

Параметры устойчивости водной толщи небольшого полимиктического озера в разные по погодным условиям годы

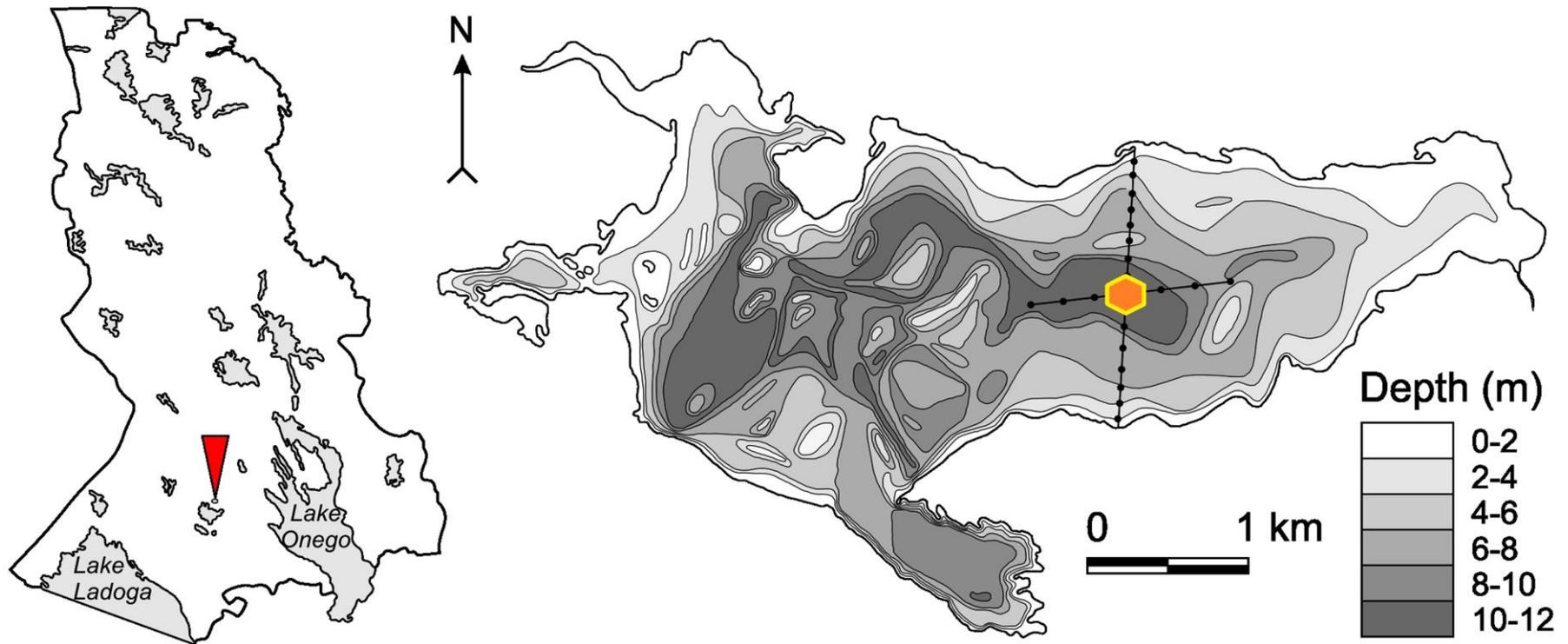
*Смирнов С.И.¹, Богданов С.Р.¹, Здоровеннов Р.Э.¹, Пальшин Н.И.¹,
Ефремова Т.В.¹, Тержевик А.Ю.¹, Здоровеннова Г.Э.¹,
Смирновский А.А.^{1,2}*

¹ Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
Петрозаводск

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург

7 сентября 2023 г.

Введение



Цель работы – выявление закономерностей сезонной и межгодовой изменчивости устойчивости водной толщи озера Вендюрское в период открытой воды в разные по погодным условиям годы по данным длительных измерений на автономной станции.

Методы расчета

Для оценки устойчивости водной массы озера с помощью программы LakeAnalyzer 2.0 был проведен расчет трех параметров – устойчивости Шмидта, озерного числа и числа Веддерберна.

1) Устойчивость Шмидта

$$St = \frac{g}{A_s} \int_0^{z_D} (z - z_v) \rho_z A_z dz$$

2) Озерное число или Lake Number

$$L_N = \frac{St(z_e + z_h)}{2\rho_h u_*^2 A_s^{0.5} z_v}$$

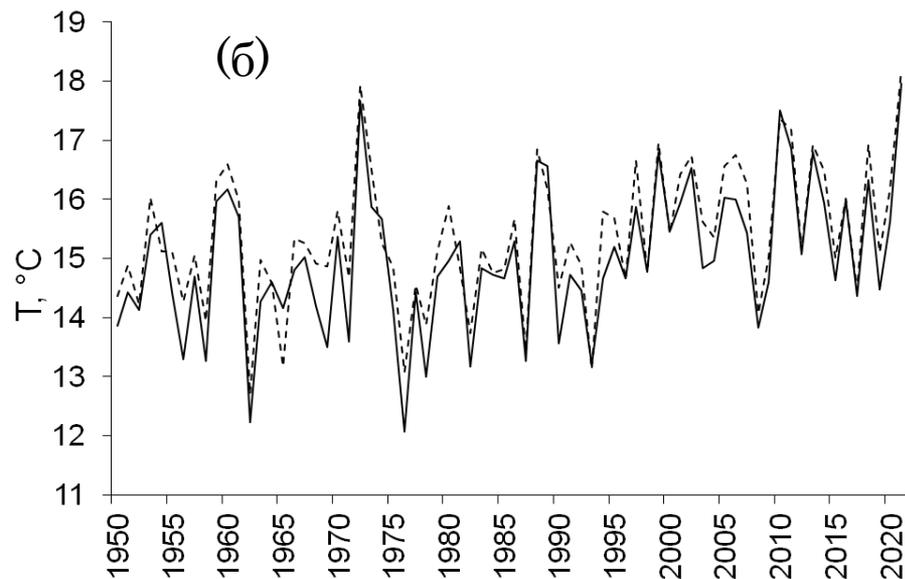
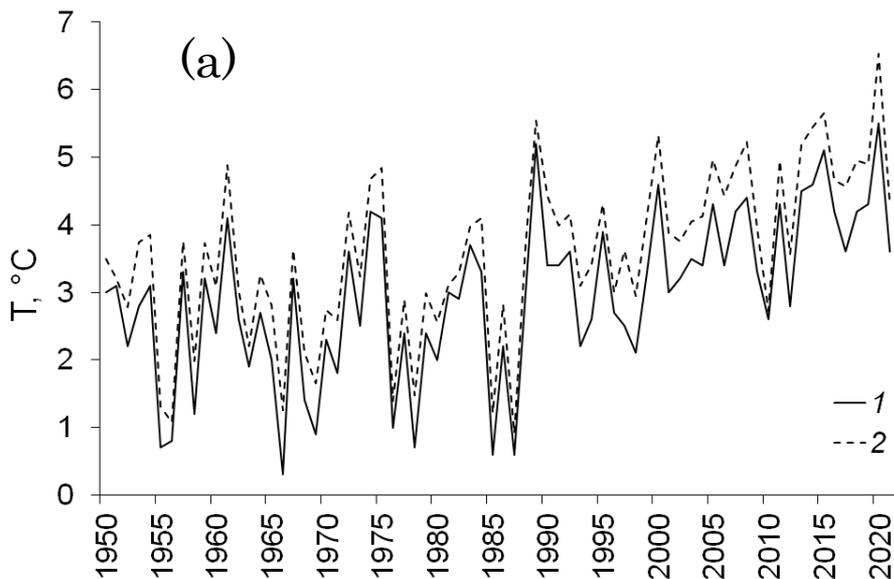
3) Число Веддерберна

