



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Тепловые условия вод Северной Атлантики в районах нагула атлантического лосося

Исполнитель Карташов Илья Александрович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Содержание

Введение	4
1 Арел атлантического лосося: районирование, абиотические условия	6
1.1 Районирование ареала атлантического лосося	6
1.2 Условия среды	9
1.3 Долгопериодные тенденции изменения абиотических условий в ареале атлантического лосося	15
2 Материалы и методы	20
2.1 Район исследования и характеристики исходных данных	20
2.2 Методы анализа	24
3. Анализ тепловых условий вод Северной Атлантики в районах нагула атлантического лосося	27
3.1 Результаты расчета описательных статистик и тренд-анализ исследуемых рядов	27
3.2 Результаты кластерного анализа межгодовых изменений тепловых условий исследуемых акватории Северной Атлантики и динамика уловов	31
3.3 Возможность прогноза доли мультизимных особей в уловах атлантического лосося и общего улова по данным о тепловых условиях в районах нагула	38
Заключение	43
Список литературы	44
Приложение А - Оценочные показатели морской эксплуатации различных запасов атлантического лосося в Северной Америке и Европе	47

Лист сокращений

NASCO	–	North Atlantic Salmon Conservation Organization
ACI	–	Меридиональный индекс атмосферной циркуляции
FAO	–	Всемирная продовольственная организация
ТПО	–	Температура поверхности океана
WGAS	–	Working group on Atlantic salmon

Введение

С начала 90-х годов XX века наблюдается отрицательная динамика в уловах одного из ценных объектов промысла – атлантического лосося. Эта тенденция характерна для практически для всего ареала. Наиболее вероятной причиной сложившейся ситуации является нерациональное использование данного ресурса: перелов, браконьерство. В 1983 году вступила в силу Конвенция о сохранении лосося в северной части Атлантического океана, запрещающая его вылов в море, а в 1984 была создана организация NASCO (NASCO – North Atlantic Salmon Conservation Organization) [1].

С другой стороны, сокращение уловов атлантического лосося совпало с резкими изменениями климата в пределах его ареала, что так же могло сказаться на динамике уловов. Температура воды является одним из распространённых предикторов в моделях различной заблаговременности прогноза уловов/запасов гидробионтов. Механизмы влияния температуры воды на состояние популяций атлантического лосося достаточно сложны. Так температура воды во многом определяет состояние кормовой базы, метаболизм самих объектов промысла, границы ареала, продолжительность речного периода жизни и морского нагула [2].

Целью данного исследования являлся анализ межгодовых изменений тепловых условий вод в разных частях нагульного ареала лосося в Северной Атлантике.

Задачами работы были:

1. рассмотреть на основе опубликованных источников механизмы влияния изменений абиотических условий на состояние промысловых популяций атлантического лосося;

2. подготовить массивы данных о температуре воды исследуемых районов и ряды, характеризующие промысел атлантического лосося, нагуливающего в различных частях ареала
3. выполнить расчёт описательных статистик и тренд-анализ подготовленных рядов;
4. используя кластерный анализ проследить межгодовые изменения тепловых условий для каждого из исследуемых участков акватории;
5. сопоставить изменчивость тепловых условий и динамику уловов атлантического лосося из разных частей ареала;
6. составить прогностические модели для определения доли мультизимных особей в уловах атлантического лосося и общего улова и оценить их качество

1 Ареал атлантического лосося: районирование, абиотические условия

1.1 Районирование ареала атлантического лосося

Семейство лососёвых можно разделить на два рода – тихоокеанский и атлантический лосось. В северной части Тихого океана обитают семь видов тихоокеанских лососей (горбуша, кета, нерка, кижуч, чавыча, сима, амаго). В водных объектах азиатского и американского материков воспроизводятся первые пять, а в южной части на азиатском побережье – два последних [3]. В северной части Атлантического океана и его морях обитают атлантический (благородный) лосось, кумжа и другие представители семейства.

Атлантический лосось является анадромным видом, для которого характерны проходная и жилая формы.

Жилая форма после рождения остается в пресных водах, в то время как проходные лососи нагуливаются в море и возвращаются в начале половой зрелости в родные реки, в которых вылупились из икры. Жилые формы обитают в реках России и северной Европы. Проходные – в северной части Атлантического океана, нерестясь в реках Европы, восточной части Северной Америки и в западных реках России

В местах нагула половозрелые особи могут проводить как один год и возвращаться в реки, таких называют – тинда, так и несколько лет – крупный лосось. Основной рацион питания в морской среде составляют некоторые виды рыб, кальмары и креветки. Относительно нереста лосось разделяется на две группы, особи, которые нерестятся впервые – рекруты; остаток – повторно нерестующие рыбы.

Нерест происходит в нескольких районах. Восточная часть ареала приходится на русский Север, где протекают такие крупные лососёвые реки,

как Северная Двина, Печора, Мезень. Североамериканская группа нерестится в реках восточного побережья Северной Америки (бассейны реки Гудзон) и Канады (провинция Квебек, Ньюфаундленд и Лабрадор в таких реках как, например, Кагалук, Адлаток, Макковик), также в озёрах встречаются непроходные виды.

Таким образом, его ареал можно разделить на две зоны – репродуктивную и нагульную. Репродуктивная часть ареала – это горные и полугорные реки, а нагульная часть – это воды Северной Атлантики и восточной части Северного Ледовитого океана, а также относительно замкнутая акватория Балтийского моря и континентальные озера. Ареал атлантического лосося представлен на рисунке 1.1.

