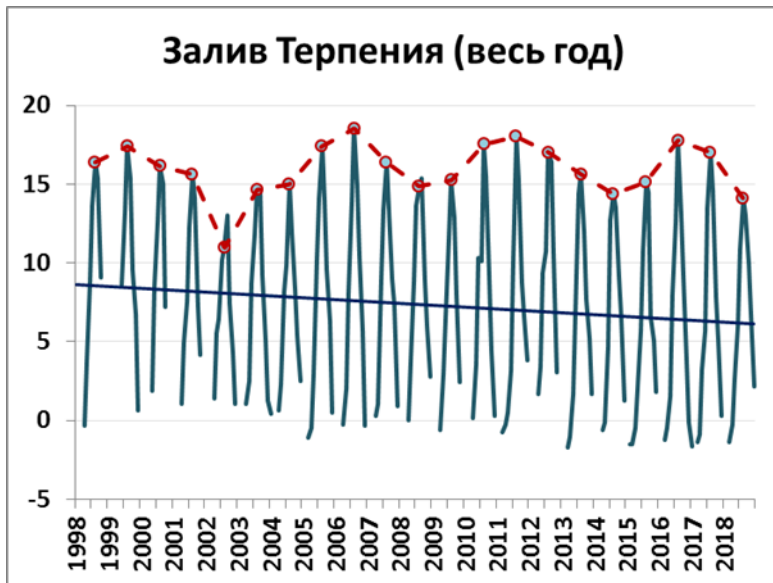


**АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ПОВЕРХНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ  
ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В 1998 – 2018 ГГ**

**Д.М. Ложкин<sup>1</sup>, Г.В. Шевченко<sup>1,2</sup>**

**(1) Сахалинский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("СахНИРО"), Южно-Сахалинск, Россия  
(2) Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН**

# Актуальность



- Существует множество свидетельств того, что продуктивность океанических экосистем зависит от изменений климата. Причем изменения эти носят циклический характер.
- Одним из важнейших абиотических параметров является температура поверхности океана, поскольку большая часть морских организмов холоднокровны. А потому изучение ее колебаний может помочь предсказать в какой фазе долгопериодного цикла – на спаде или подъеме численности – находится данная популяция.
- Максимальная температура в Охотском море за редким исключением приходится на август (в период нереста лососевых), и даже на этом графике видна некоторая цикличность максимальной ТПО.

# Спутниковая система TeraScan® корпорации SeaSpace

Очевидными преимуществами спутниковых данных над судовыми является регулярный характер наблюдений и полнота охвата изучаемой акватории, что в определенной мере компенсирует тот недостаток, что они отражают условия сравнительно тонкого поверхностного слоя.

В СахНИРО накоплен 21-летний ряд спутниковых данных по температуре поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий (1998-2018 гг.)

Это позволяет рассмотреть межгодовые вариации ТПО в данном регионе.



Среднее количество спутниковых снимков в день - 10

# Цели и задачи

## Цели:

- Выделить основные циклические составляющие колебаний ТПО в изучаемом регионе в летний период;
- Определить области проявления гармоник с определенным периодом (своеобразных «зон ответственности» этих компонент);
- Оценить возможность прогноза ТПО на следующий год методом последовательных спектров.

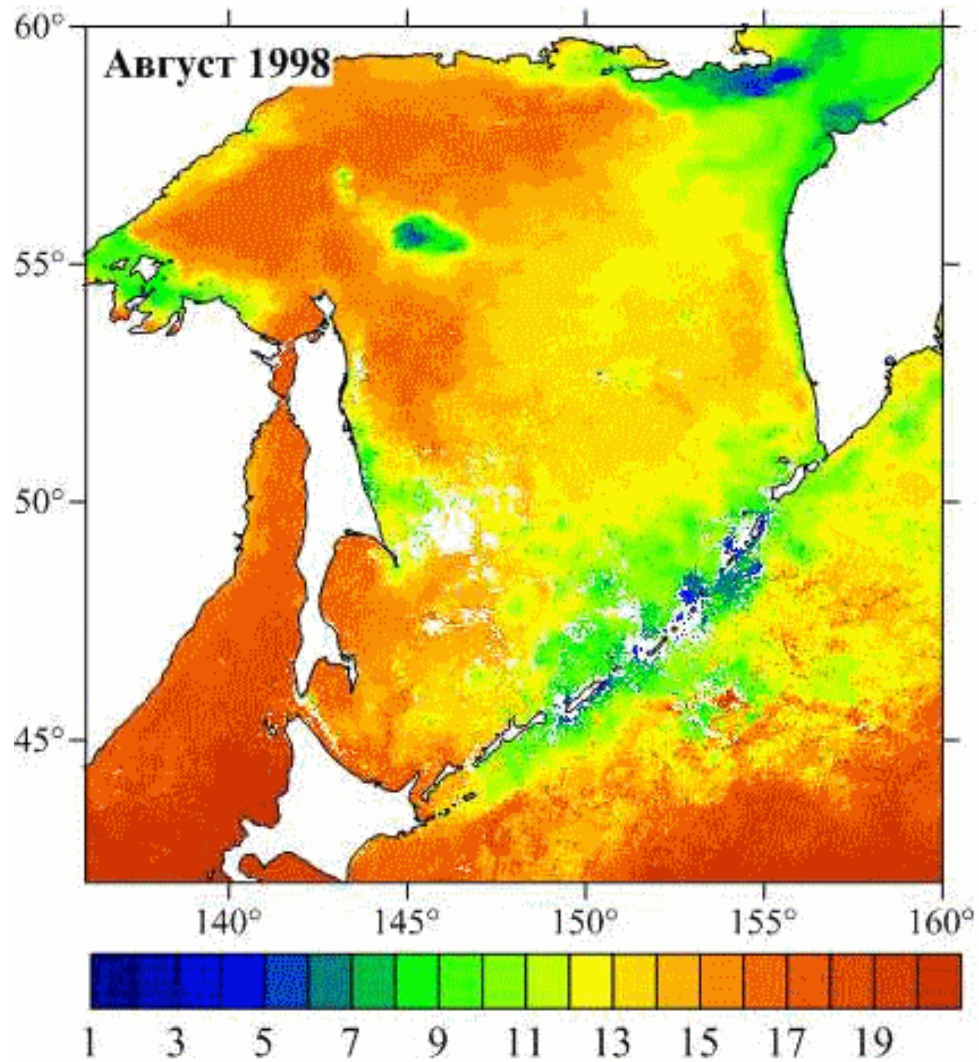
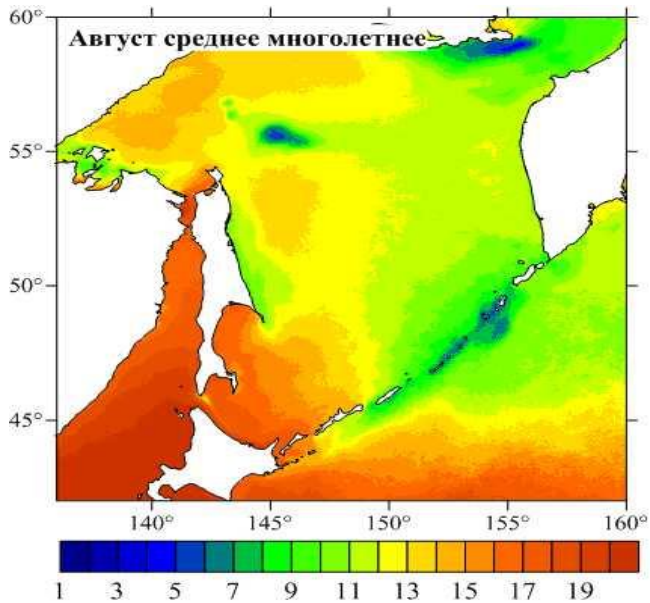
## Задачи:

