

Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, 2019

Институт морской геологии и геофизики, Южно-Сахалинск, 2019

Ложкин Дмитрий Михайлович

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 05.06.01 – НАУКИ О ЗЕМЛЕ
НАПРАВЛЕННОСТЬ: 25.00.29 – ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

ВЫПУСКНАЯ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Зав. кафедрой
к. ф.-м. н. Андреева М.Ю.

Научный руководитель
д. ф.-м. н. Шевченко Г.В.

Рецензент
к. г. н. Цхай Ж.Р.

Актуальность

- Пространственно-временная изменчивость температуры воды отражает сложные процессы формирования, трансформации и динамики водных масс. Районирование акваторий по характеру температурных условий, а также их прогнозирование с учетом особенностей сезонной и межгодовой изменчивости является важной научной задачей.
- Термический режим является одним из ключевых параметров, определяющих условия существования и развития большинства видов гидробионтов, в том числе и некоторых видов промысловых рыб.

Цель и задачи

- **Цель:** исследовать особенности термического режима Охотского моря и прилегающих к нему акваторий.
- **Задачи:**
 - 1. Разработать программный комплекс для работы с файлами из базы данных по ТПО и расчета коэффициентов линейного тренда ТПО, а также амплитуд и фаз основных циклических компонент (далее этот программный комплекс будет упоминаться как **BIN_READ**);
 - 2. Рассчитать статистические параметры и построить карты коэффициентов линейного тренда, амплитуд основных циклических компонент;
 - 3. Проанализировать термические условия среды обитания водных биологических ресурсов. В том числе:
 - в период выпуска молоди лососевых рыб у побережья Сахалина
 - в период промысла и нереста минтая в Охотском море

Структура НКР

- Структура работы состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на **95** страницах, включает в себя **50** рисунков, **одну** таблицу, **71** библиографическую ссылку.
- **Во введении** сформулированы актуальность исследования, цели и задачи работы.
- **В первой главе** приведен краткий обзор работ в исследуемой акватории, а также дана физико-географическая характеристика исследуемой акватории.
- **Во второй главе** описана существующая информационная база СахНИРО, а также программа, созданная в процессе написания работы.
- **Третья глава** содержит результаты исследования. Она разбита на два раздела.
- **Раздел 3.1** посвящен расчету линейных трендов ТПО
- **В разделе 3.2** описаны циклические вариации температуры.
- В работе также продемонстрированы способы применения результатов спутникового мониторинга на практике (прогноз температуры на следующий год (**см. раздел 4.1**) и выявление даты наступления благоприятных условий для молоди лососей (**см. раздел 4.2**)).
- **В заключении** представлены обобщенные выводы по данной работе. За этим разделом следует **список литературы**.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.

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.

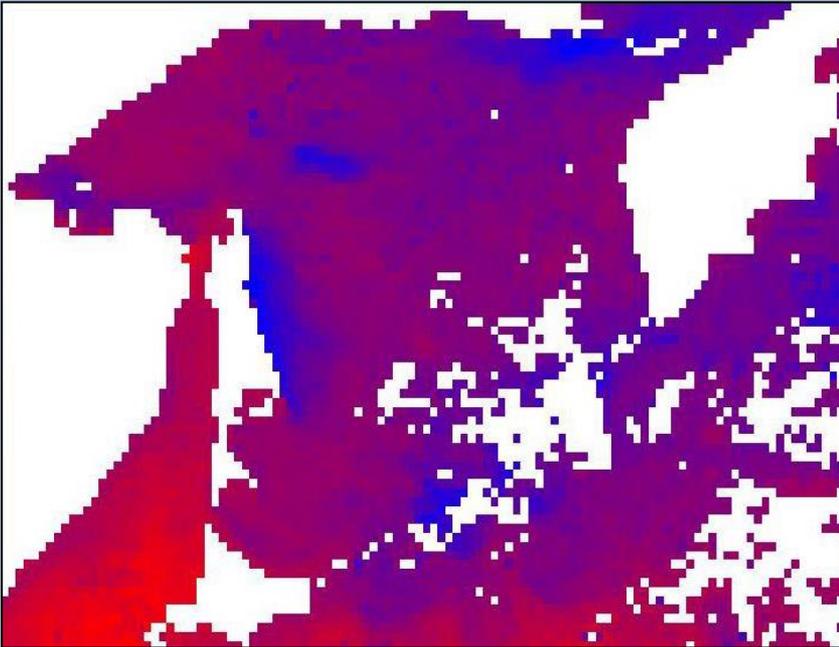


Среднее количество спутниковых снимков в день - 10

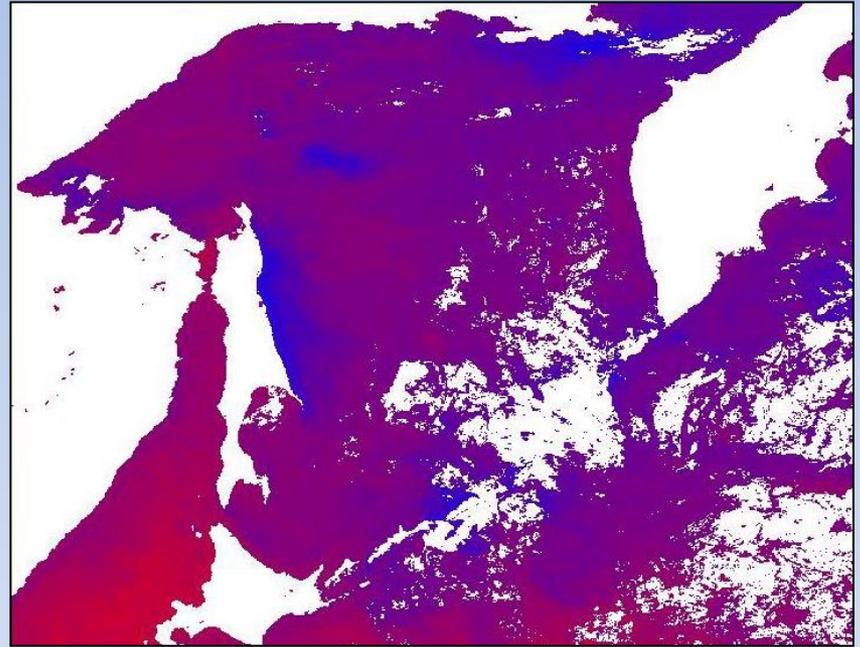
2. Информационная база исследования

Период: с 1998 по 2018 гг.