$$W = \frac{g' z_e^2}{u_*^2 L_s}$$

В качестве критерия стратификации использовали достижение разницы температуры в 1 и 2 °С между верхним и нижним датчиками термокосы по осредненным посуточно исходным данным.

Климатическое изменение температуры воздуха южной Карелии в 1950-2022 гг.

(а) – Среднегодовая температура воздуха,
(б) – Средняя летняя (июнь-август) температура воздуха.
Данные МС Петрозаводск – 1, МС Сортавала – 2.



Скорость увеличения температуры воздуха по МС Петрозаводск
в 1976-2022 гг.:

Зима $0.89^\circ\text{C}/10$ лет

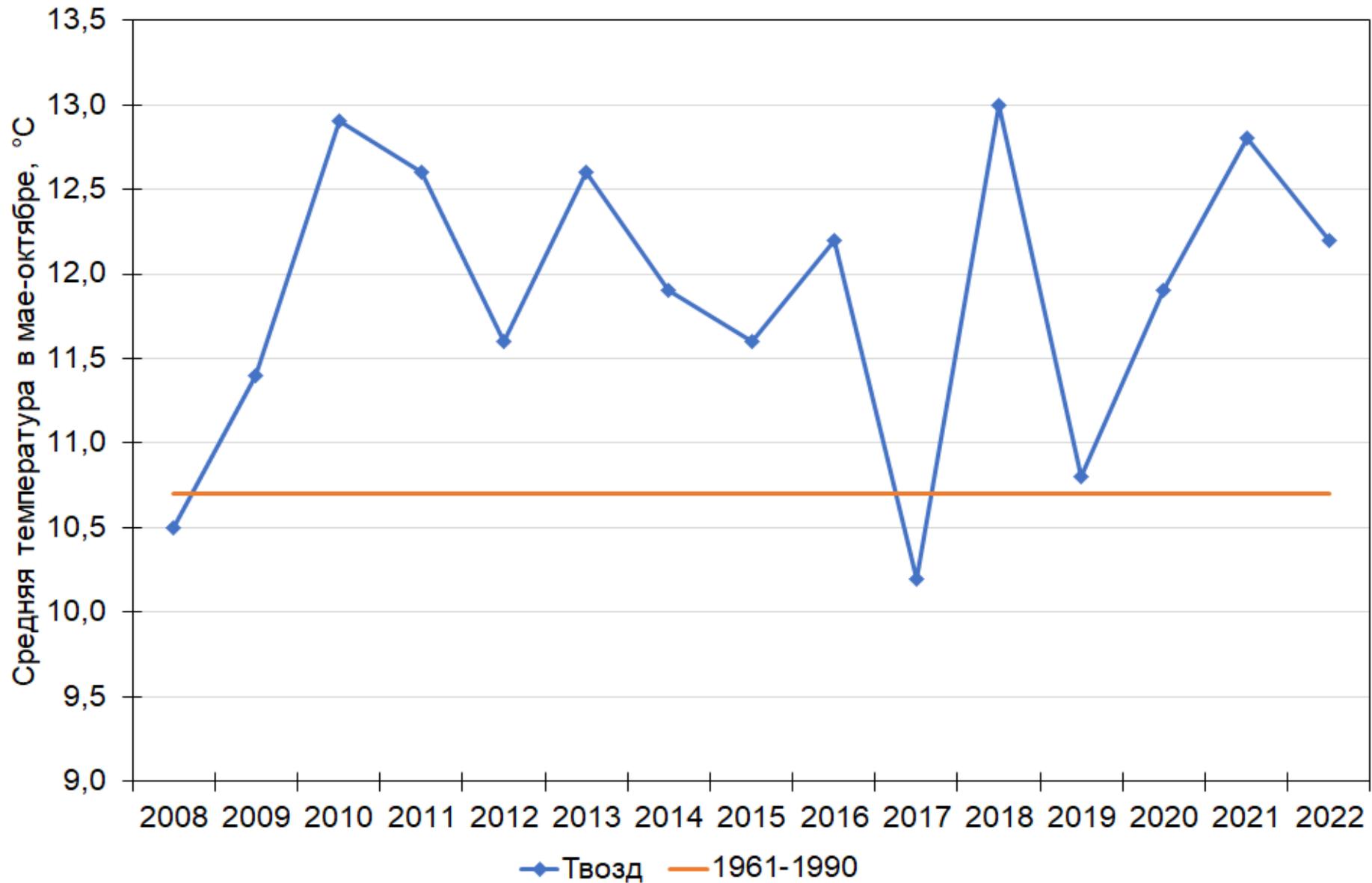
Весна $0.34^\circ\text{C}/10$ лет

Лето $0.49^\circ\text{C}/10$ лет

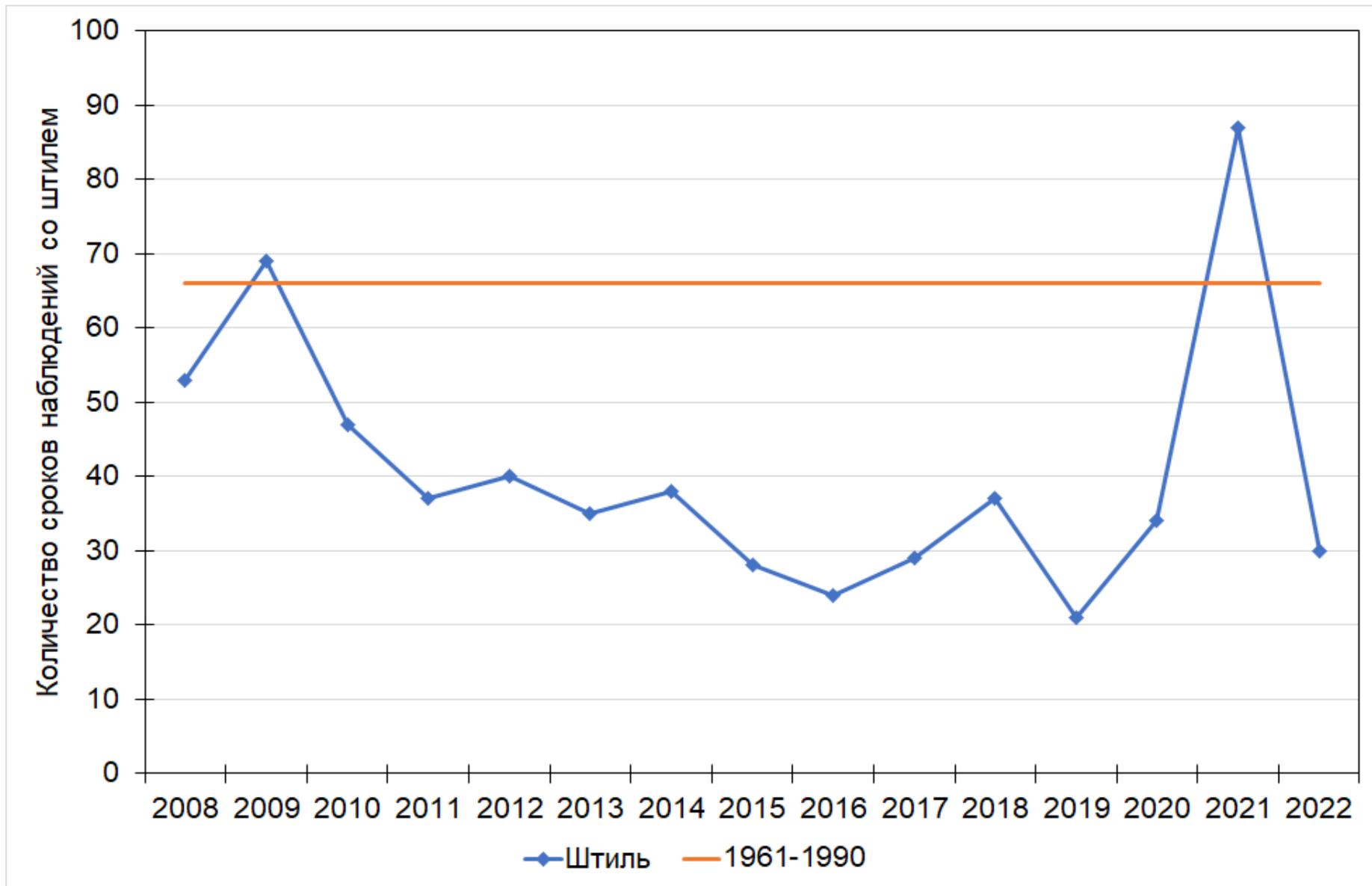
Осень $0.47^\circ\text{C}/10$ лет

Год $0.56^\circ\text{C}/10$ лет