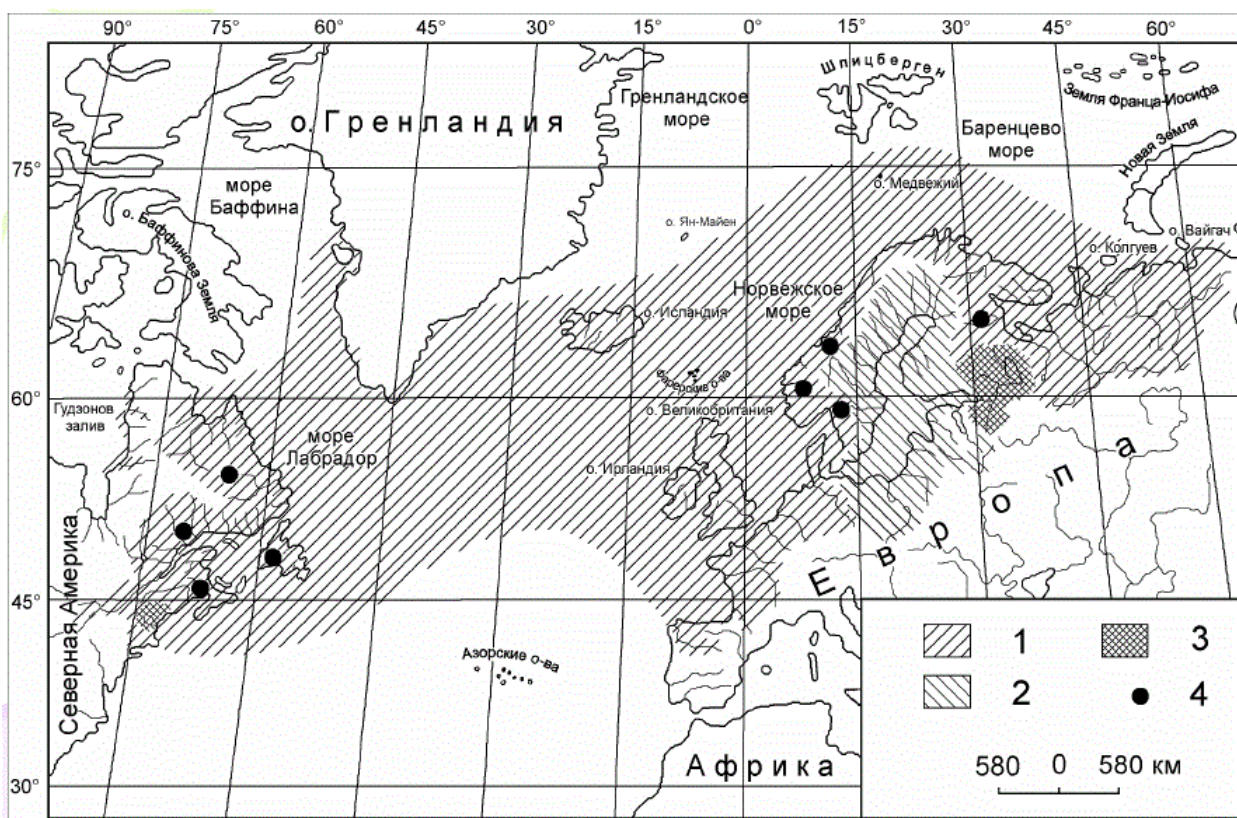


Рисунок 1.1 - Ареал атлантического лосося (1- проходная океаническая форма, 2- балтийский лосось, 3 – проходная пресноводная форма, 4 – жилая пресноводная форма) [4]

В свою очередь по месту нереста атлантического лосося ареал можно разделить на две части:

- северо-американскую: нагул - в районе о. Ньюфаундленд и море Лабрадор, нерест - в реках Северной Америки;
- европейскую: с районом нагула в южной части Баренцева, Северном и Норвежском морях, а также в районе о. Исландия, и нерестом в реках Европы.

Также из европейской группы можно выделить особую популяцию атлантического лосося, у которого происходит нагул в Балтийском море и нерест впадающих в него реках.

Нерестовый ареал может быть районирован по гидрологическим условиям в реках. Эллиотом с соавторами[5] в 1998 году было предложено выделять 5 районов, отличающихся по питанию, протяженности, гидрологическим фазам, температуре воды и другим абиотическим характеристикам рек (рисунок 1.2).

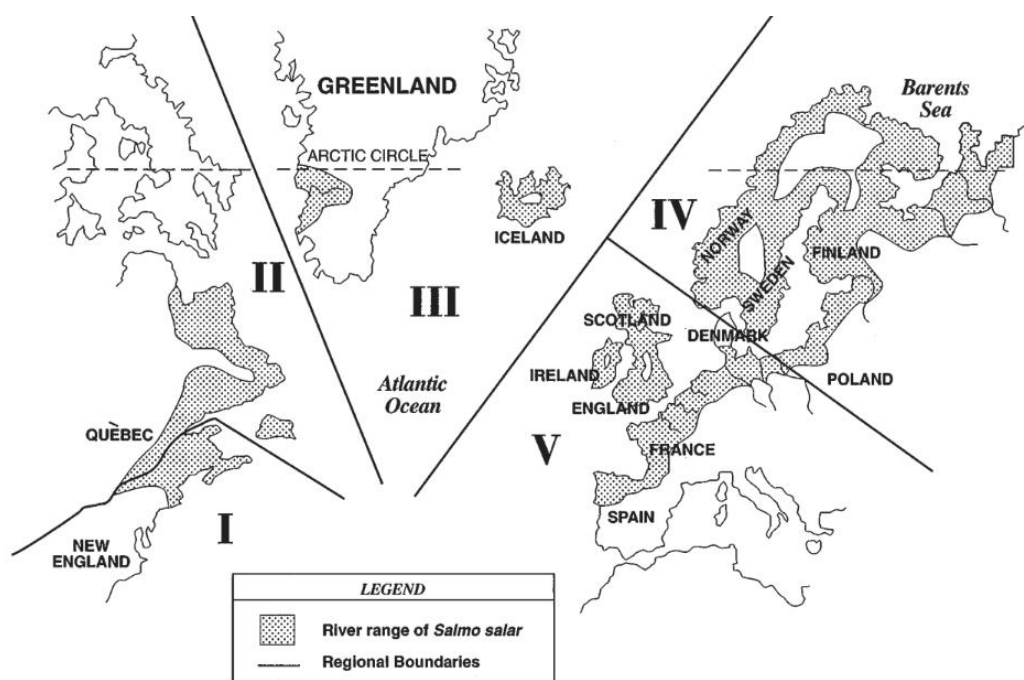
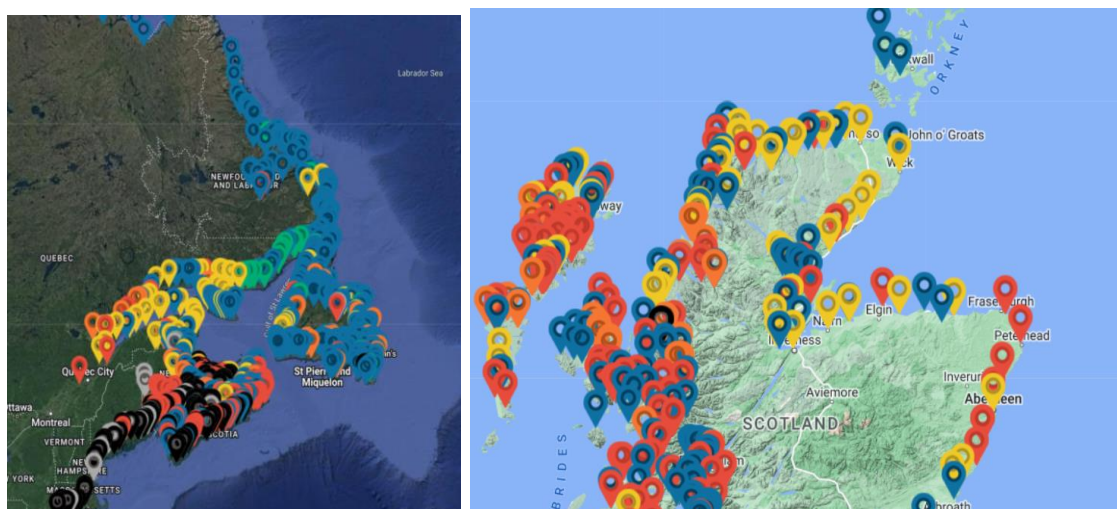