Низкое разрешение ($0,25^\circ$)



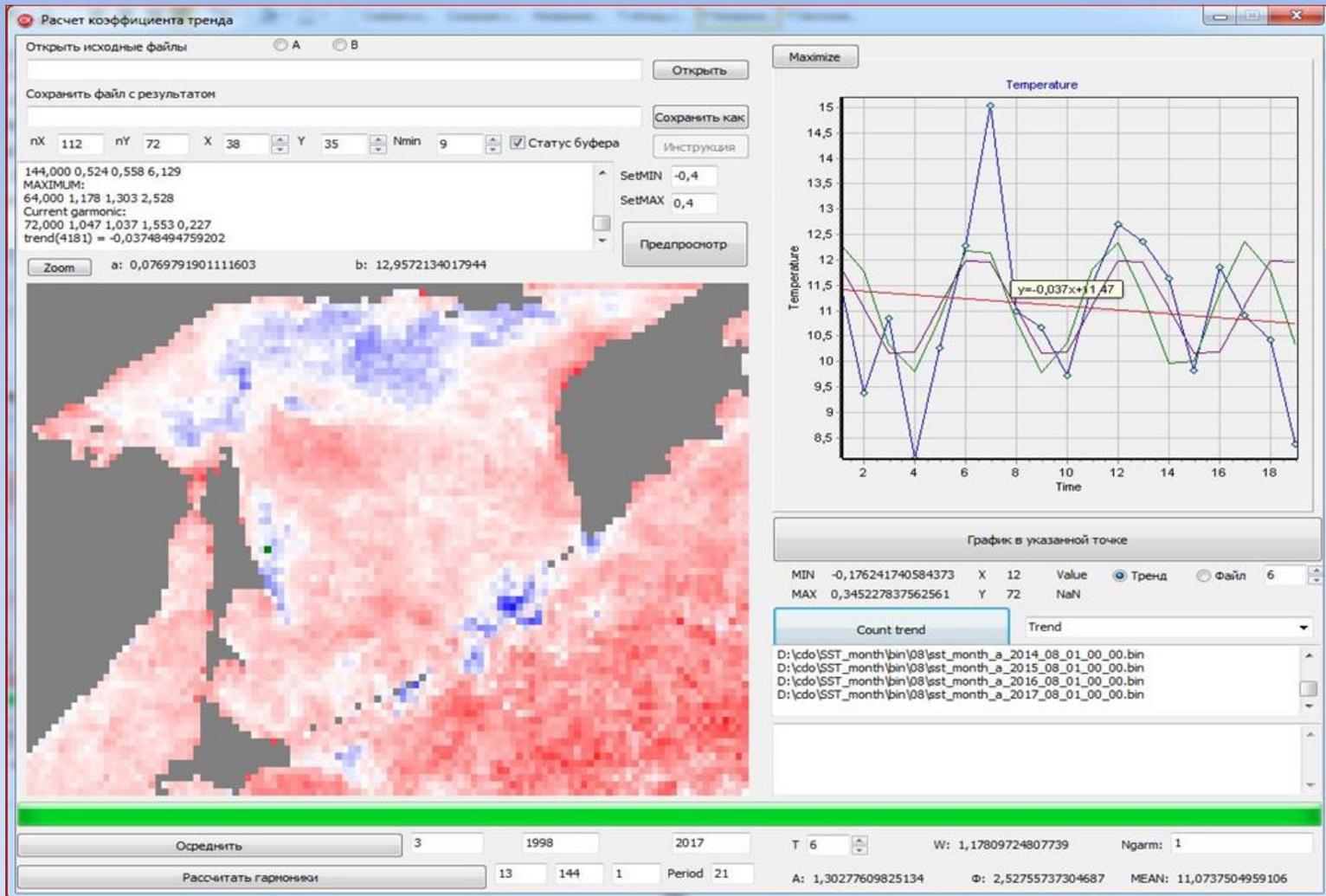
Высокое разрешение (около 2 км)



Существуют базы среднесуточных, среднедекадных и среднемесячных распределений температуры поверхности океана (ТПО).

Помимо ТПО в базе также имеются данные по концентрации льда, концентрации хлорофилла-А и приземному атмосферному давлению.

2. Программный комплекс BIN_READ

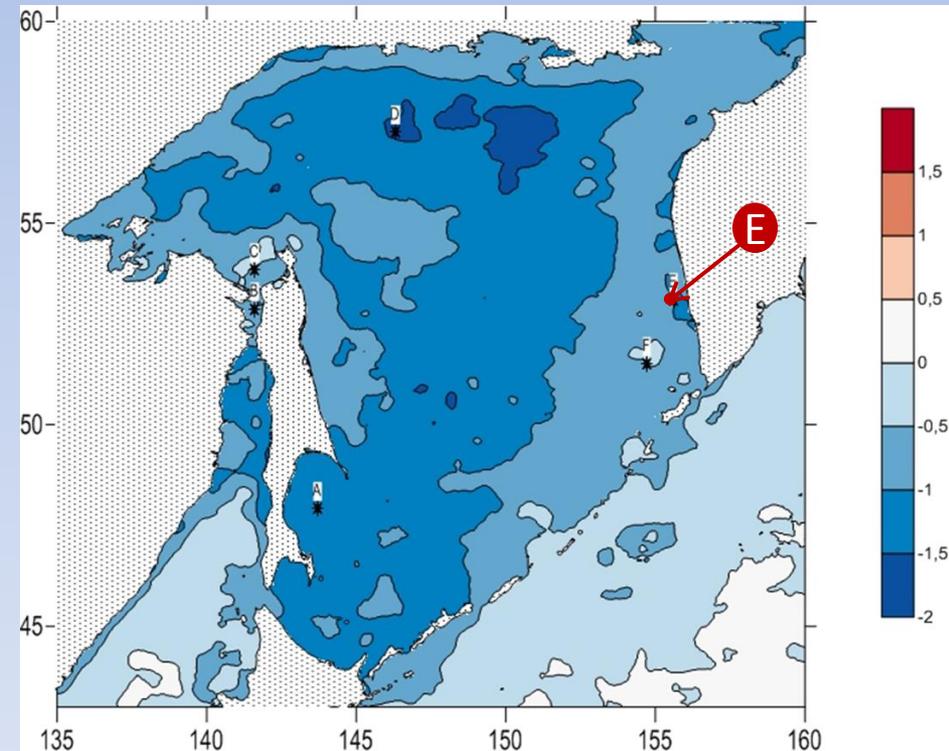
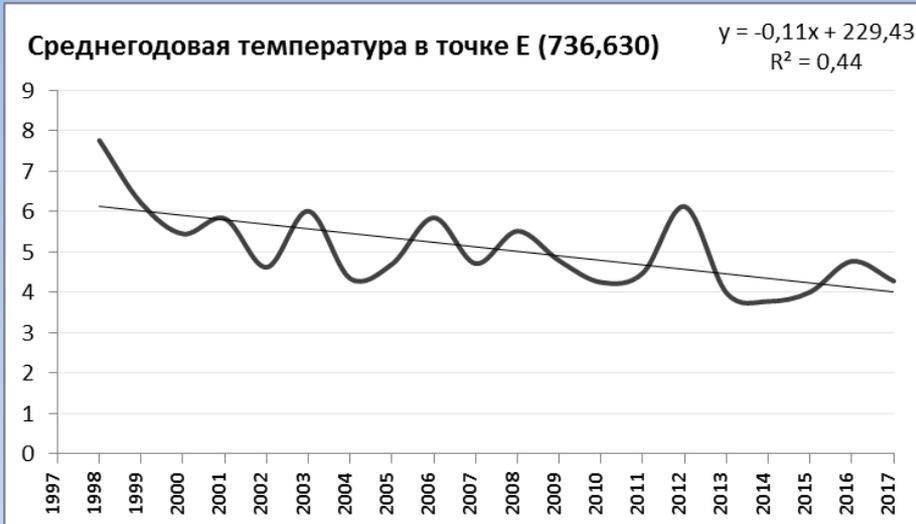