Средняя температура воздуха в мае-октябре



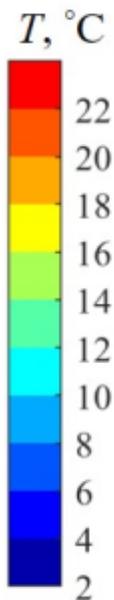
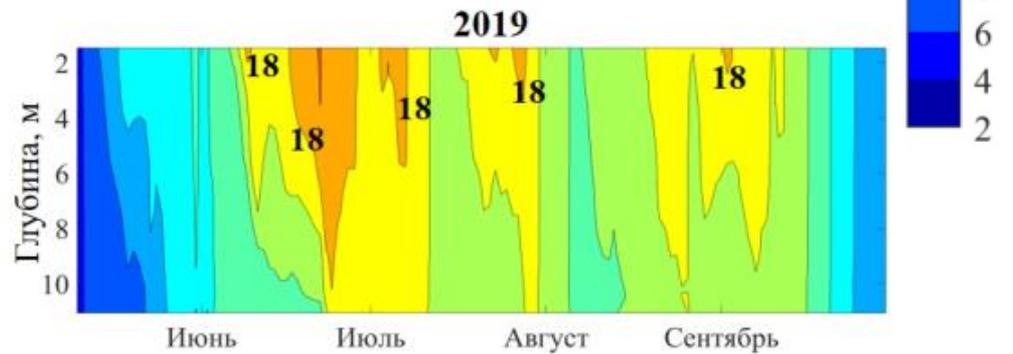
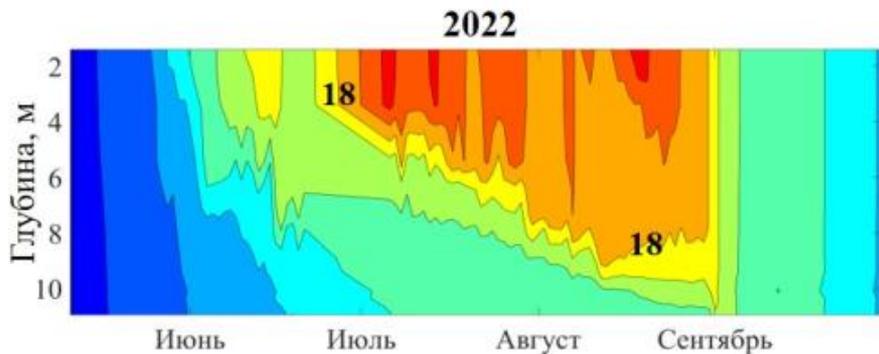
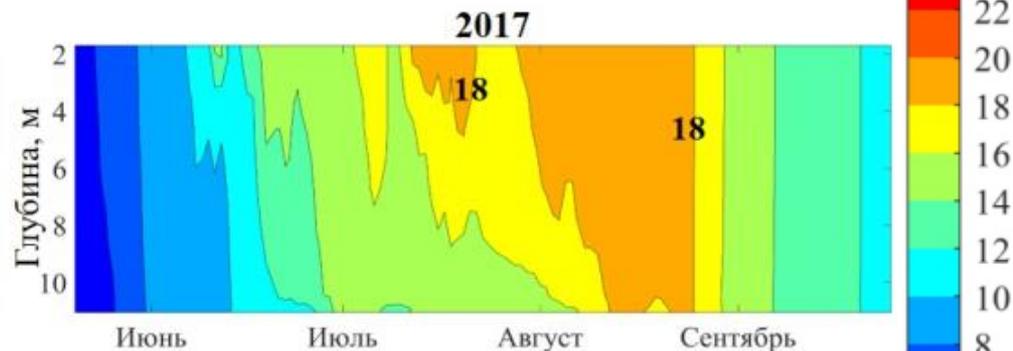
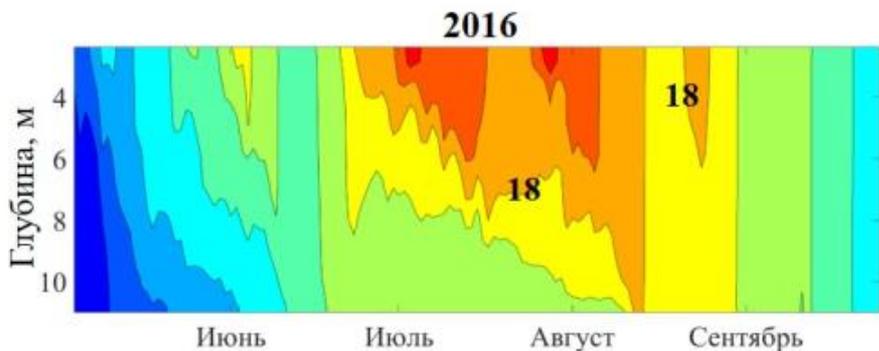
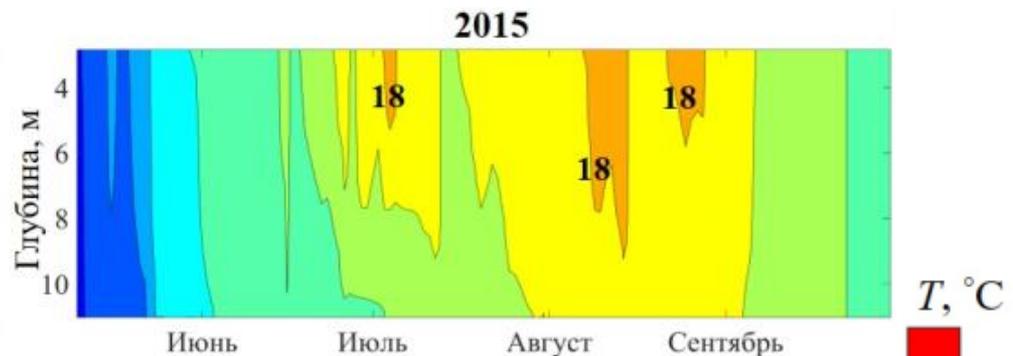
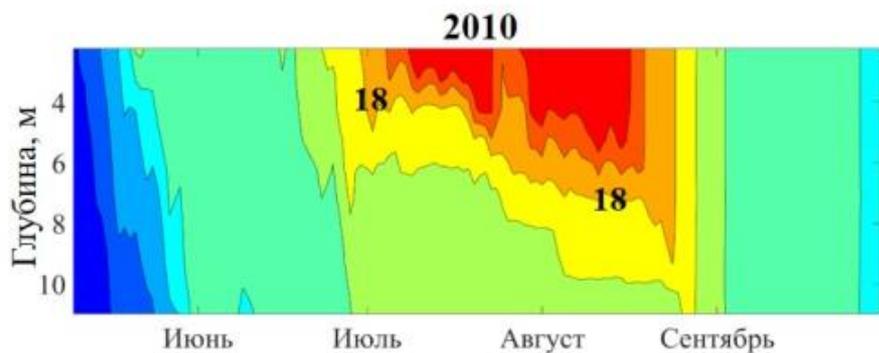
Количество сроков наблюдений со штилем в мае-октябре