- Автоматизировать процесс расчета амплитуд и фаз гармоник по известному периоду;
- Наглядно отобразить полученные данные в форме графиков и изображений;
- Построить карты распределения амплитуд гармоник с периодами от 3 до 11 лет, кратными году;
- Построить карты разницы прогнозируемой и фактической ТПО.

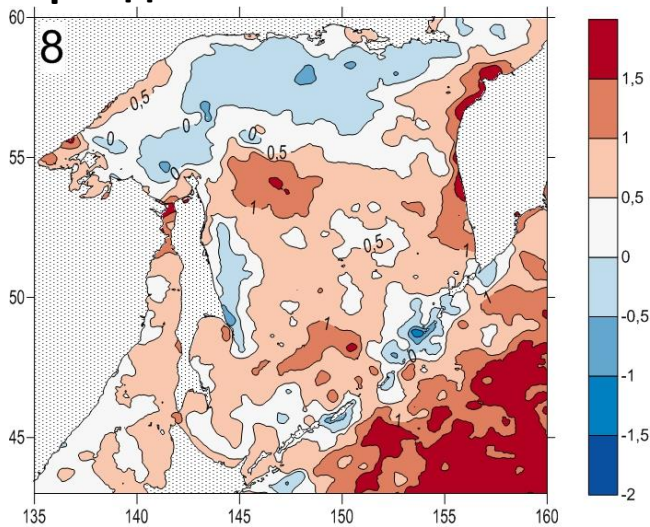
# Материалы и методы

- Для всего района (с 42 по 60° северной широты и 135 по 160° восточной долготы) сформированы ряды среднемесячных значений температуры поверхности океана (ТПО) в августе по спутниковым измерениям продолжительностью в 21 год (1998-2018 гг.).
- Пространственное разрешение данных составляет около 2 км.
- Обработана матрица 1000×1022 пространственных ячейки.
- Для каждой пространственной ячейки методом наименьших квадратов (МНК) были рассчитаны амплитуды и фазы гармоник, предварительно из исходных данных был вычтен тренд (также рассчитанный МНК).
- Построены карты распределения амплитуд гармоник (предварительно файлы обработаны фильтром median 19×19).