Интерфейс программы. Продемонстрирован расчет линейного тренда по среднемесячным температурам (1998-2017 гг.) в августе.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Коэффициенты линейных трендов ТПО

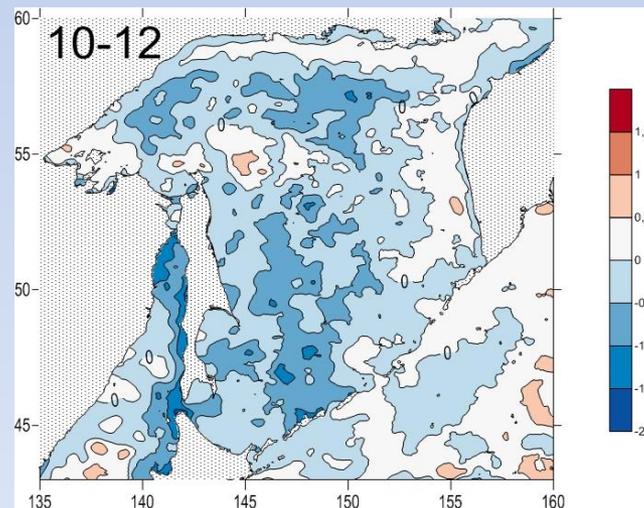
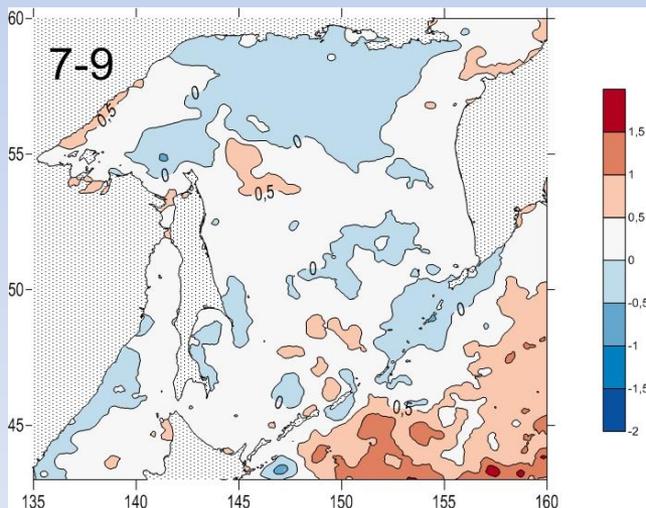
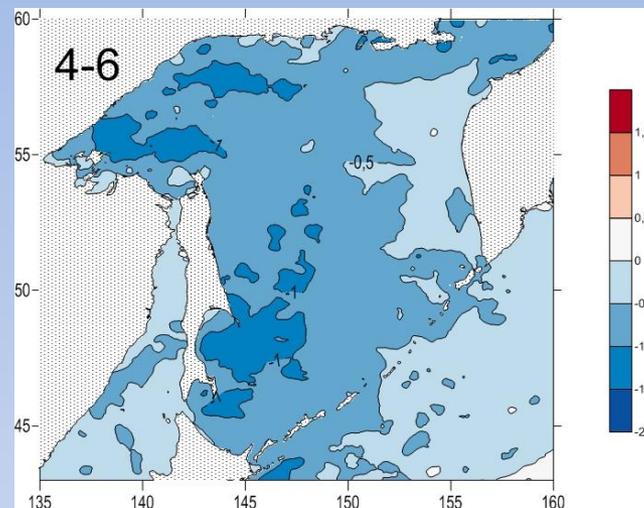
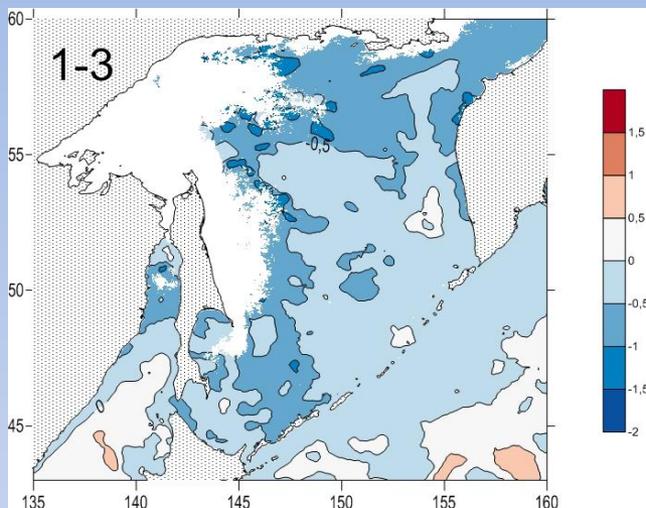
Карта распределения коэффициентов линейного тренда по среднегодовым значениям ТПО (шкала соответствует изменению температуры в °C за 10 лет). Синим цветом показаны отрицательные тренды, красным – положительные. Яркость определяет величину тренда.



На нижнем графике показаны сезонные вариации коэффициентов линейного тренда в указанной точке (шкала соответствует °C за год)

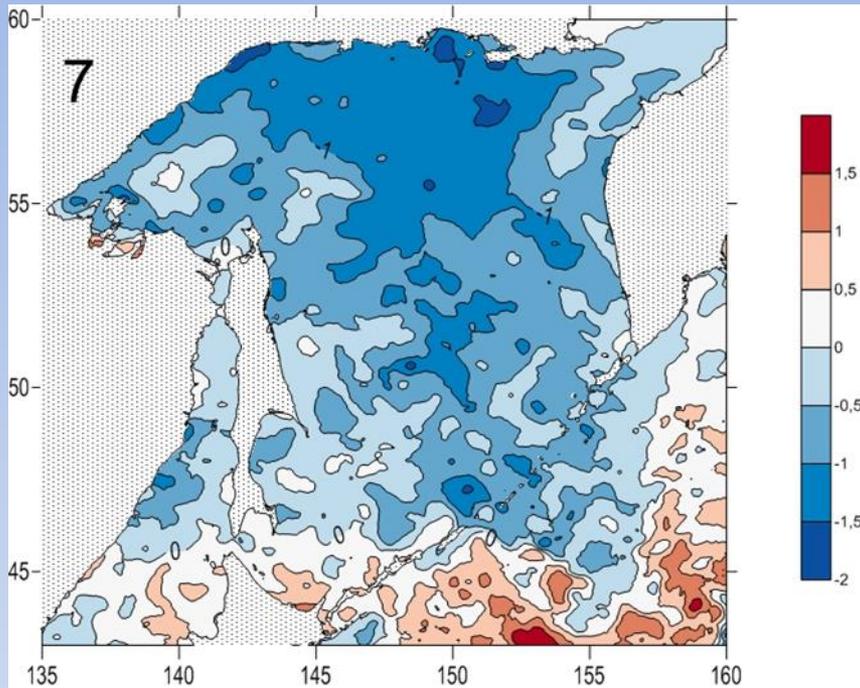
3.1.

