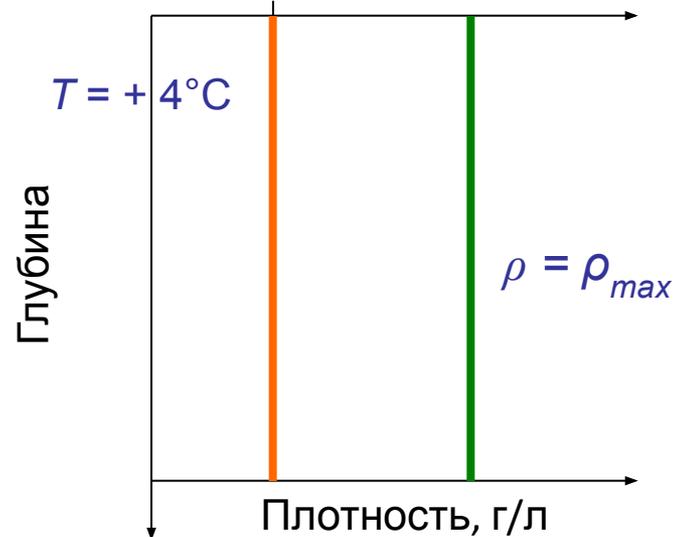
+ 4°C Температура



2. Весенняя циркуляция



+ 4°C



Введение в физическую лимнологию

Годовой термический цикл в глубоких озерах умеренной зоны

1. Летняя стратификация

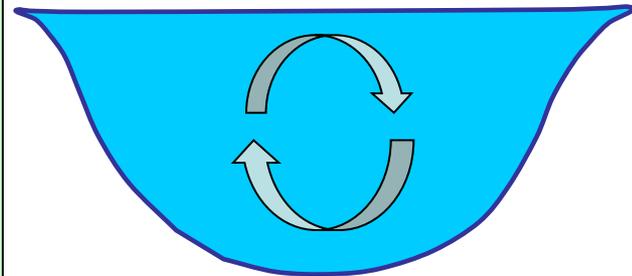
Ветер



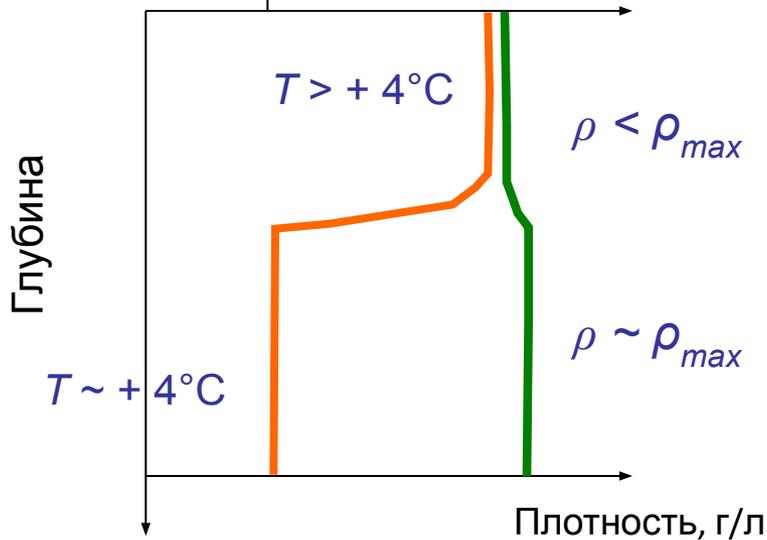
$$z_{\text{эпи}} = 4.6A^{0.205},$$

где A – площадь поверхности (Patalas, 1984)