# ТПО в августе

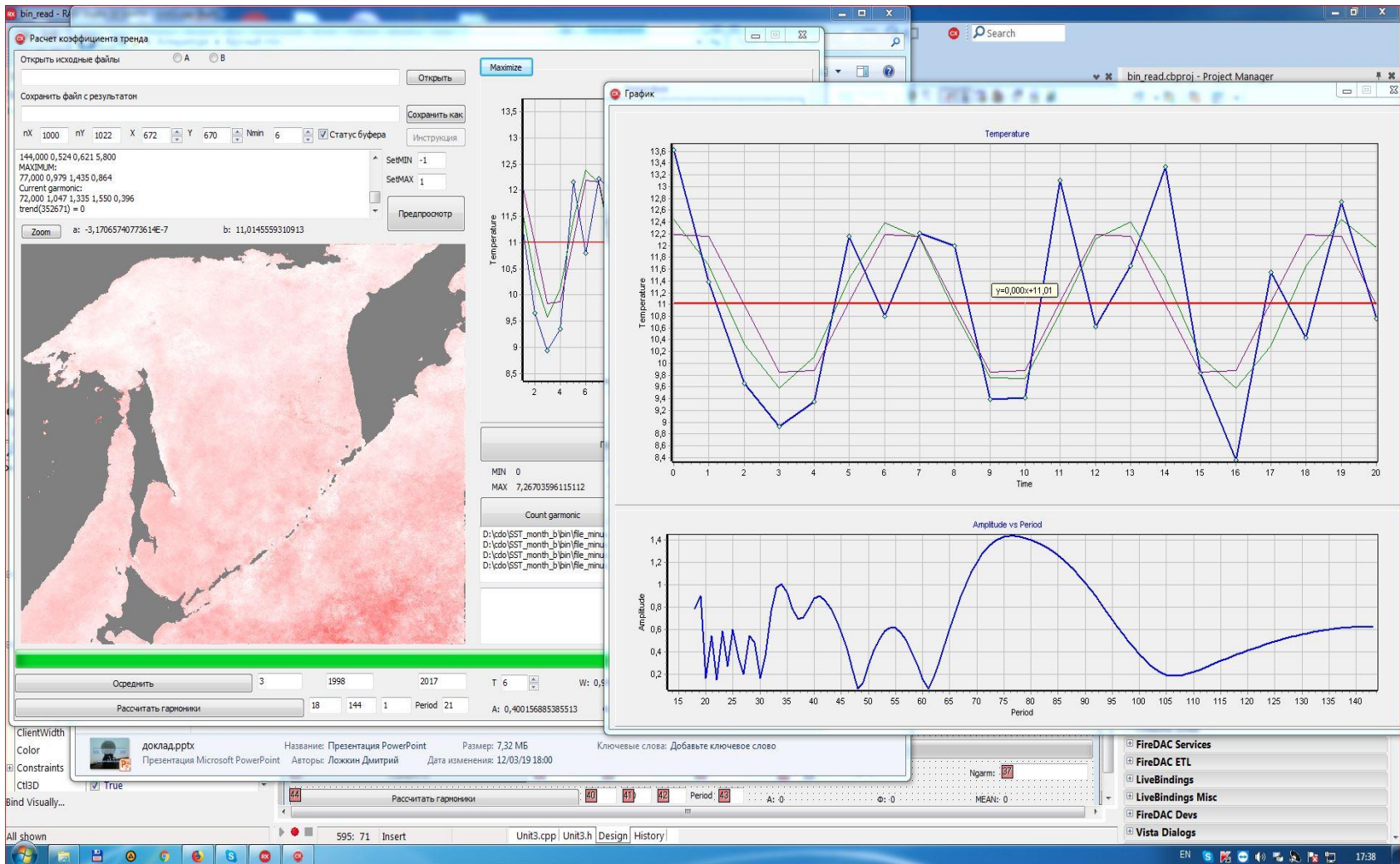


## Тренд



Шкала в градусах Цельсия за 10 лет

# Программное обеспечение



Добавлены функции вычитания тренда; построения псевдоспектра гармоник; вычисления гармоник с максимальной амплитудой и построение карты амплитуд гармоник с определенным периодом.

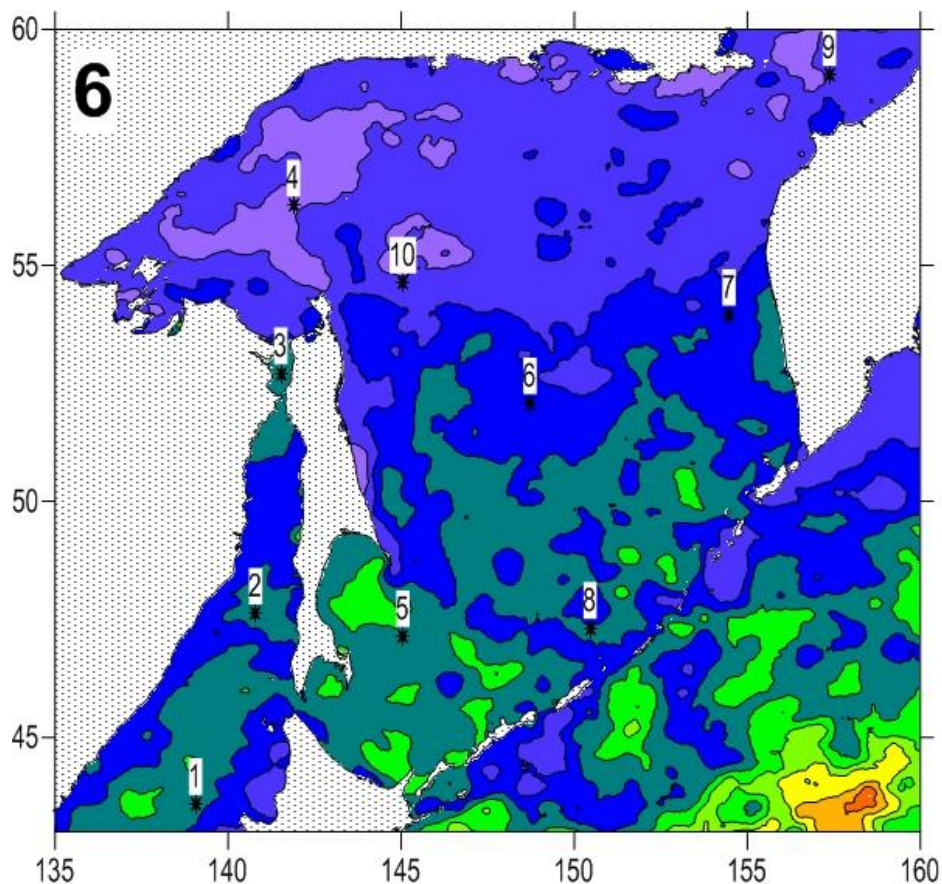
# Карта района

Наибольшее влияние на изучаемую акваторию оказывает гармоника с периодом 5,5 – 6 лет.

Зона ее влияния наиболее обширна и занимает южную половину Охотского моря и северную часть Японского моря, вплоть до Амурского лимана.

Амплитуда этой гармоникой в зоне ее влияния находится в пределах от 1 до 2°C.

В окрестностях Курильских островов, у западного побережья о. Хоккайдо, у северо-восточного побережья о. Сахалин амплитуда несколько ниже (от 0,5 до 1°C).