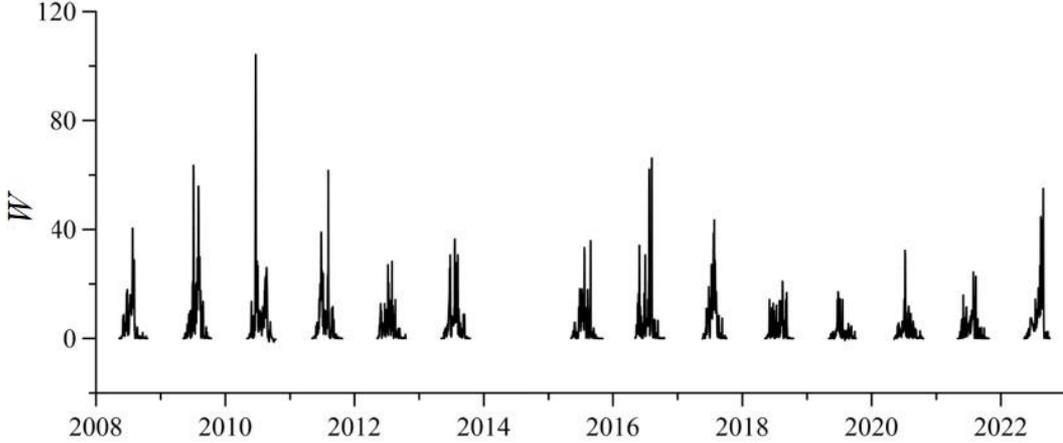
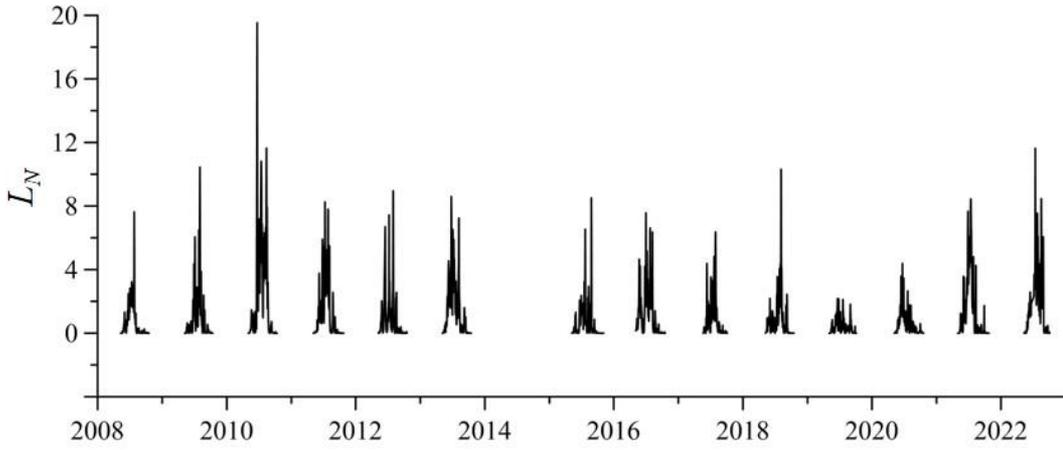
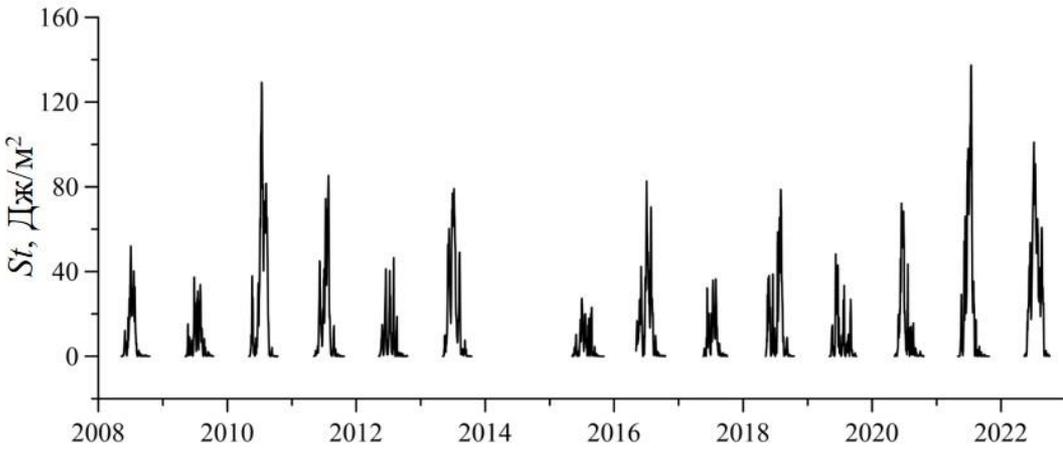
Температура воды озера Вендюрского с мая по октябрь в разные по погодным условиям годы

Жаркие летние месяцы

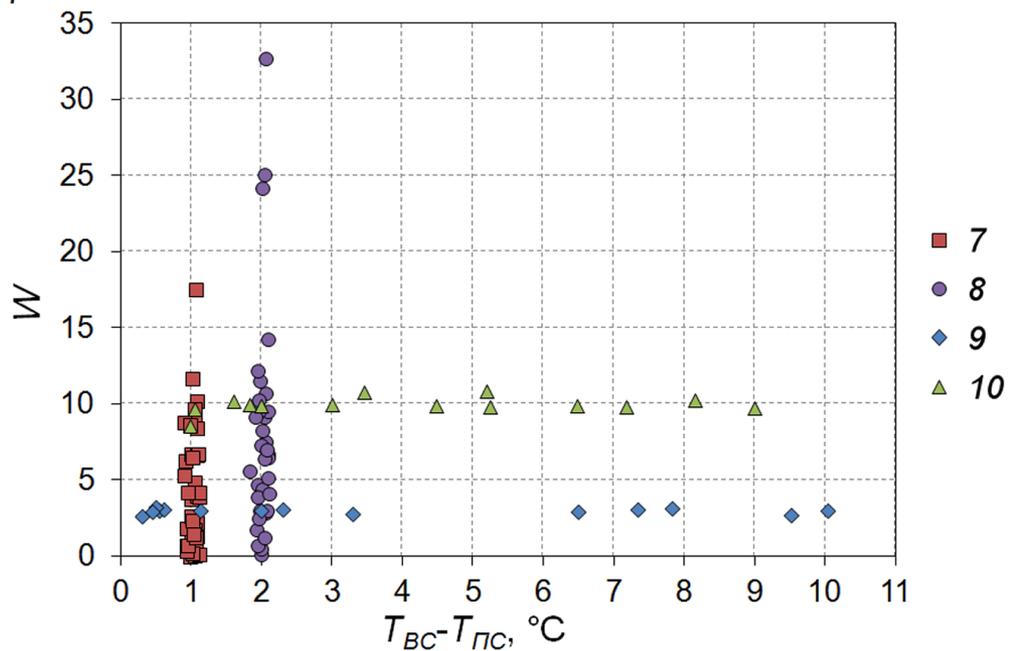
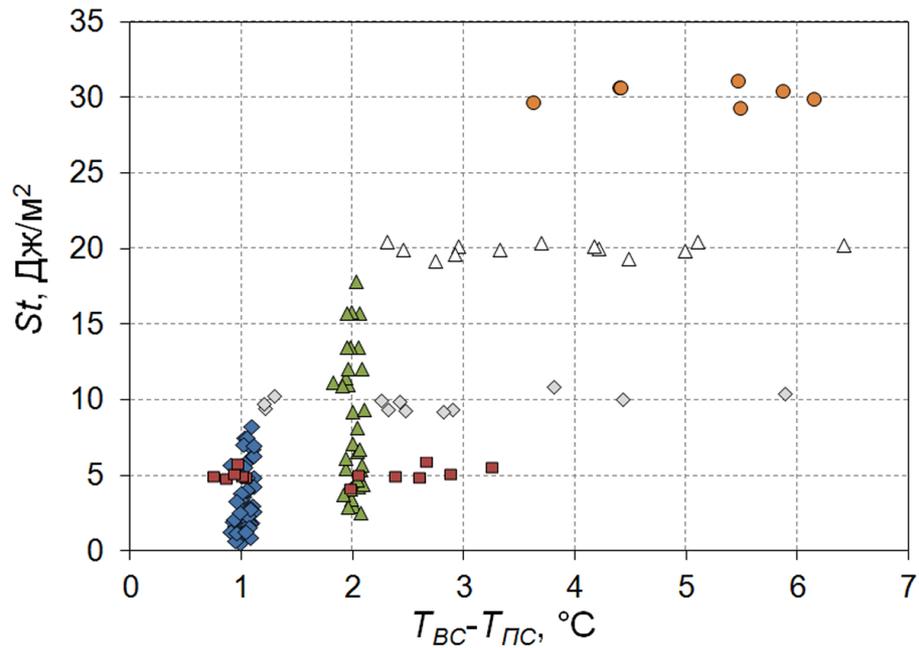
Прохладные летние месяцы