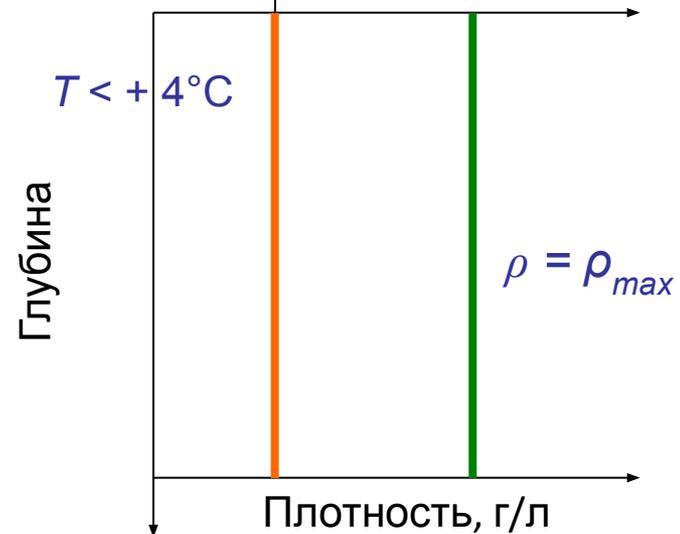
2. Осенняя циркуляция



+ 4°C Температура

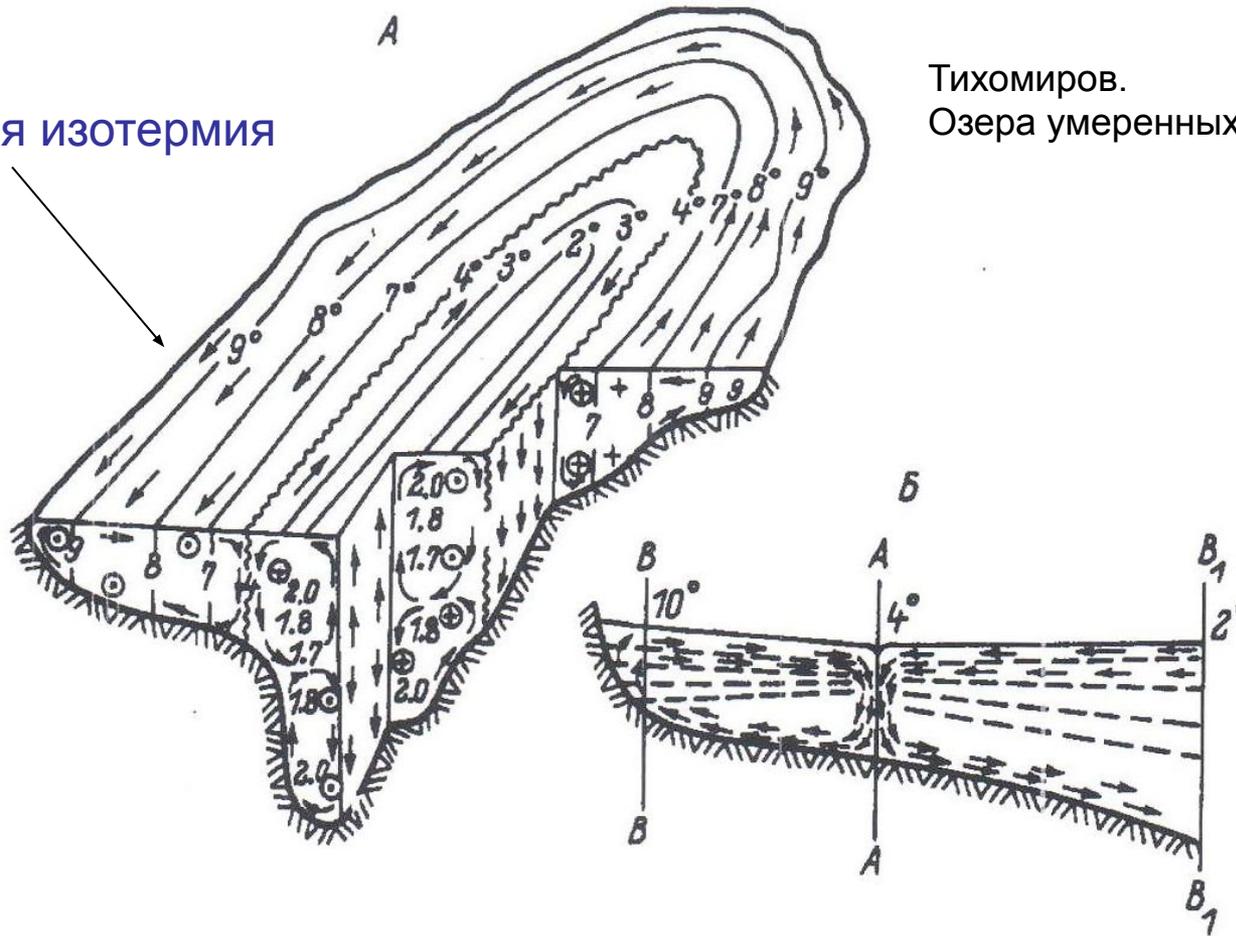


+ 4°C



Введение в физическую лимнологию

Вертикальная изотермия

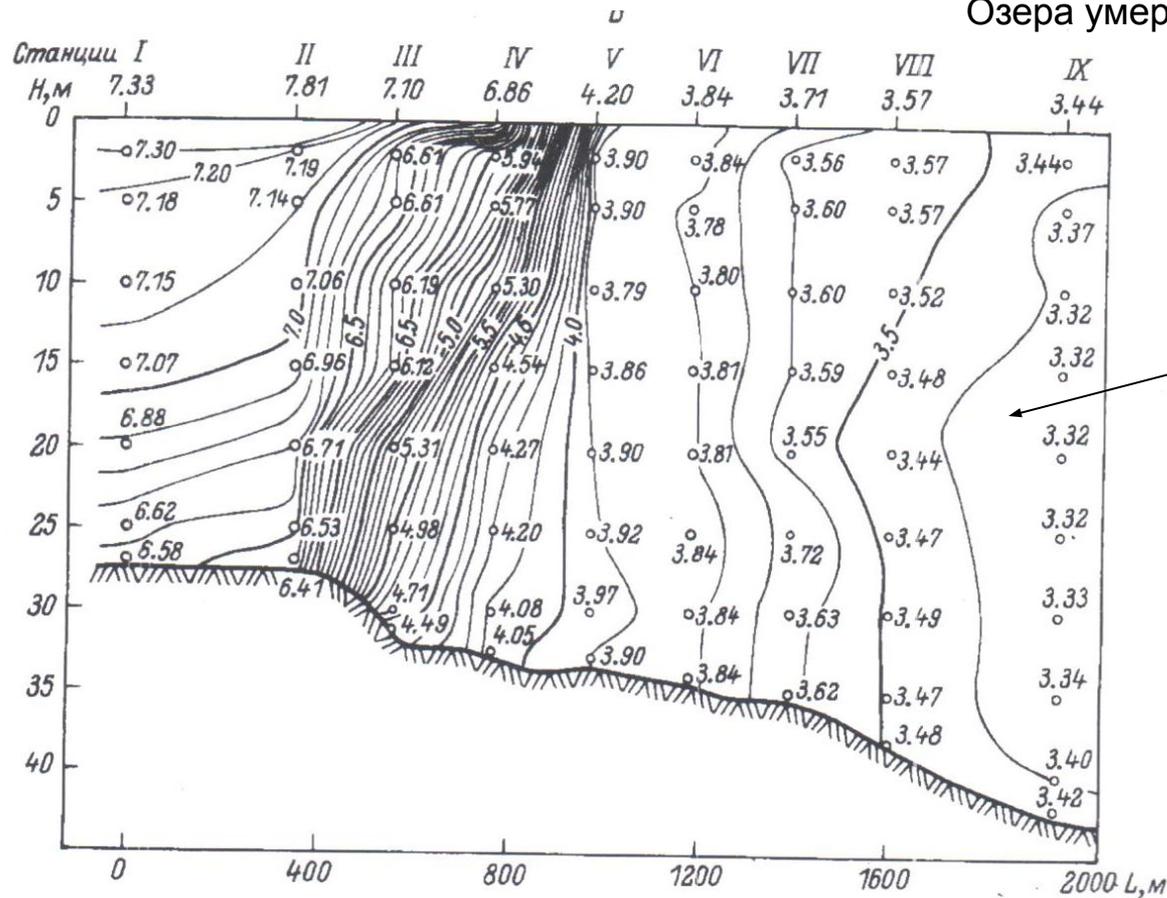


Тихомиров.
Озера умеренных широт, 1985

Термобар – вертикальная толща воды наибольшей плотности, существующий за счет смешения вод.

Введение в физическую лимнологию

Тихомиров.
Озера умеренных широт, 1985



Вертикальная
изотермия

Термобар – вертикальная толща воды наибольшей плотности, существующая за счет смешения вод.

Введение в физическую лимнологию

Годовой термический цикл в глубоких пресных озерах умеренной зоны:

1. Гидрологическая весна

Начало:

Когда среднесуточный тепловой баланс становится устойчиво положительным (*как правило, еще подо льдом!*)

1-я фаза весеннего нагревания приводит к установлению вертикальной изотермии с горизонтальной термической неоднородностью и длится до возникновения термобара

2-я фаза весеннего нагревания длится до исчезновения термобара, когда вся вода в озере превысит температуру наибольшей плотности (= весенняя гомотермия)

Введение в физическую лимнологию

Годовой термический цикл в глубоких пресных озерах умеренной зоны:

1. Гидрологическое лето

Появление горизонтальной изотермии с устойчивой вертикальной неоднородностью (=летней температурной стратификации)

Введение в физическую лимнологию

Годовой термический цикл в глубоких пресных озерах умеренной зоны:

1. Гидрологическая осень

Начало:

Когда среднесуточный тепловой баланс становится устойчиво отрицательным

1-я фаза осеннего остывания приводит к установлению вертикальной изотермии с горизонтальной термической неоднородностью и длится до возникновения термобара

2-я фаза осеннего остывания длится до исчезновения термобара, когда вся вода переходит через температуру наибольшей плотности (= осенняя гомотермия)

Введение в физическую лимнологию

Годовой термический цикл в глубоких пресных озерах умеренной зоны:

1. Гидрологическая зима

Появление горизонтальной изотермии с устойчивой вертикальной неоднородностью (=обратной температурной стратификации)