Сезонные распределения КЛТ ТПО



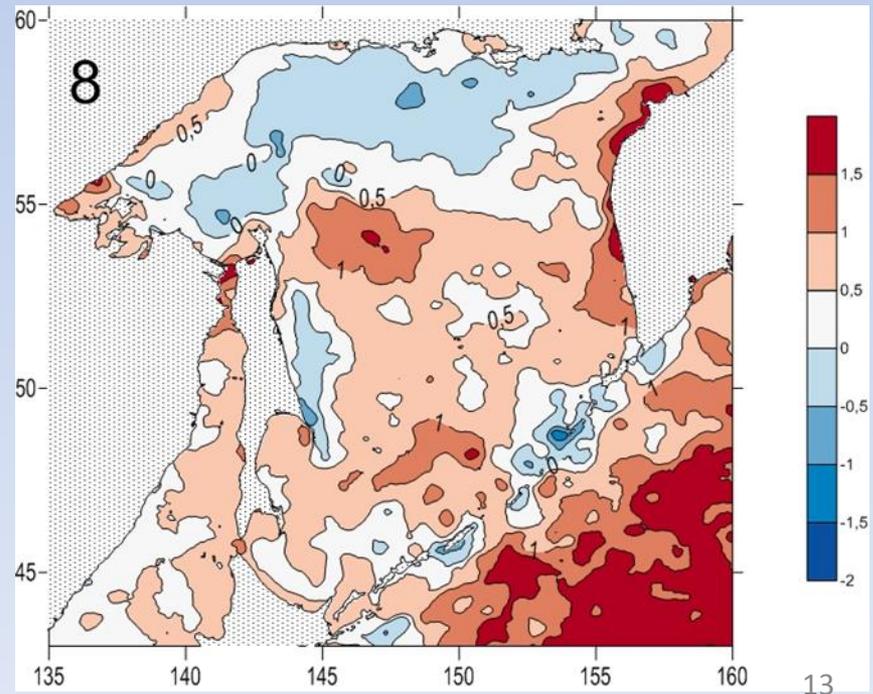
(шкала соответствует изменению температуры в °C за 10 лет)

3.1. Июль и август (сдвиг)



Преобладает тенденция к снижению температуры поверхности моря, тенденция изменяется только в северо-западной части Тихого океана.

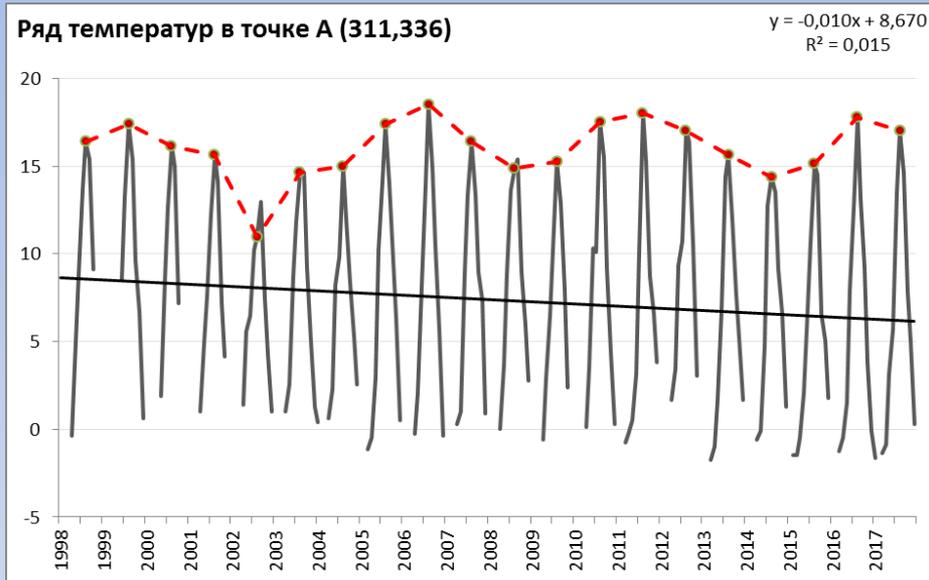
Скорость потепления достигает наибольших значений (около 1.5°C за 10 лет), рост температуры отмечен в центральной части Охотского моря, вдоль западного побережья Камчатки и у юго-восточного побережья Сахалина, в Татарском проливе и Амурском лимане.



3.2. Циклические вариации ТПО

Методика вычисления

Гармонический анализ



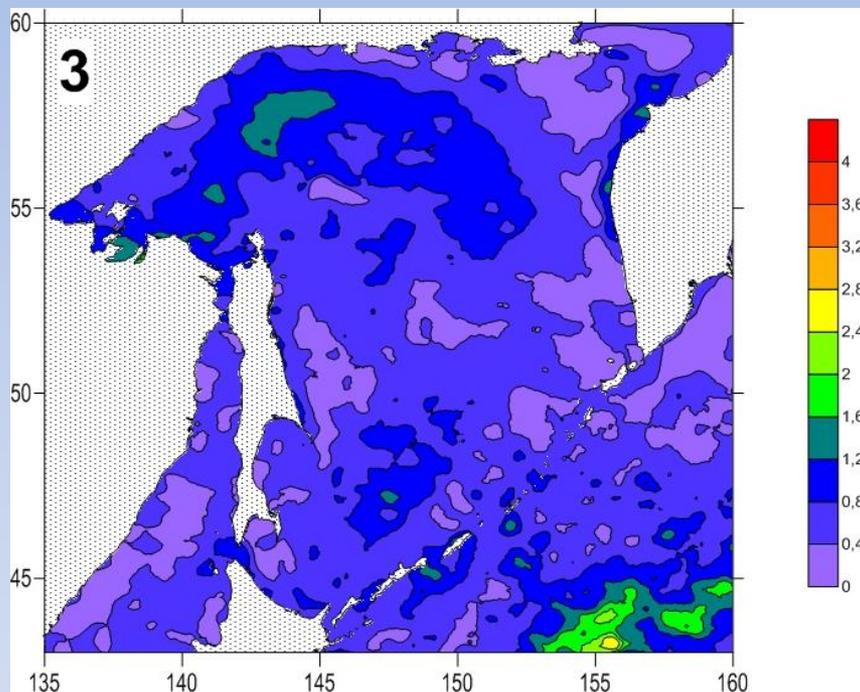
Сезонные вариации ТПО (маркерами отмечена температура в августе, видны ее квазипериодические колебания с периодом 6-7 лет)