Рисунок 1.2 Районирование нерестового ареала атлантического лосося по гидрологическим условиям в реках [5]

По степени сохранности популяции выделяют реки с благополучным состоянием, утраченные, под угрозой потери, восстановленные, искусственно

воспроизводимые. Создана карта лососевых рек Северной Атлантики, разработанная Организацией по сохранению Североатлантического лосося (NASCO – North Atlantic Salmon Conservation Organization), существующей с 1984 года. Целью организации является сохранение, восстановление и рациональное использование атлантического лосося путем международного сотрудничества стран (Канада, Дания, Европейский союз, Норвегия, Российская Федерация, Соединенное Королевство и Соединенные Штаты Америки) [1]. На рисунке 1.3 приведены фрагменты данной карты для района о. Ньюфаундленд и Шотландии.



(а)

(б)

Рисунок 1.3 - Состояние лососевых рек Канады и США (а), Шотландии(б)
 Зелёный цвет - не подвержены риску, жёлтый- низкий риск, оранжевый- умеренный риск, красный- высокий риск, серый- искусственно поддерживаемый, чёрный- утрачено, синий- нет данных [1].

Для каждой части репродуктивного и нагульного ареалов характерны свои абиотические условия.

1.2 Условия среды

Существование любого вида зависит от условий окружающей среды. Абиотические факторы – это физические или химические условия существования. Основные факторы, влияющие на жизнедеятельность атлантического лосося, можно разделить на биотические, абиотические и антропогенные (рисунок 1.4). Рассмотрим их более подробно.

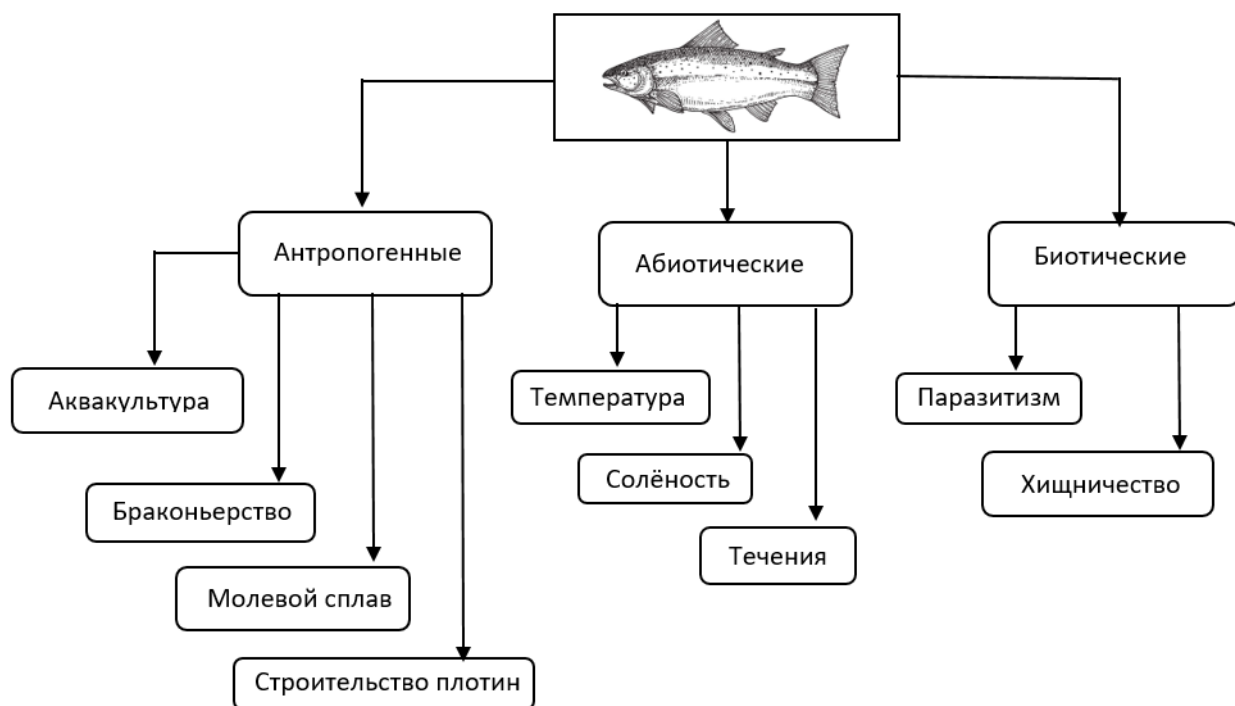


Рисунок 1.4 - Основные факторы, влияющие на жизнедеятельность атлантического лосося

Температура воды – это один из наиболее важных абиотических факторов для атлантического лосося, как и для других видов, влияющий на состояние кормовой базы, метаболизм, питание и, как следствие, рост рыбы (рисунок 1.5).