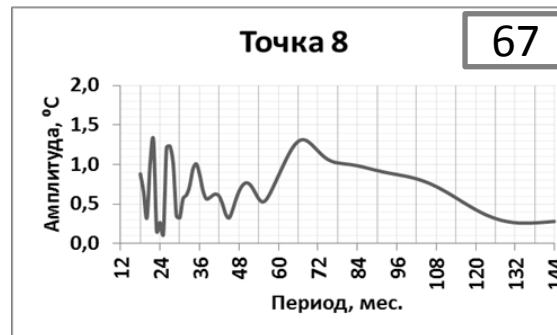
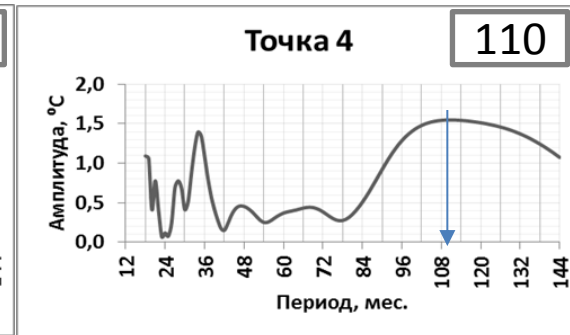
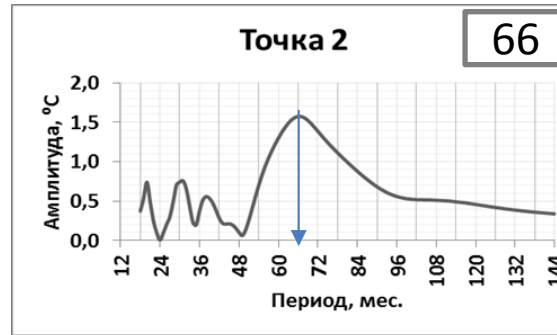


# Графики

На графиках приведены псевдоспектры амплитуд гармоник в зависимости от периода.

Видно, что в точках 2, 5 и 8, которые соответствуют Татарскому проливу, заливу Терпения и центральным Курилам, максимум приходится на гармоники с периодом 66-68 месяцев и составляет около 1,5 °С.

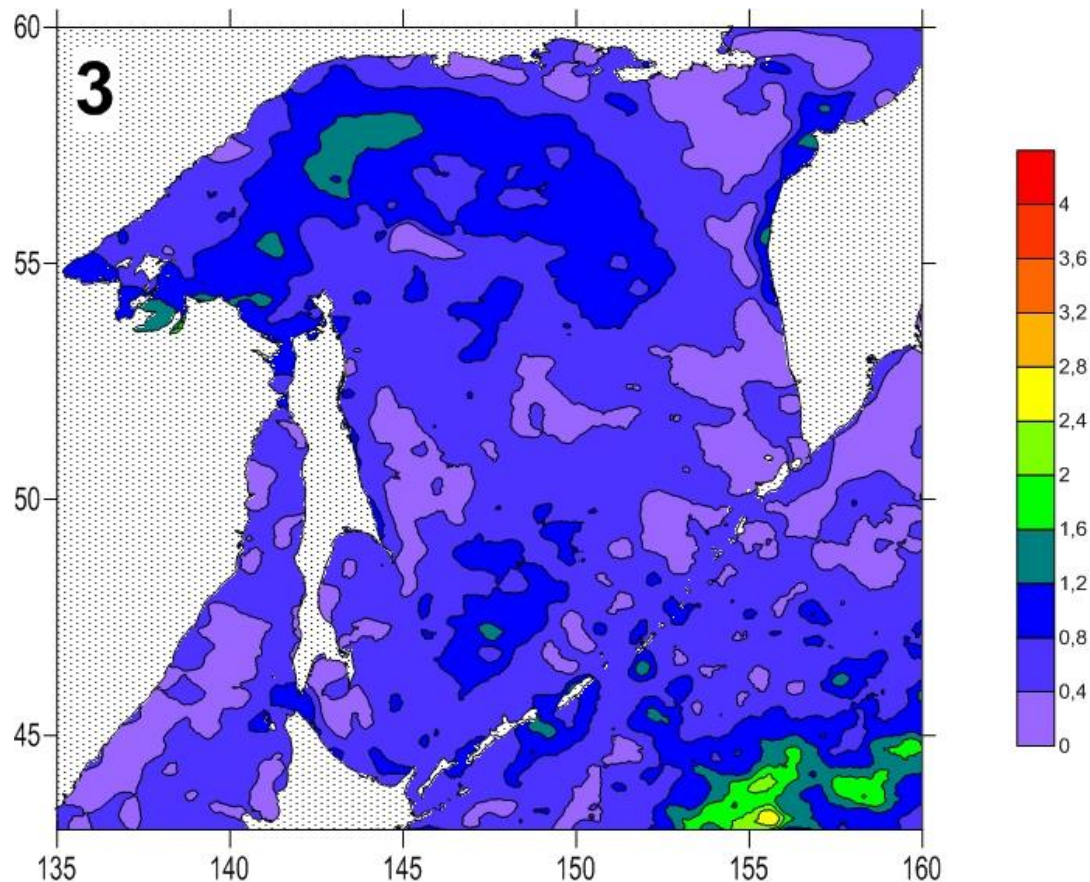
В точках 4 (к северу от Сахалина), 6 (в центральной части Охотского моря) и 10 (неподалеку от банки Кашеварова) выделяются другие гармоники.