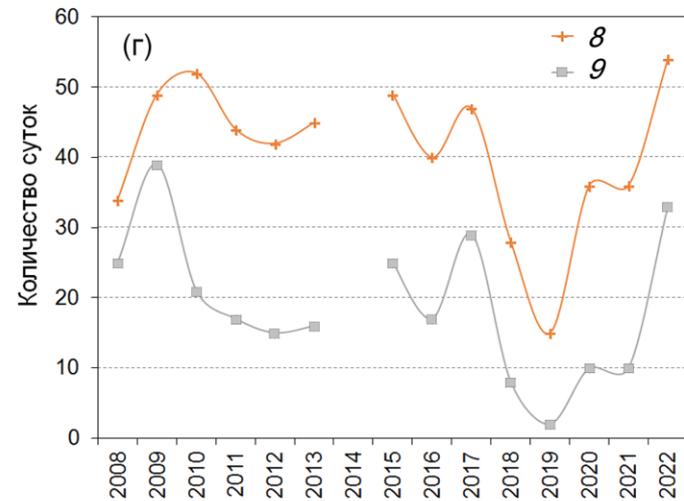
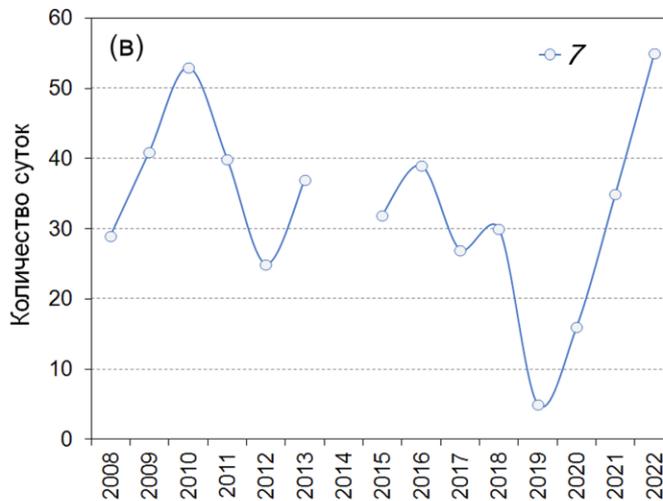
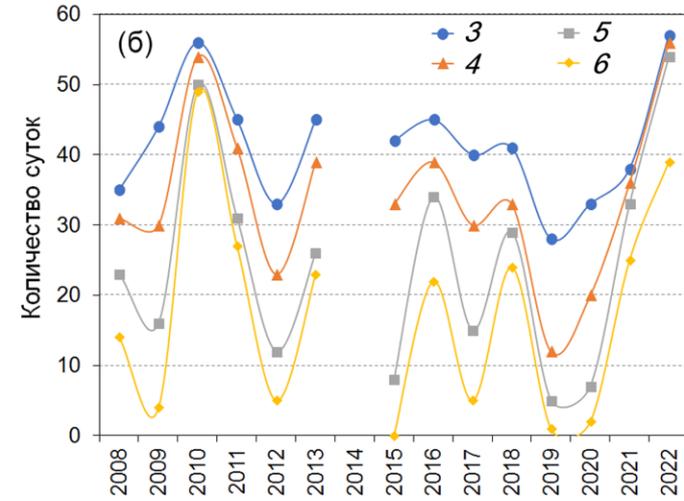
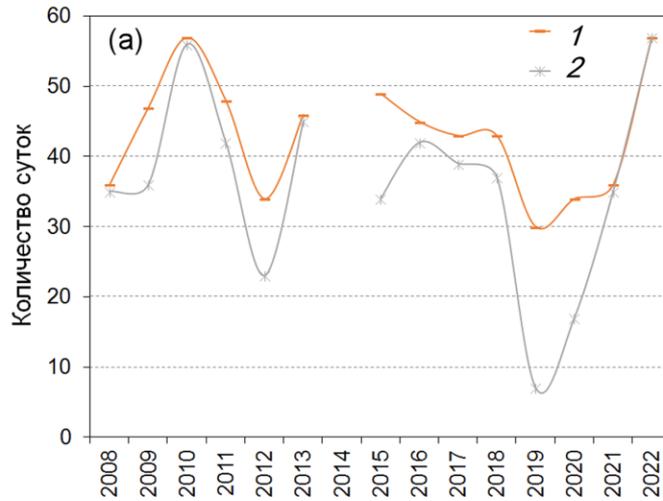
Устойчивость водной толщи озера в разные по погодным условиям годы



Значения параметров устойчивости при разных значениях разницы температуры по водному столбу в годы наблюдений



Количество суток в разные годы с 1 июля по 31 августа с характерными значениями параметров стратификации и устойчивости