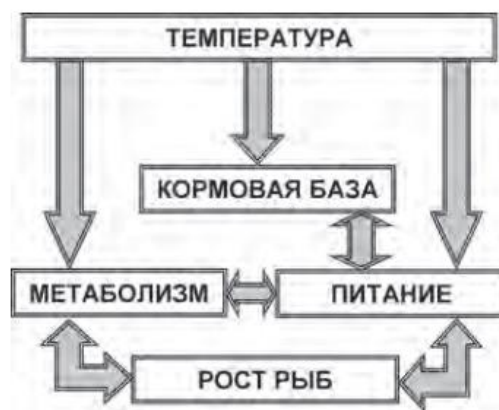


Рисунок 1.5- Влияние температуры воды на рост рыбы [2]

На большей части ареала температура является лимитирующим фактором, а в южной – летом может оказаться даже летальным фактором. В зависимости от температуры находится возраст смолтификации, который характерен для популяции. В реках Кольского полуострова бассейна Баренцева моря отмечено наиболее длительное пребывание рыб до смолтификации, для этих рек характерны наиболее низкие температуры воды [6].

В результате изучения влияния температурных условий на жизнедеятельность атлантического лосося обнаружено существование цикличности в изменении численности отдельных поколений лосося и температурного режима в период их развития. Замечена слабая связь между колебаниями численности поколений и температурой воды в морской период развития [7].

Комфортный температурный диапазон для нагула атлантического лосося - от 4°C до 12°C.[8]

Анадромные виды, такие как атлантический лосось, испытывают как пресноводные, так и морские изменения среды обитания. Тихоокеанские виды лосося расширяют свой ареал в североамериканской Арктике и все чаще добываются в натуральном рыболовстве в западной канадской Арктике. Данные [9] свидетельствуют о том, что атлантический лосось также может смещать свое морское распределение на север с потеплением температуры. За последние два десятилетия в североамериканском комплексе

запасов атлантического лосося наблюдается беспрецедентный спад, который может быть связан с изменением климата, а южные запасы по обе стороны Атлантического океана сокращаются, и многие из них подвергаются риску истребления. Ожидается, что атлантический лосось и другие виды рыб умеренного климата отреагируют на изменение термальной среды обитания созданием новых нерестилищ к северу от нынешних границ ареала, что совпадет с искоренением южных популяций.

Температура воды становится основным фактором и регулятором процесса смены территориального комплекса поведенческих реакций на миграционный. Это и определяет скат смолтов в нагульный водоем и, в некоторых случаях, приводит к их десмолтификации.

Соленость вод. Переходу из речных вод в морские предшествует процесс смолтификации, как адаптация организма к обитанию в условиях солёной воды. Скатывание в морскую воду может способствовать освобождению от паразитов, например, *Gyrodactylus salaris* [4].

Течения. В районе северо-западной части Атлантики холодное Лабрадорское течение встречается с тёплым Гольфстримом в районе острова Ньюфаундленд. Это создаёт фронт с резкими разницами всех характеристик, благодаря чему образуются благоприятные условия для развития первичной продукции и скопление промысловых гидробионтов. Это и обеспечивает хорошую кормовую базу в районе большой Ньюфаундленской банки, где нагуливается атлантический лосось североамериканской группы популяции. Похожая ситуация складывается в районе Исландии, где тёплые воды Северо-Атлантического течения и течения Ирмингера встречаются с холодными водами Гренландского течения (рисунок 1.6).

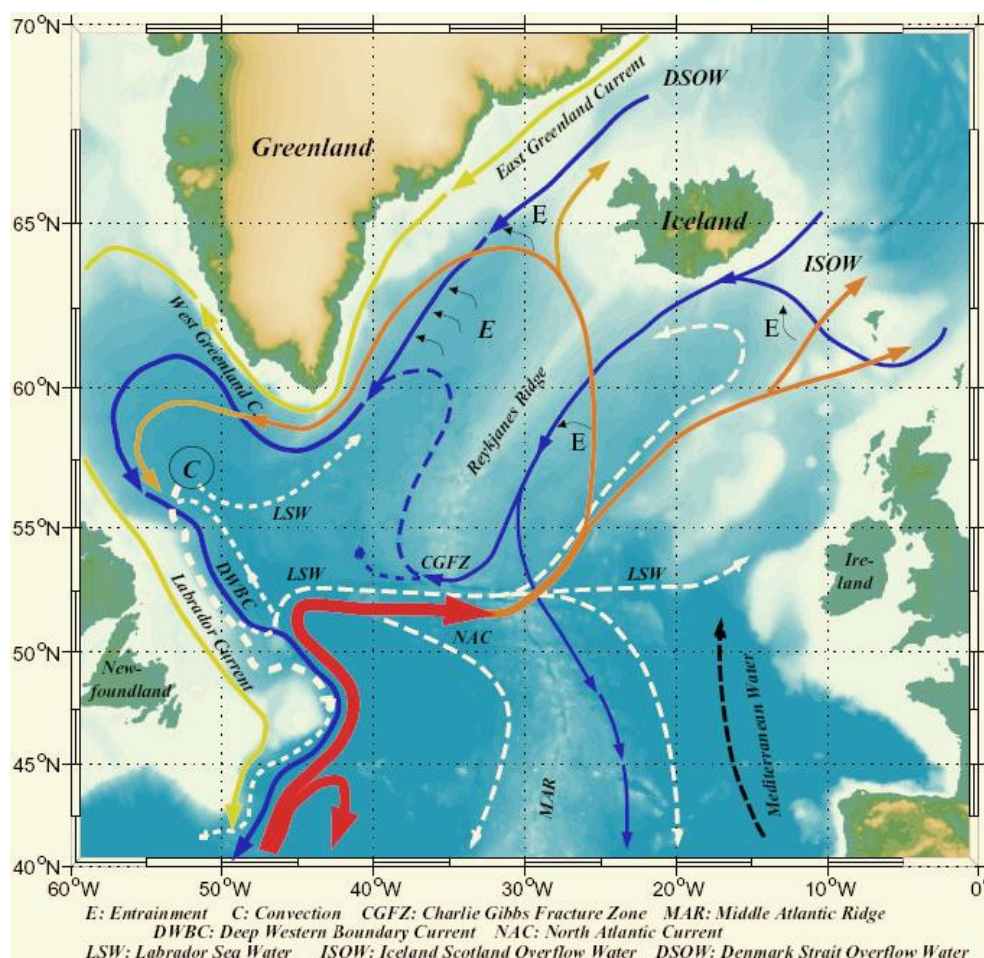


Рисунок 1.6 – Течения Северной Атлантики [5]

Паразитизм. Атлантический лосось подвержен примерно 80 болезням и паразитам, однако немногие из них оказывают значительное воздействие на дикие популяции. Фурункулез (бактериальное заболевание), *Gyrodactylus salaris* (тип паразитического плоского червя) и язвенный дермальный некроз (кожное заболевание) - это три заболевания, которые уничтожили популяции в определенных районах [4].