# 3-летняя гармоника

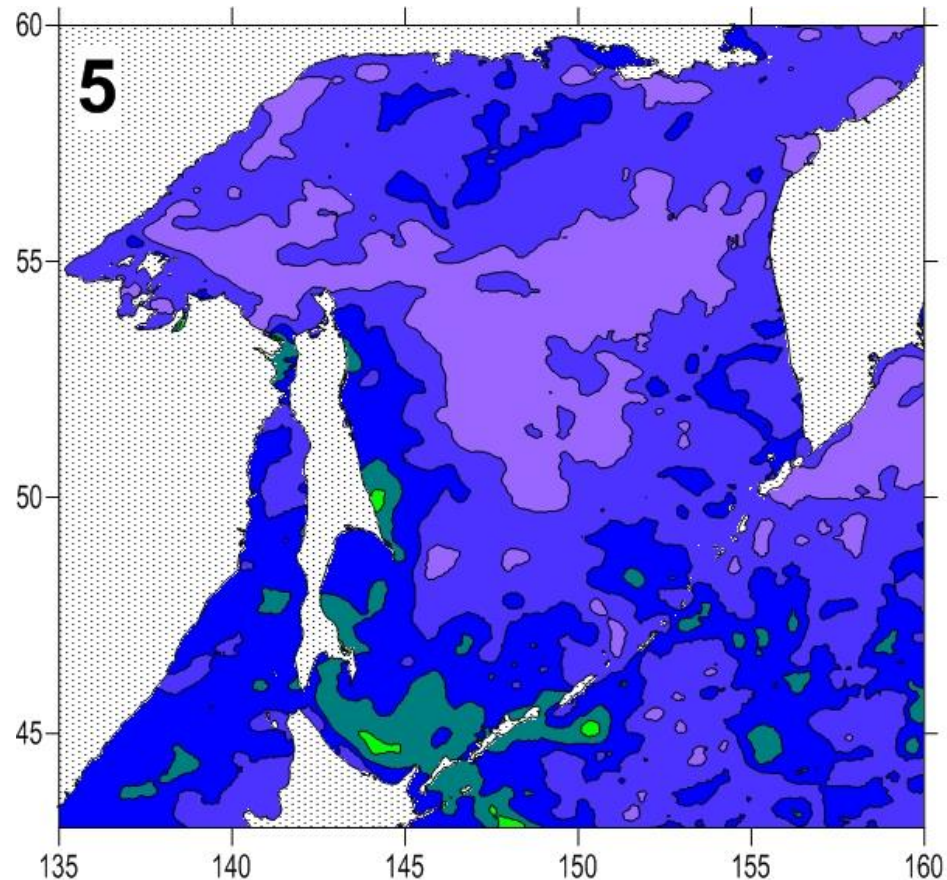
Наиболее высокие значения амплитуды 3-летней гармоники можно отметить в северо-западной части Охотского моря, на удалении от берегов, а также у северо-западного побережья Камчатки и в полосе от 47 до 49° с.ш. и от 147 до 149° в.д., в районе Курильской глубоководной котловины и в северо-западной части Тихого океана.

Однако амплитуды этих колебаний несколько ниже, чем у шестилетней гармоники (от 1 до 1,5 °C). На удалении от этих областей амплитуда постепенно снижается до нуля.



# 5-летняя гармоника

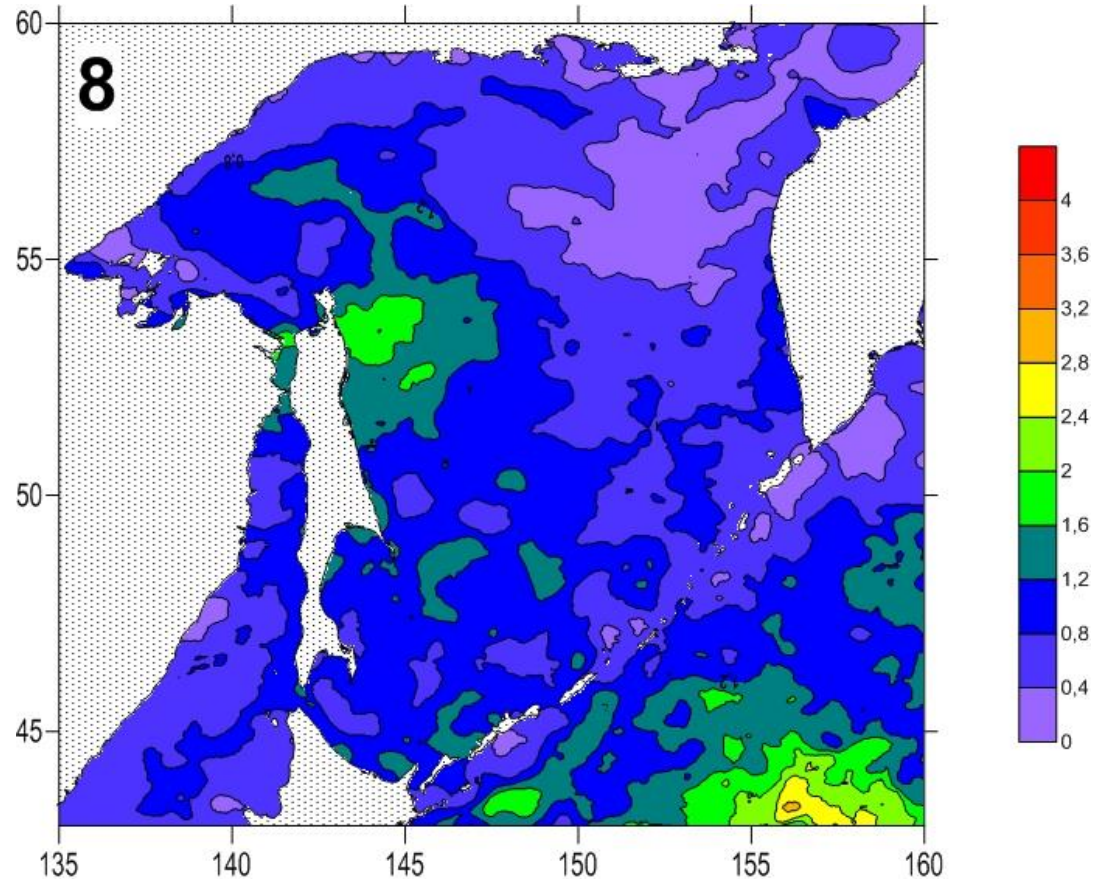
Пространственное распределение амплитуд циклической составляющей с периодом 5 лет заметно отличается от рассмотренного выше для периода 6 лет, зона ее влияния заметно уже, она сосредоточена в основном на северном шельфе Хоккайдо, в районе Южных Курильских островов (обширные акватории как с охотоморской, так и с океанской стороны), и что удивительно, на северо-восточном шельфе Сахалина, где влияние более низкочастотной составляющей не было отмечено. В Татарском проливе ее роль также заметна, но выражена в меньшей степени, чем 6-летней гармонике.