1. Из исходного ряда (A) вычитаем тренд (получаем ряд (B_0))
2. Находим ω_0 методом наименьших квадратов функцию $Y = A \cos(\omega_0 t - \varphi)$
3. Вычитаем полученную функцию из ряда (B_0) , получаем ряд (B_1)
4. Повторяем шаг (2) и (3) несколько раз, получая ряды (B_2, \dots, B_N)

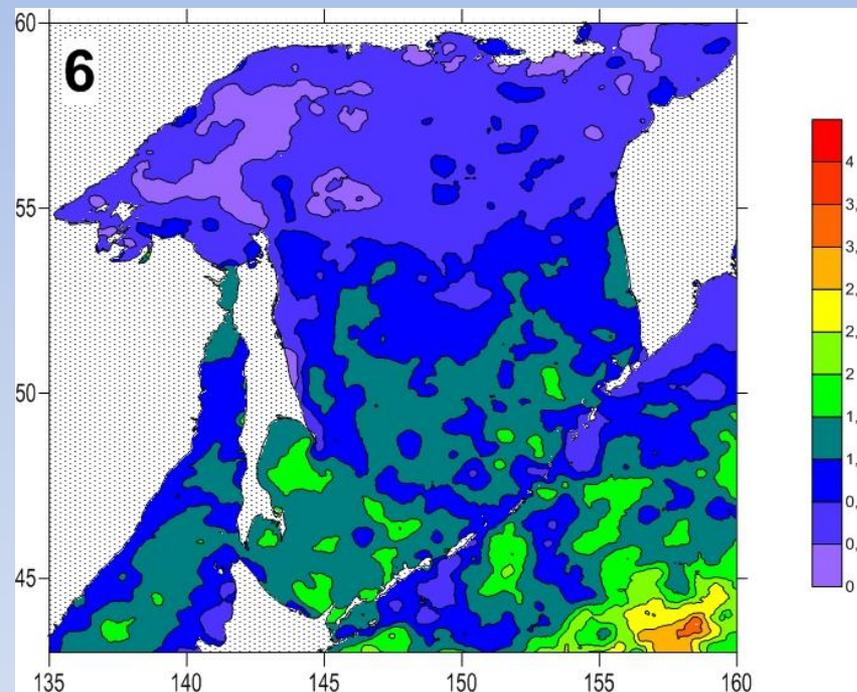
3.2.

Распределение амплитуд гармоник

Период - 3 года



Период - 6 лет

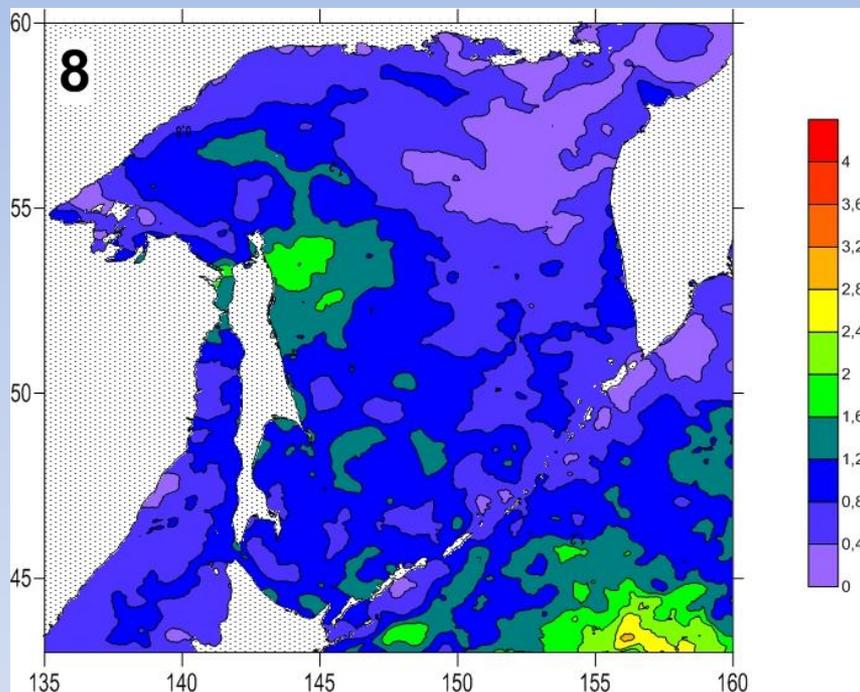


Построены по ряду среднемесячных температур в августе 1998-2018 гг

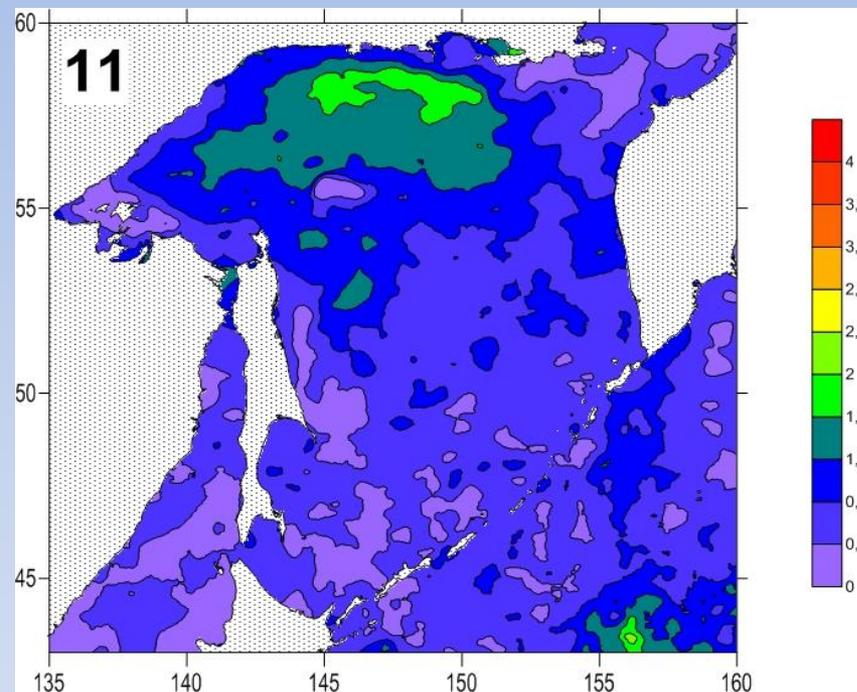
3.2.