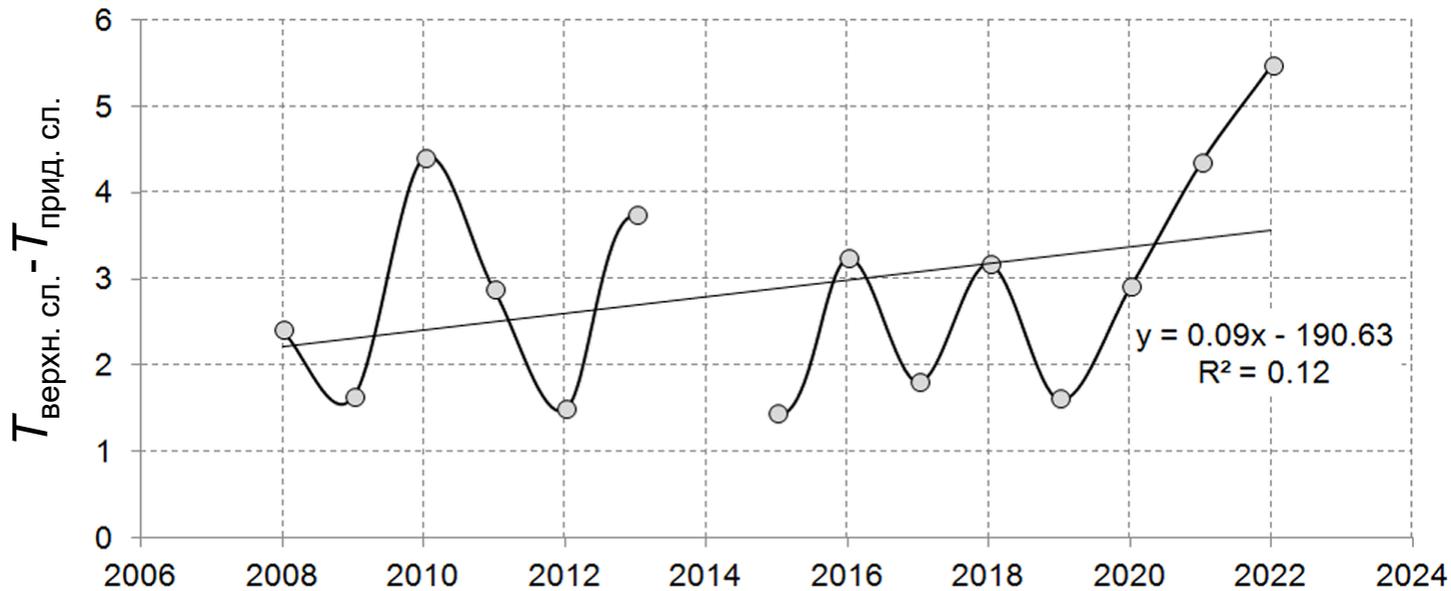
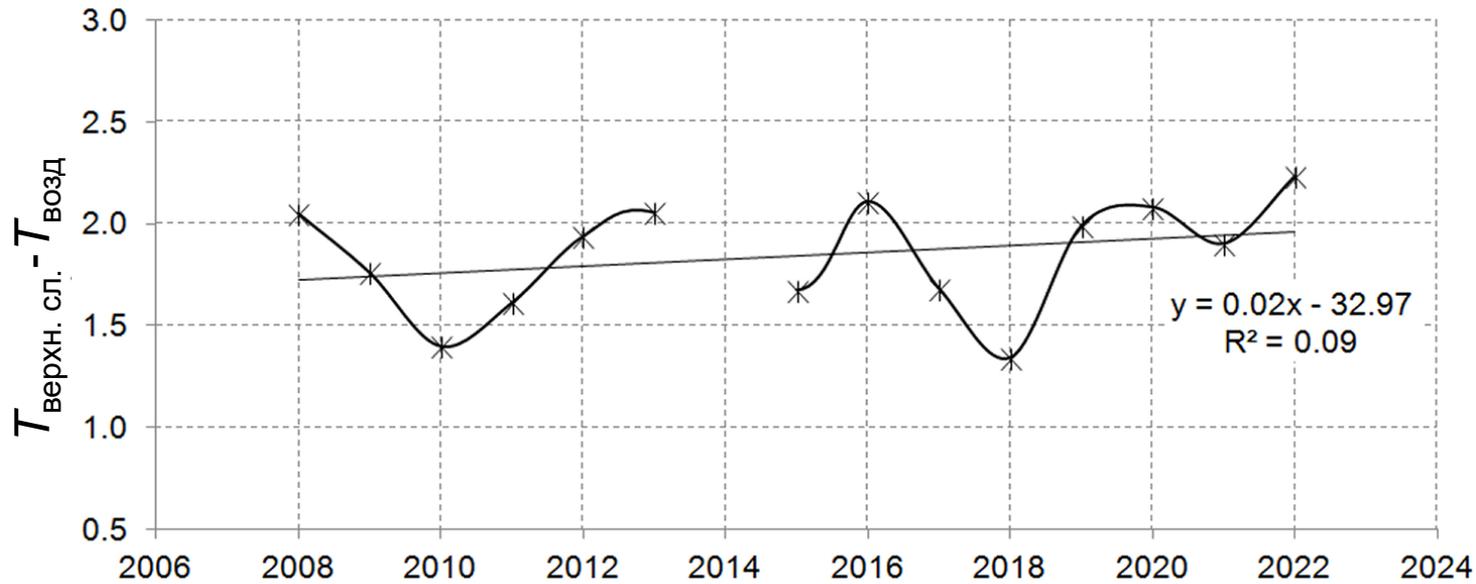
(а) – разница температуры по водному столбу более 1°C (1) и 2°C (2)