# 8-летняя гармоника

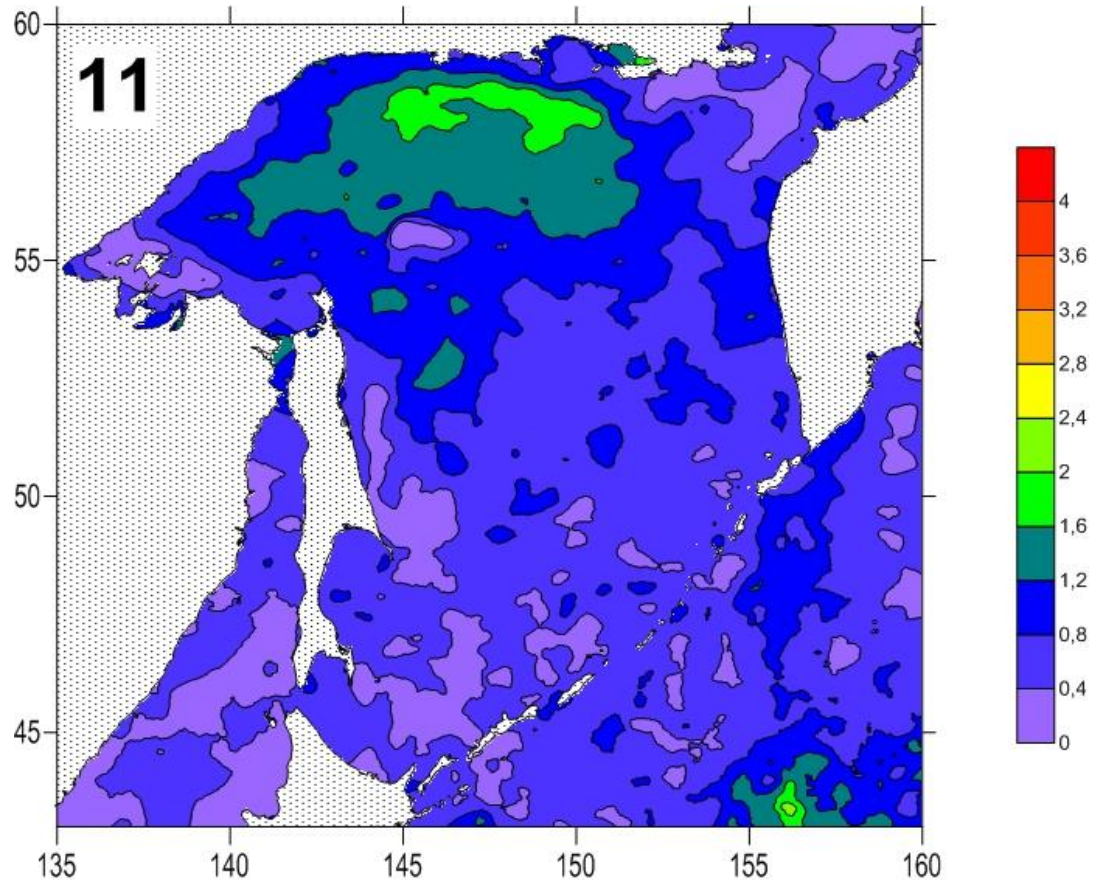
В западной части Охотского моря и северо-западной части Тихого океана значительно проявляется циклическая компонента с периодом около 8 лет. Четко выделяется в пространственном распределении зона влияния стока реки Амур в летний период – Амурский лиман, южная и восточная части Сахалинского залива, область между полуостровом Шмидта и банкой Кашеварова.

Интересно, что в области проявления течения Куроисио данная составляющая имеет большие амплитуды, в зоне Цусимского течения в Японском море – незначительные, при этом на северном шельфе Хоккайдо и с охотоморской стороны Южных Курильских островов, где сказывается отепляющее влияние течения Соя, амплитуды существенно больше.



# 11-летняя гармоника

Наиболее низкочастотная из рассматриваемых гармоник с периодом 11 лет проявляется в северной части Охотского моря, на остальных участках изучаемого района ее роль незначительна.



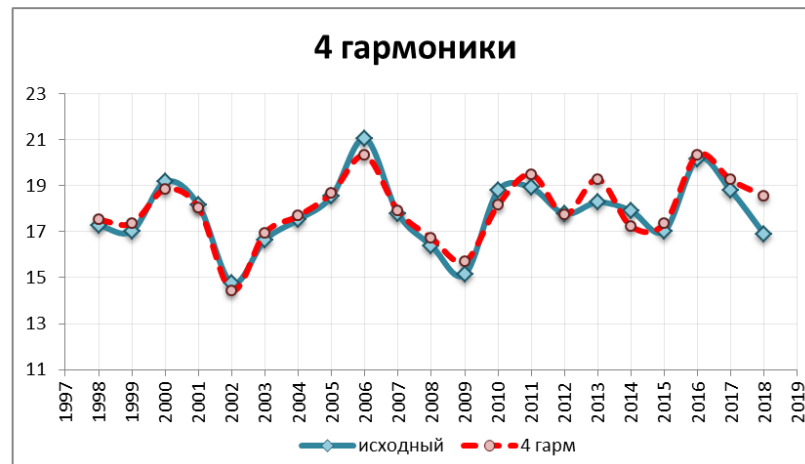
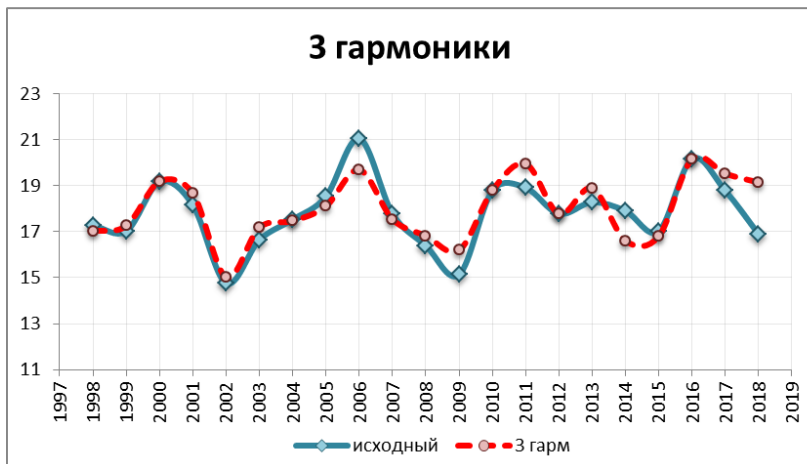
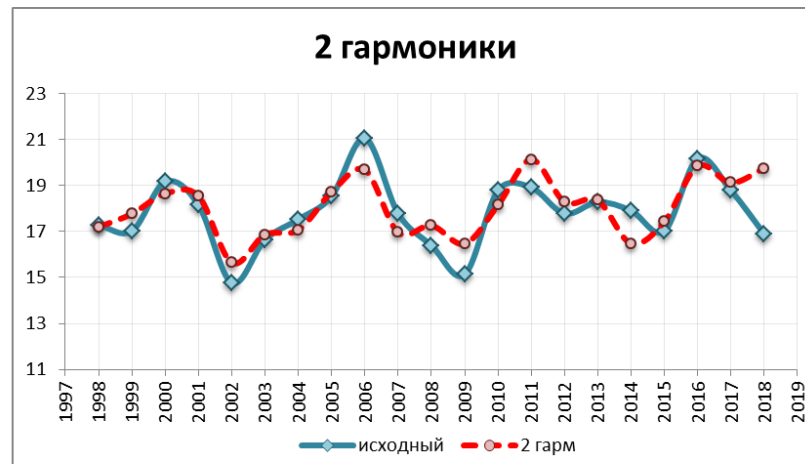
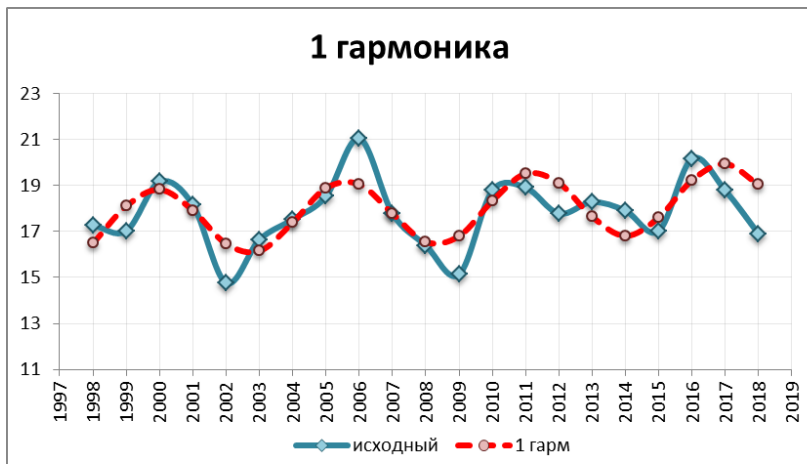
# Методика прогнозирования