Хищничество. Молодь лосося в речной период жизни питаются налимом, щука, пресноводная форма кумжи и проходной голец. Также во время ската в море покатники лосося могут подвергаться нападению хищных рыб, а также водных млекопитающих. Некоторые виды рыб и карликовые самцы лосося могут потреблять в период нереста лососёвую икру. В море атлантический лосось входит в рацион питания белухи и касатки. Из отряда

ластоногих кольчатая нерпа питается лососем в устьях рек и заходя даже в сами реки и прибрежные районы [4].

Антропогенное воздействие. На примере рек Вяла, Лямукса, Кола отмечено сильное негативное воздействие лесосплава на условия обитания лосося. Реки стали малопригодны для нереста и обитания молоди. Строительство плотин ГЭС приводит к практически полному уничтожению популяций лосося, что можно наблюдать на реках Паз, Нива, Териберка. Кроме того, следует отметить влияние загрязнения вод промышленными отходами на жизнедеятельность атлантического лосося. При увеличении содержания сульфатов и снижения щелочности даже короткий временной период (5-6 дней) максимального снижения рН оказывает влияние на воспроизводство лососевых [7].

Кроме сбросов промышленных отходов в реки со стоком с сельскохозяйственных угодий поступают пестициды и гербициды, которые особенно негативно влияют на начальные стадии развития лосося.

Браконьерство – один из самых сложно учитываемых факторов антропогенного воздействия на атлантического лосося. По оценкам различным исследований на его долю для отдельных популяций приходится более 50 % вылова [1,10]. Несмотря на запрет лова за рамками промышленного рыболовства, пропущенные в реки рыбы подвергались браконьерскому вылову жителями местных посёлков [4].

Однако следует отметить, что антропогенное воздействие не всегда имеет отрицательную направленность. Одна из мер по сохранению популяций атлантического лосося – практика вылова и выпуска (catch-and-release, C&R). Эта программа распространена в Канаде, США и европейских странах. По мнению ICES, практика C&R – это промежуточный стратегический шаг между сохранением промысла и его полным закрытием [1].

1.3 Долгопериодные тенденции изменения абиотических условий в ареале атлантического лосося

Климат океана, а также климат прилегающей суши через кормовые условия, температуру, осадки, гидрологический и ветровой режим влияют на все этапы жизни Атлантического лосося. Численность пополнения стада Атлантического лосося в во многом зависит от природных условий в первый год морского периода жизни смолтов, что непосредственно отражается на уловах лосося и численности его нерестовой популяции. Долгопериодные изменения уловов атлантического лосося можно рассматривать как достоверный индикатор колебаний его общей численности [11].

По рисунку 1.7 заметно, что уловы лосося в целом по Северной Атлантике и в главных регионах его воспроизводства (Европейском и Американском) возрастали с 1950-х гг., достигли максимума в 1970-х, после чего начали постепенно снижаться. Улов лососей российского Севера составляет менее 10 % от общих, не имеет выраженного максимума, но имеет явную тенденцию к постепенному уменьшению с начала 1960-х.

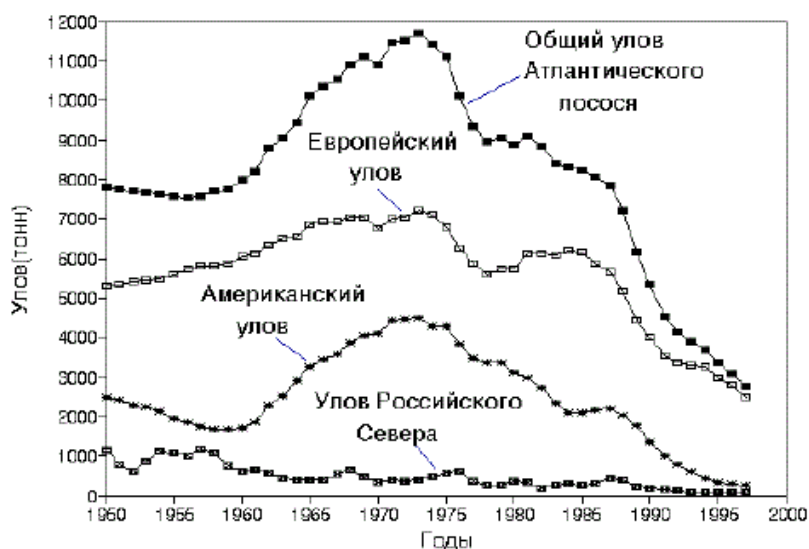


Рисунок 1.7 Уловы Атлантического лосося в главных регионах Северной Атлантики (4-летнее сглаживание) [11]

Исходя из сходства трендов долгопериодных уловов атлантического лосося главных регионов, можно предположить о том, что существуют общие природные факторы, которые определяют динамику популяций лосося.