Распределение амплитуд гармоник

Период - 8 лет



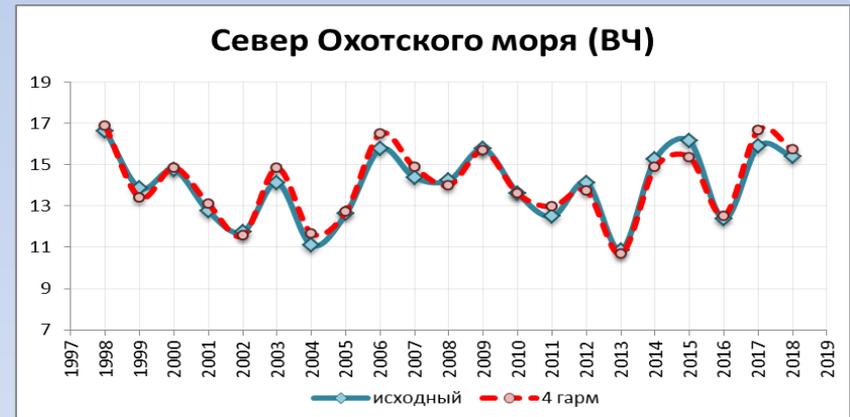
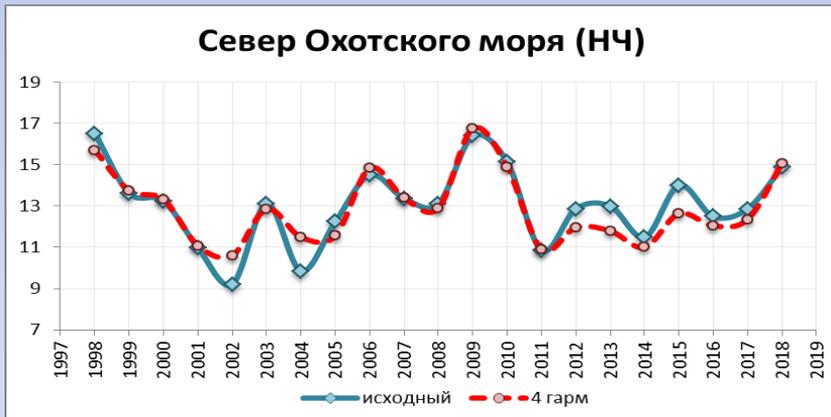
Период - 11 лет



Построены по ряду среднемесячных температур в августе 1998-2018 гг

3.2.

Прогноз ТПО

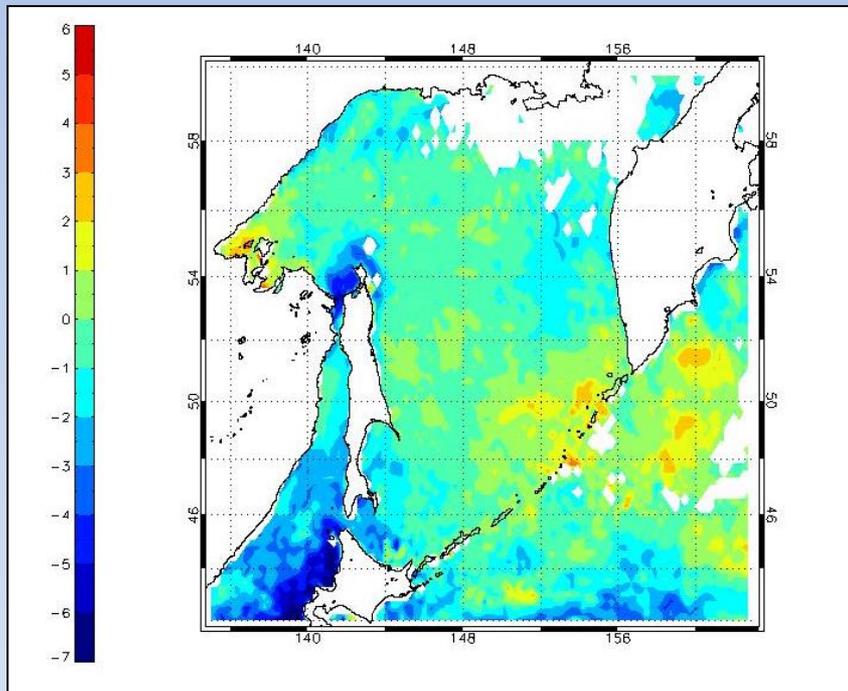


Просуммировав тренд с четырьмя полученными гармониками получаем аналитическую функцию, достаточно близкую к исходному ряду, при этом с ее помощью можно попытаться спрогнозировать ТПО в следующем году.