(Метод последовательных спектров)

1. Из исходного ряда (А) вычитаем тренд (получаем ряд (В<sub>0</sub>))
2. Находим методом наименьших квадратов функцию вида
$$Y = A \cos(\omega_0 t - \varphi)$$
3. Вычитаем полученную функцию из ряда (В<sub>0</sub>), получаем ряд (В<sub>1</sub>)
4. Повторяем шаг (2) и (3) несколько раз, получая ряды (В<sub>2</sub>,...,В<sub>Н</sub>)
5. Просуммировав тренд с полученными гармониками получаем аналитическую функцию, достаточно близкую к исходному ряду, при этом с ее помощью можно попытаться спрогнозировать ТПО в следующем году:

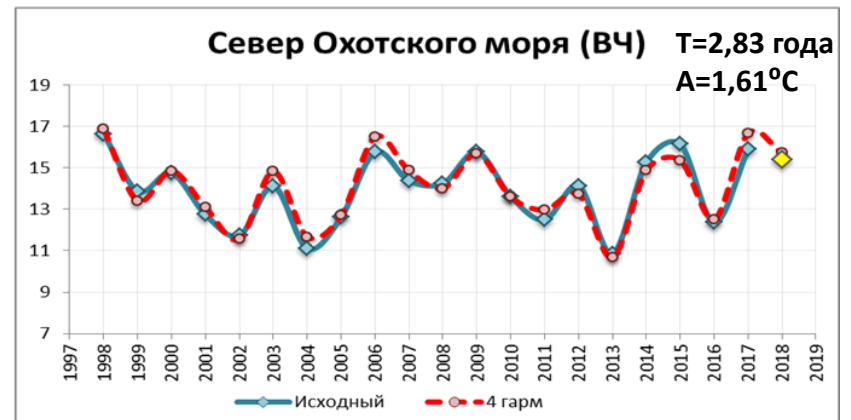
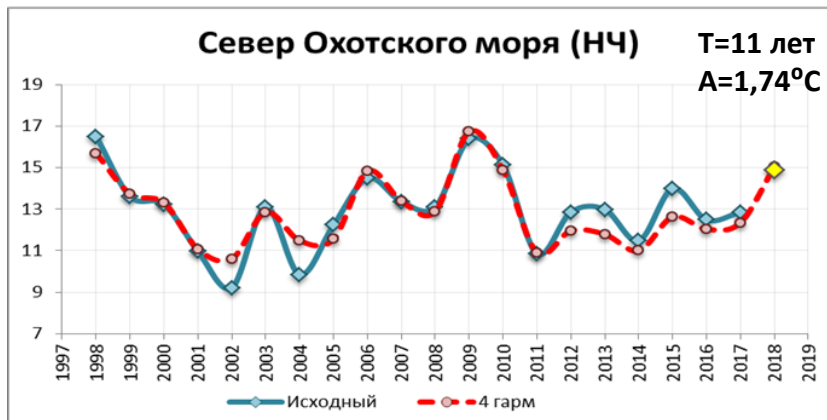
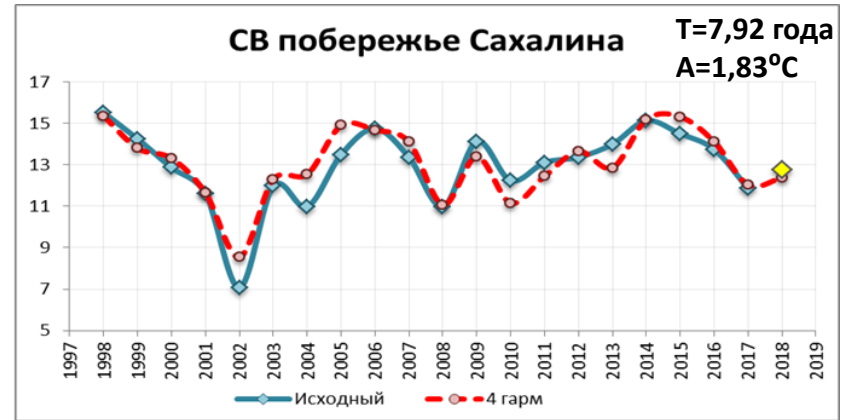
$$T(t) = at + b + \sum_{k=1}^N c_k \cos(\omega_k t - \varphi_k)$$