При сравнении кривых долгопериодных изменений лосося и главных промысловых видов Атлантики (сельди и трески) можно также заметить сходства, которые могут быть обусловлены климатическими изменениями (рисунок 1.8). [11]

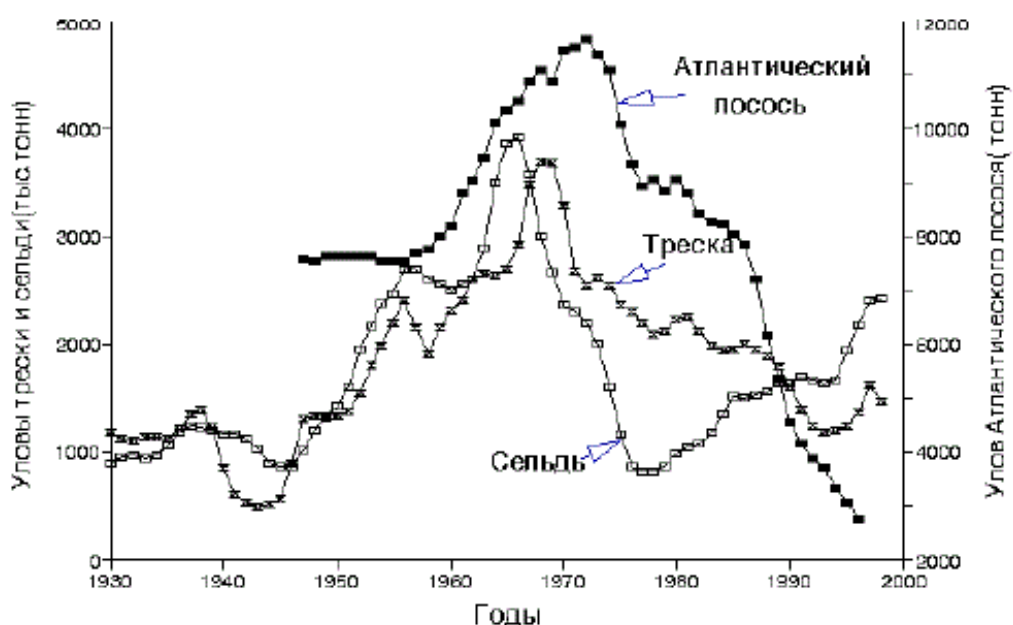


Рисунок 1.8 Динамика уловов Атлантического лосося, Атлантической трески и сельди (4 летнее сглаживание) [11]

В работе Л.Б.Кляшторина [11] показано, что динамика уловов главных промысловых видов Северной Атлантики: трески и сельди тесно коррелирует с ходом «меридионального» индекса атмосферной циркуляции (АСІ), характеризующего перенос воздушных масс, а максимумы уловов приходятся на периоды похолоданий. Динамика уловов Атлантического лосося также хорошо коррелирует с ходом «меридионального» АСІ (коэф. корреляции 0.72) и соответствует динамике общей рыбопродуктивности Северной Атлантики (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9. Динамика уловов Атлантического лосося и «меридионального» АСИ [11]

Влияние изменения температуры воды прослеживается как для уловов атлантического, так и тихоокеанский лососей. Уловы тихоокеанского лосося составляют более 1 млн.т. и превышают улов Атлантического лосося почти в 100 раз. При сравнении долгопериодных трендов уловов лососей Северной Атлантики и Тихого Океана было выявлено, что что 80-летний тренд уловов тихоокеанских лососей тесно коррелирует с ходом «зональной» АСИ. Динамика уловов атлантического лосося, напротив, согласуется с ходом «меридиональной» АСИ, а уловы лососей Северной Атлантики и Северной Пацифики изменяются в противофазе (коэффициент корреляции $r = -0.8$) (рисунок 1.10). Максимумы численности тихоокеанских лососей совпадают с периодами потеплений, а максимум численности атлантического лосося - с периодом похолодания [11].



Рисунок 1.10 Сравнение динамики уловов Атлантического и Тихоокеанских лососей (4-летнее сглаживание) [11]

В соответствии с 60-летней цикличностью изменений меридиональной АСИ можно предполагать, что следующий цикл ее увеличения, начавшийся в конце 1990-х, достигнет максимума в 2020-2030-х [12]. Максимум прошлой “меридиональной” эпохи АСИ 1950-1970-х совпадал с максимумом общей рыбопродуктивности Северной Атлантики и максимумом уловов Атлантического лосося.

Ожидалось в работе Кляшторина Л.Б. [12], что климатические изменения обеспечат значительное повышение уловов атлантического лосося к 2030 году (рисунок 1.11).

Однако, вплоть до 2020 года во всем ареале атлантического лосося, включая хорошо сохранившиеся популяции рек Исландии, по данным Всемирной продовольственной организации (FAO) наблюдалось сокращение уловов данного вида. Роль морского периода нагула атлантического лосося по-прежнему остаётся не до конца изученной.



Рисунок 1.11. Динамика “меридиональной” АСИ и будущих уловов Атлантического лосося [11]

2 Материалы и методы

2.1 Район исследования и характеристики исходных данных

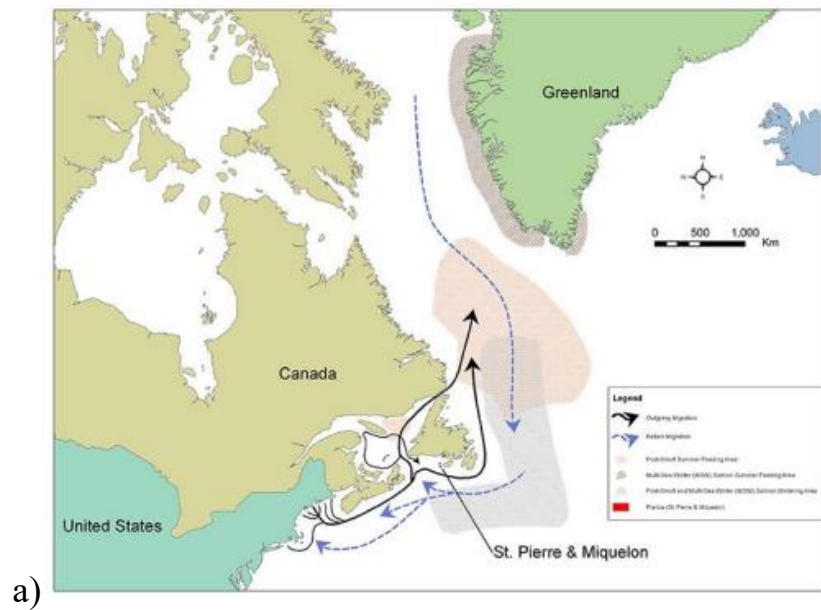
Для исследования влияния температурного режима вод в зоне морского нагула атлантического лосося взят район о. Исландия, так как там происходит основной нагул Европейских особей, а влияние антропогенных факторов на состояние популяций рек острова минимально. Второй район исследования – это район Северо-Западной Атлантики, где происходит нагул Североамериканских особей.