(б) – 3-6 устойчивость Шмидта St более 5, 10, 20 и 30 Дж/м²

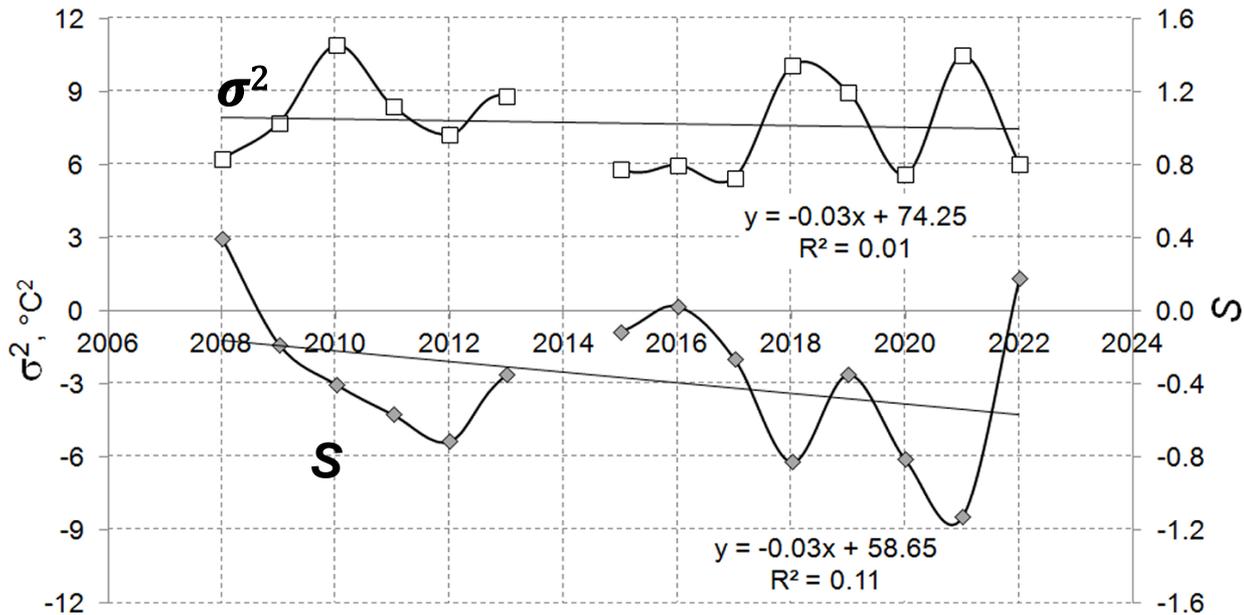
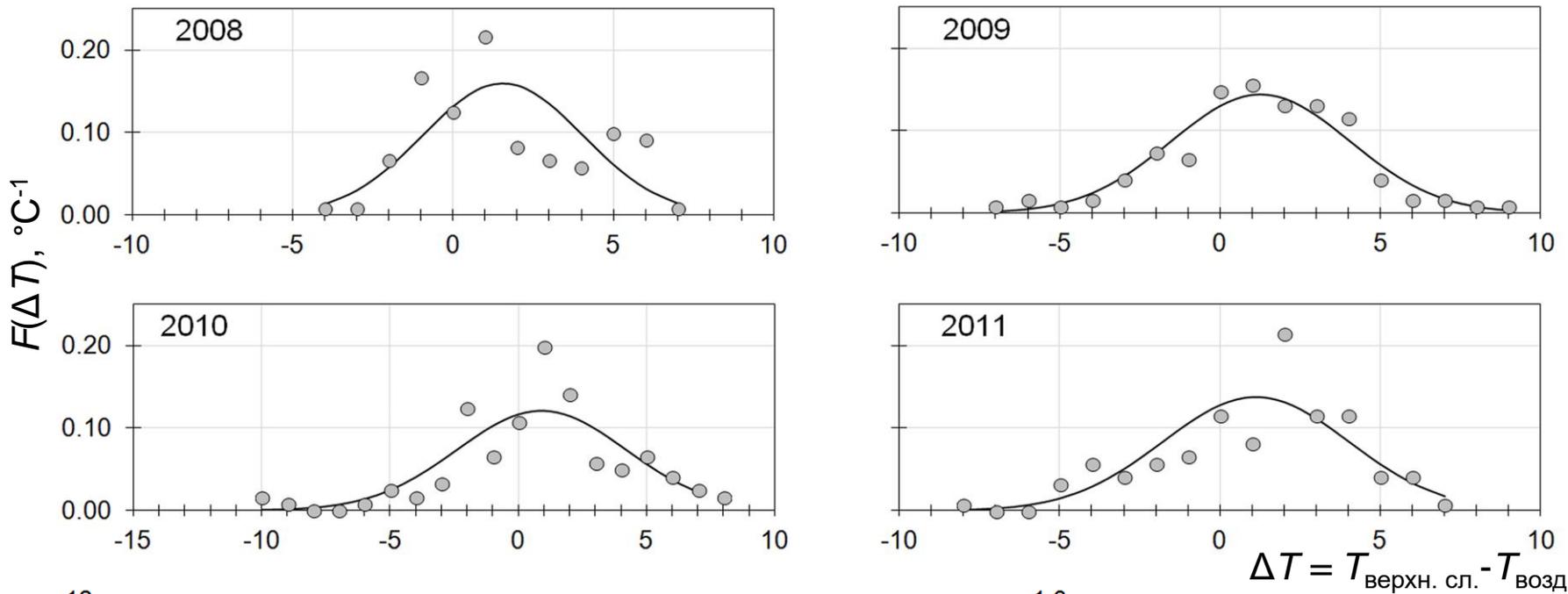
(в) – озерное число $L_N > 1$ (7)

(г) – число Веддерберна $W > 3$ (8) и $W > 10$ (9)

Разница между температурой воды и воздуха (верхняя панель) и воды верхнего и придонного слоев (нижняя панель)



Функция плотности распределения и ее характеристики



$$\sigma^2 = \langle \Delta T^2 \rangle - \langle \Delta T \rangle^2$$

$$S = \frac{\langle (\Delta T - \langle \Delta T \rangle)^3 \rangle}{\sigma^3}$$

Заключение

- Разнице температур по водному столбу в 1 и 2°С соответствуют широкие диапазоны значений St , W и L_N , что ставит под сомнение целесообразность использования пороговых значений индексов устойчивости для определения дат начала и окончания стратификации.
- Наиболее надежным критерием для определения периода стратификации будет использование разницы температур по столбу воды в 1-2°С.
- Статистически значимое повышение температуры воздуха в регионе южной Карелии в 1976-2022 гг. не привело к значимому усилению устойчивости водной толщи озера и увеличению продолжительности стратификации в 2008-2022 гг., но прослеживается положительная тенденция усиления устойчивости.
- Сдерживающие факторы усиления устойчивости – рост ветровой нагрузки (уменьшение повторяемости штилей и увеличение скорости ветра на +0.2 м/с за 10 лет в 2008-2022 гг.) и увеличение вклада радиационного механизма в перемешивание водной толщи озера, о чем свидетельствует наблюдаемое в последние годы уменьшение коэффициента асимметрии.
- Температура воды поверхностного слоя озера растет быстрее температуры воздуха, что совпадает с данными по другим озерам мира.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания
Института водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Спасибо за внимание!