# Прогноз ТПО (Татарский пролив)



Количество гармоник	1	2	3	4
Коэффициент корреляции	0,70	0,76	0,85	0,93

# Прогноз ТПО



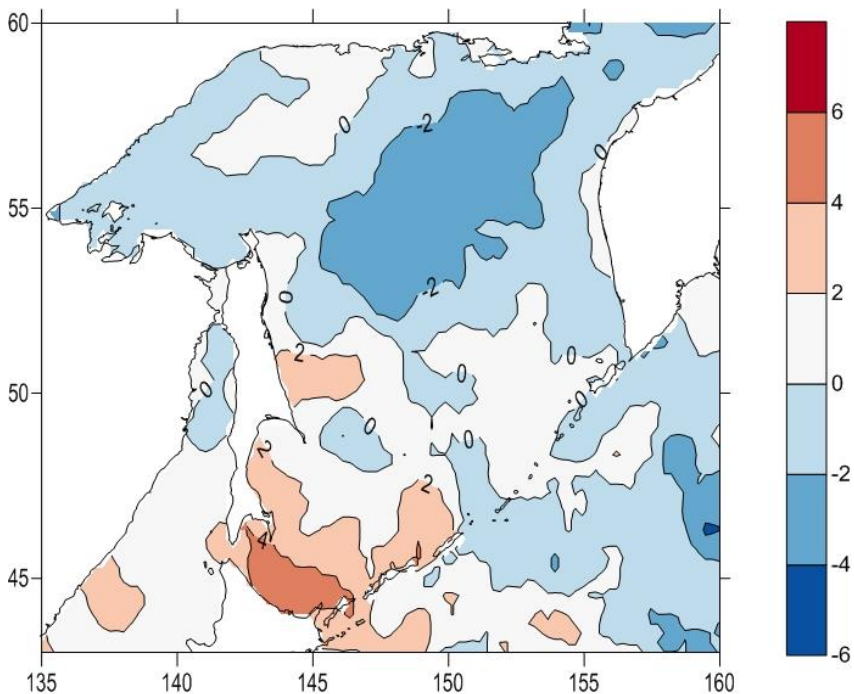
Графики ретроспективного прогноза по ряду с 1998 по 2017 гг. на 2018 г. Аналитическая формула получена суммированием тренда и четырех основных гармоник. Желтым показана фактическая температура в 2018 году. В верхнем углу каждого графика указаны период и амплитуда первой гармоник.

Коэффициент корреляции превышает 90%



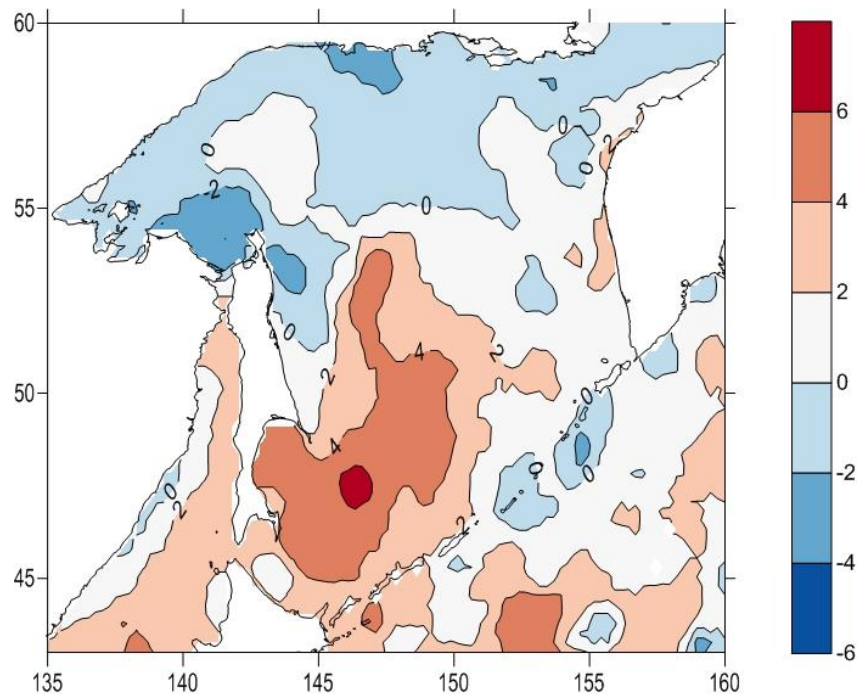
# Разница прогнозируемой и фактической температуры

**Август 2017**



Прогноз по ряду 1998-2016 гг.

**Август 2018**



Прогноз по ряду 1998-2017 гг.

**В большей части акватории стандартное отклонение ТПО в августе составляет около 1-2°C**

# Заключение

- В результате анализа массива данных по температуре поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий, определены основные циклические компоненты, отвечающие за межгодовые вариации данного параметра, и «зоны влияния» каждой гармонике. Показано, что главный вклад в эти вариации дают составляющие с периодом около 6 лет, а также 3, 5, 8 и 11 лет.
- Вместе с параметрами линейного тренда [Ложкин, Шевченко, 2019], параметры основных циклических составляющих (в каждой пространственной ячейке использовалось по 4 гармонике с наибольшими амплитудами) можно использовать для прогноза термических условий на лето следующего года. Ретроспективный расчет на 2018 г. дал в целом удовлетворительные результаты, несмотря на аномально холодные условия этого года, отмеченные на ряде участков изучаемой акватории.
- Возможность прогноза термических условий имеет и прикладное значение, прежде всего с точки зрения оценки условий нерестовых подходов тихоокеанских лососей.

**Спасибо за внимание!!!**