Выбранные районы ограничены координатами 42° с.ш. – 60° с.ш., 42° з.д – 58° з.д.(западный район), координатами 62° с.ш. – 68° с.ш., 10° з.д – 26° з.д. (восточный район). Схемы исследуемых районов представлены на рисунках 2.1 и 2.2.

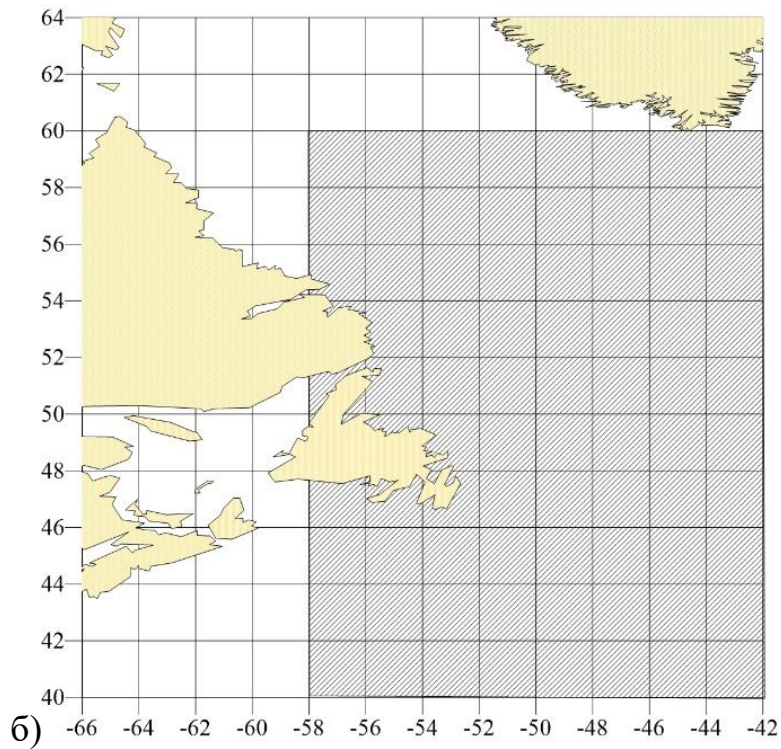
Для изучения температурного режима вод были использованы данные из архива NOAA.NCDC.ERSST.version5 [13]. Массивы данных представляют собой реконструированные среднемесячные значения (ТПО) температуры поверхности океана для выбранных районов исследования. Масштаб сетки $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, период с января 1854 года по январь 2022 года.

Данные об уловах (рисунок 2.3) взяты из отчёта рабочей группы по Североатлантическому лосою за 2020 год [14]. Для Северо-западной Атлантики использовались уловы Канады, для второго района - данные по уловам Исландии и Шотландии. Ряды уловов Шотландии были привлечены для понимания влияния условий нагула на динамику роста рыбы, что выражается в различном количестве мультизимних и однозимних особей.

Характеристика исходных рядов представлена в таблицах 1-2.



a)



б)

Рисунок 2.1 – Западный район исследования - район нагула североамериканской популяции атлантического лосося: а) по данным наблюдений (розовым цветом выделена область нагула тинды (с июля по октябрь), синим – область нагула мультизимних лососей (с ноября по апрель)) [по 23]; б) исследуемая область

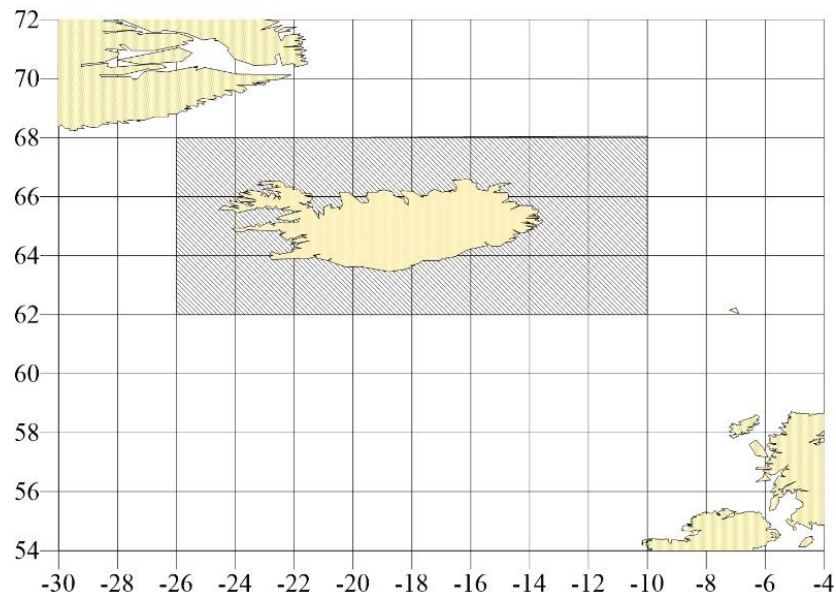


Рисунок 2.2 – Восточный район исследования - часть района нагула Европейской популяции атлантического лосося.