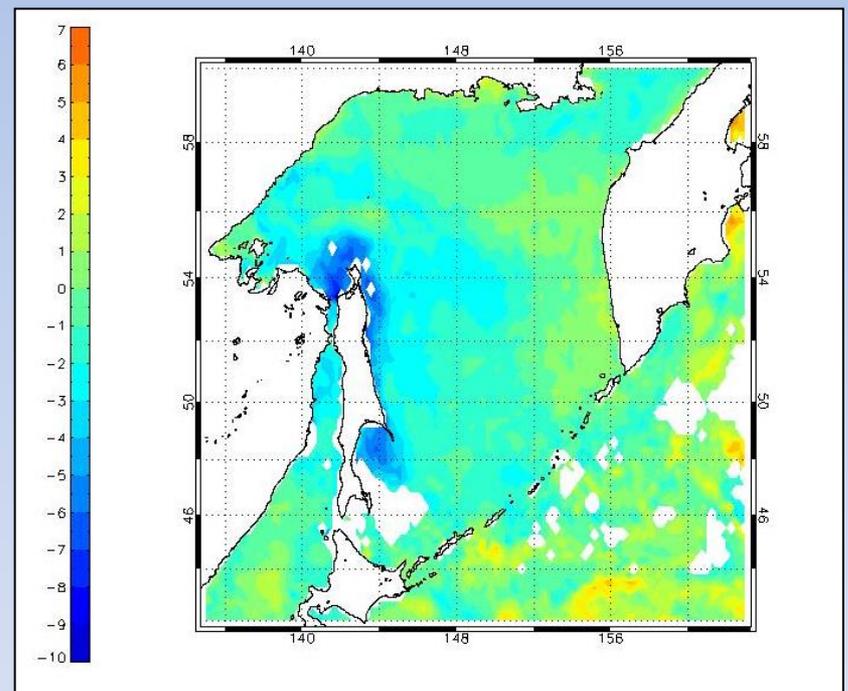
Коэффициент корреляции превышает 90%

Аномалии ТПО

II декада июня 2011 года



III декада июня 2018 года



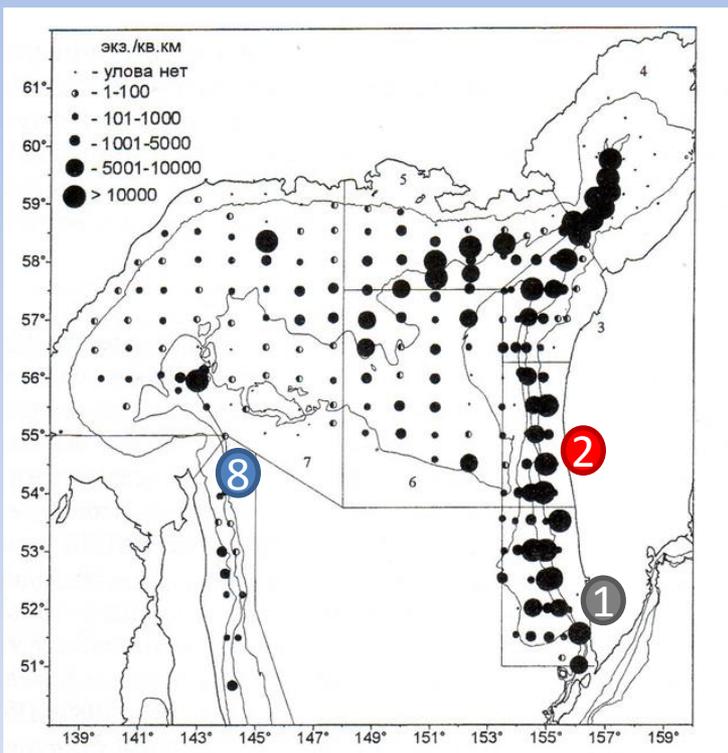
Такие аномалии могут быть предсказаны с помощью циклических компонент

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

4.1.

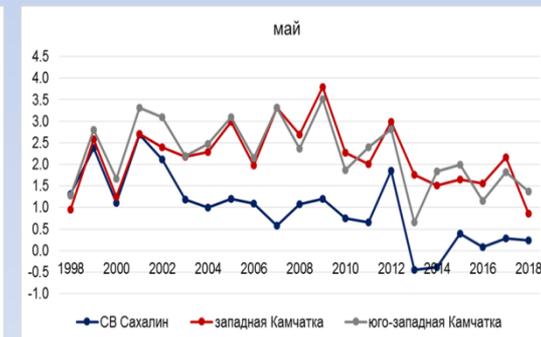
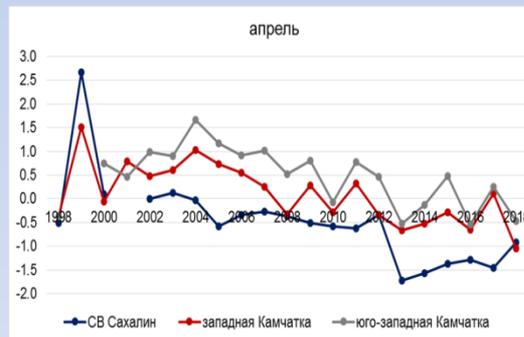
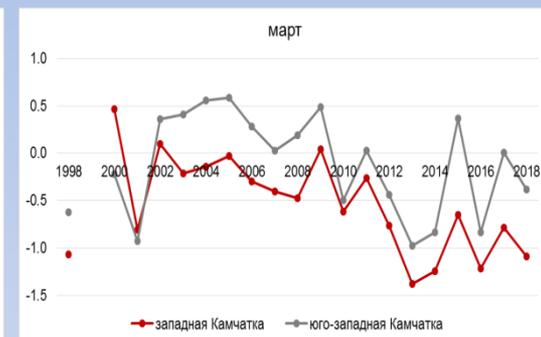
Промысел (нерест) минтая

Карта биостатистических районов



(Авдеев и др.)

Межгодовая изменчивость среднемесячной ТПО в 1, 2 и 8 биостатистическом районе (с февраля по май)



- ① Юго-западная Камчатка
- ② Западная Камчатка
- ⑧ Северо-восток Сахалина

4.2.

Средние даты прогрева

(до оптимальных условий для нагула молоди лососевых - $6,5^{\circ}\text{C}$)

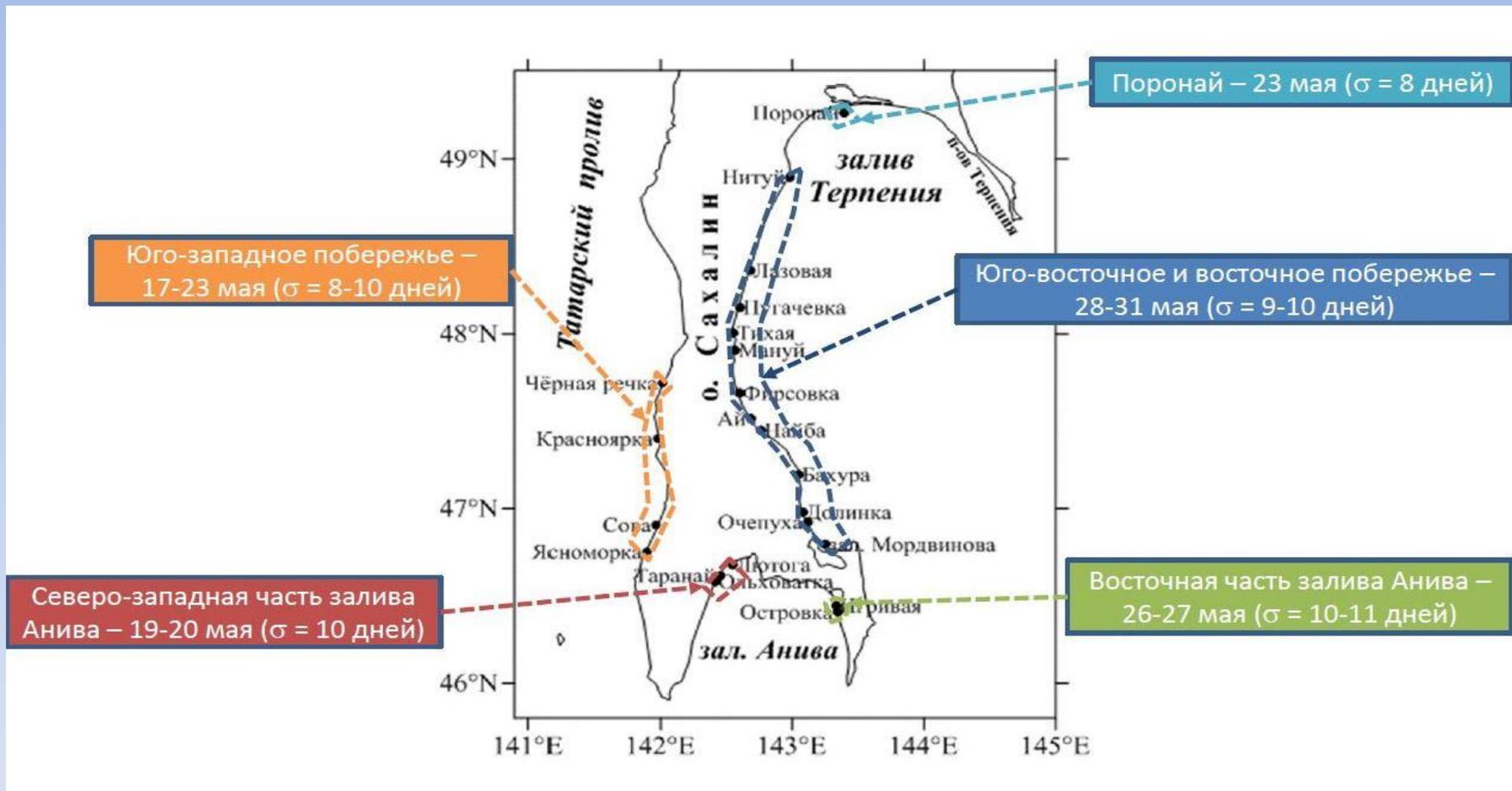


Схема районов, прилегающих к устьям рек с сахалинскими лососевыми рыболовными заводами

Выводы

- В результате выполненного анализа спутниковых данных о температуре поверхности Охотского моря за 21-летний период (1998 – 2018 гг.):
 1. Выявлено снижение среднегодовых значений температуры верхнего слоя вод Охотского моря и прилегающих акваторий. Наиболее значимы отрицательные тренды (скорость снижения 0.5–1.5°C за 10 лет) в северной и западной частях изучаемого бассейна, а также в северной части Татарского пролива Японского моря.
 2. Отрицательные тренды температуры особенно велики весной в акваториях, прилегающих к Сахалину и Южным Курильским островам. Это позволяет связать наблюдаемую тенденцию с уменьшением ледовитости и увеличением глубины зимней конвекции.
 3. Летом в регионе преобладает тенденция к росту температуры поверхности моря, наиболее выражена она в северо-западной части Тихого океана. В Охотском море она отмечена в северо-западной его части, к востоку от северной оконечности о. Сахалин, у северо-западного берега полуострова Камчатка и в некоторых других районах.
 4. Выявлено резкое изменение тенденции в этот период: в июле главную роль играют еще процессы охлаждения поверхностного слоя, а августе максимальное потепление, которое сохраняется в сентябре-октябре.

Выводы

- 5. По ряду среднемесячных температур в августе (1998-2018 гг.) 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.
- 6. Зона влияния основной 6-летней гармонике наиболее обширна и занимает южную половину Охотского моря и всю северную часть Японского моря, ее амплитуда находится в пределах 1–2°C.
- 7. Продемонстрирована возможность прогноза температуры на следующий год «методом последовательных спектров» - в виде комбинации линейного тренда и нескольких основных циклических компонент.
- 8. Разработан программный комплекс, позволяющий автоматизировать процесс расчета коэффициентов линейного тренда, амплитуд и фаз гармоник и других статистических параметров, для произвольной матрицы и длины ряда. В работе обработаны матрицы размерностью 1000x1022 ячейки при длине ряда 20-21 год.
- 9. В качестве прикладной задачи были найдены средние даты наступления благоприятных условий для выпуска молоди лососей, подобные расчеты с учетом мониторинга текущей обстановки позволят снизить потери, связанные с влиянием данного фактора.
- 10. Определены тенденции к снижению температуры в трех важных с точки зрения промысла и нереста минтая биостатистических районах (западная, юго-западная Камчатка, северо-восточный Сахалин).

Научная новизна

- На основе анализа 21-летнего ряда спутниковых данных показано, что температура поверхностного слоя Охотского моря снижается, наиболее существенно – в его северной и западной частях, что является новым результатом. Особенно ярко эта тенденция проявляется весной, что может быть обусловлено более существенным выхолаживанием вод вследствие зимней конвекции при уменьшении площади ледяного покрова, являющегося следствием глобального потепления.
- Впервые гармоническим методом исследована межгодовая изменчивость температуры воды поверхностного слоя в период максимального прогрева (август). Показано, что основную роль в этой изменчивости играют циклические компоненты с периодами около 6, 5, 8, 3 и 11 лет. Определены зоны, в которых данные компоненты играют существенную роль в формировании термического режима. Показана возможность прогноза температуры поверхностного слоя на год вперед с учетом параметров линейного тренда и 4 гармоник с наибольшими амплитудами.

Список публикаций автора

- **Статьи ВАК (2):**

- Ложкин Д. М., Цхай Ж. Р., Шевченко Г. В. Спутниковый мониторинг температурных условий в районах устьев нерестовых рек южной части о. Сахалин. // Исследование Земли из космоса. – 2018. - № 5. – С. 15-22.
- Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным 1998–2017 гг. // Исследование Земли из космоса. - 2019. - № 1. – С. 55–61.

- **Публикации РИНЦ (3):**

- Ложкин Д. М., Цхай Ж. Р., Шевченко Г. В. Температурные условия в районах устьев нерестовых рек южной части о. Сахалин по спутниковым данным. // XVI Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". – 2018. – С. 290.
- Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Основные тенденции изменения температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по спутниковым данным в 1998-2017 гг. // XVI Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". – 2018. – С. 291.
- Ложкин Д. М. Температурные условия в районах устьев рек Сахалина и о. Итуруп для определения срока выпуска молоди с лососёвых рыбопроизводных заводов // XVII Международная конференция по науке и технологиям. Россия-Корея-СНГ. - 2017. - С. 46–51.

- **Тезисы докладов на конференциях (3):**

- Шевченко Г. В., Цхай Ж. Р., Ложкин Д. М. Спутниковый мониторинг термических условий у побережья о. Сахалин в период ската и нереста тихоокеанских лососей // Искусственное воспроизводство тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России: Научная конференция. - 2018. - С. 40.
- Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Тренды температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по результатам спутникового мониторинга в 1998-2017 гг. // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. - 2019. - С. 97.
- Ложкин Д. М., Шевченко Г. В. Циклические вариации температуры поверхности Охотского моря и прилегающих акваторий по данным спутниковых наблюдений в 1998-2018 гг. // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. - 2019. - С. 98.

Апробация работы

- Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, были представлены на международных и всероссийских научных мероприятиях, в том числе:
 1. XVII Международной конференции по науке и технологиям Россия-Корея-СНГ 15-17 июня 2017 г., г. Южно-Сахалинск;
 2. XVI Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса» 12 - 16 ноября 2018 г., г. Москва;
 3. Круглый стол «Изменение климата, возможные риски и пути адаптации к ним рыболовства» 15 марта 2019 г., г. Москва;
 4. III международной научной конференции «Геодинамические процессы и природные катастрофы» 27-31 мая 2019 г., г. Южно-Сахалинск.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!

Личный вклад автора

- Автор самостоятельно разработал вышеупомянутый программный комплекс **BIN_READ** для расчета различных статистических параметров, произвел расчет коэффициентов линейных трендов, амплитуд и фаз гармоник и других статистических параметров с помощью данного программного комплекса построил карты пространственного распределения перечисленных выше параметров.
- Также автор рассчитал средние многолетние даты наступления благоприятных условий для выпуска молоди лососей в районах, прилегающих к устьям рек, на которых расположены лососевые рыболовные заводы (ЛРЗ).
- Вместе с соавторами участвовал в подготовке публикаций по теме работы, обобщении материала и формулировке выводов.