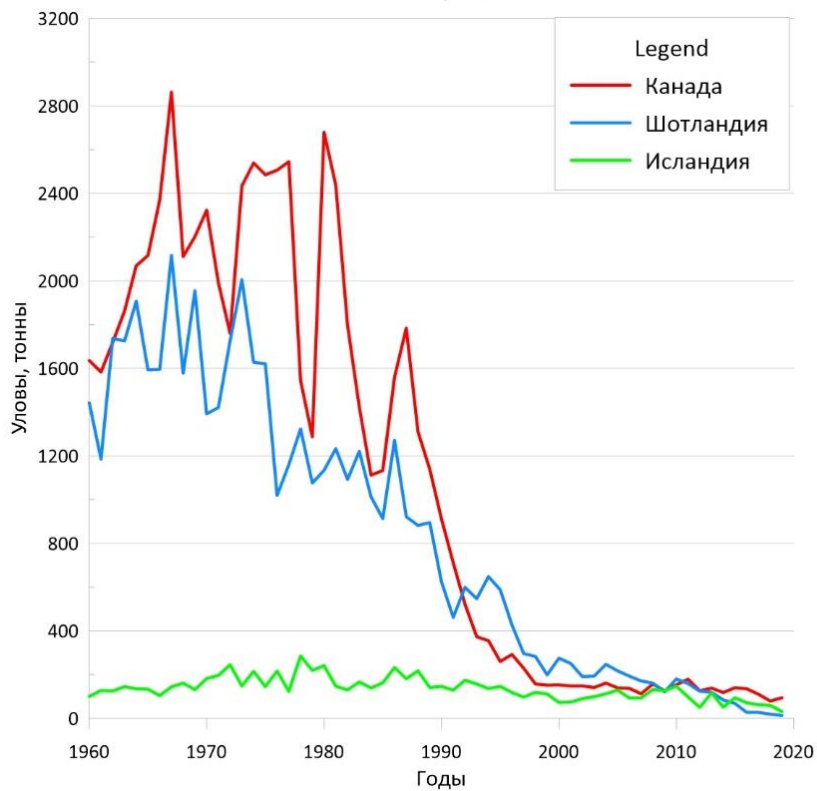


Рисунок 2.3 Общий улов Атлантического лосося Канады, Исландии, Шотландии (по данным [14])

Таблица 1 Характеристика исходных рядов ТПО

Ряд	Период	Дискретность	Источник
Температура поверхности СЗА	1854-2021	среднемесячные	NOAA/NCDC/ERSST/version5
Температура поверхности Исландии	1854-2021	среднемесячные	NOAA/NCDC/ERSST/version5
Температура воды на глубине с 50м по 100м район СЗА	1996-2006	среднемесячные	CARTON-GIESE SODA 2.2.4
Температура воды на глубине с 50м до 100м район Исландии	1996-2006	среднемесячные	CARTON-GIESE SODA 2.2.4

Таблица 2 Характеристика исходных промысловых рядов.

Ряд	Период	Дискретность	Источник
Уловы Канады	Однозимние	1970-2019	Ежегодные
	Мультизимние	1970-2019	Ежегодные
	Общий вылов	1960-2019	Ежегодные
Уловы Шотландии	Однозимние	1960-2019	Ежегодные
	Мультизимние	1960-2019	Ежегодные
	Общий вылов	1960-2019	Ежегодные
Уловы Исландии	1960-2020	Ежегодные	Отчёт рабочей группы по Североатлантическом у лосося за 2020 год

Поскольку атлантический лосось нагуливается в толще воды [8], из базы данных SODA [15] были взяты данные по температуре воды горизонтов: 50 – 100 метров. Данные были усреднены до глубины 75 м. Значительная корреляция ($r=0,75$) данных температуры поверхности и выбранного слоя воды позволяет использовать для дальнейших исследований ТПО.

Также были сформированы два дополнительных ряда для детального изучения структуры современных уловов, в виде доли мультизимных и однозимных особей.

2.2 Методы анализа

Для общей характеристики структуры рядов использовались описательные статистики, рассчитанные с помощью пакета «Анализ данных» Excel Microsoft Office.

На начальном этапе исследования внутренней структуры временных рядов требуется выявить его стационарность или нестационарность, для чего используется тренд-анализ. Под трендовой составляющей понимают некоторое медленное изменение процесса с периодом, превышающим длину выборки [16,17].

Линейный тренд задаётся формулой

$$y = a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (1)$$

Нелинейный (квадратичный) тренд задаётся формулой

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (2)$$

Далее производилась оценка значимости тренда- является ли он незначительным или вносит вклад в изменение процесса. Для этого оценивается значимость коэффициента корреляции R (для линейного тренда) или корреляционного отношения η (для нелинейного тренда).

Стоит заметить, что тренд может быть главным (для всего ряда) и локальным (для характерной части ряда). Далее необходимо произвести оценку значимости тренда – вносит ли он вклад в изменение процесса или же является

незначительным, для чего оценивают значимость коэффициента корреляции R (для линейного тренда) или корреляционного отношения η (для нелинейного тренда).

Далее для исследования тепловых условий применялся кластерный анализ..

Кластерный анализ – разбиение множества объектов таким образом, что схожие объекты попадают в одну и ту же категорию (кластер), а объекты из разных кластеров существенно отличаются. Таким образом, кластер – это группа объектов, характеризующихся общим свойством. Цель кластерного анализа – нахождение групп схожих объектов в выборке.

Используемые способы объединения в кластер. Евклидово расстояние – наиболее популярная метрика, является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве. Эта метрика, как и большинство других, чувствительна к изменению единиц измерения осей. Например, если сантиметры перевести в миллиметры, то изменится и исчисляемое расстояние. Поэтому при использовании большинства метрик кластерный анализ предполагает предварительную стандартизацию исходных данных.

Метод Варда – метод, при котором используются методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Метод минимизирует сумму квадратов для любых двух (гипотетических) кластеров, которые могут быть сформированы на каждом шаге. В целом метод представляется очень эффективным, однако он стремится создавать кластеры малого размера. [18]

После выделения кластеров была проведена проверка достоверности различий средних. Для проверки достоверности равенства средних значений был посчитан t-критерий Стьюдента и его эмпирическое значение[16]:

$$t^* = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{N_1 D_1 + N_2 D_2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}}, \quad (3)$$

где

$D1$ и $D2$ – дисперсии двух частей выборки соответственно;

$N1$ и $N2$ – длины соответствующих частей ряда.

Далее определялось критическое значение критерия Стьюдента $t_{кр}$ по уровню значимости $\alpha=0,05$ и числу степеней свободы $\nu=N1+N2-2$,

где $N1$ и $N2$ – длины соответствующих частей ряда.

Для прослеживания связи между гидрометеорологическими рядами, а также уловами разных стран применялся метод корреляции.

Корреляция – показатель, характеризующий степень силы связи между переменными, выраженный числом. Корреляция – это статистическая взаимосвязь двух и более случайных величин.

Корреляционная связь может быть положительной и отрицательной. Положительная корреляционная связь наблюдается, если увеличение среднего значения одной переменной приводит к увеличению среднего значения второй переменной. Отрицательная корреляционная связь прослеживается, если увеличение среднего значения одной переменной приводит к уменьшению среднего значения второй переменной.

Коэффициент корреляции – мера силы связи между случайными величинами. Данный коэффициент может находиться в пределах от -1 до 1. Чем ближе коэффициент к -1 или 1, тем сильнее связь между исследуемыми показателями. Коэффициент корреляции равен нулю, если случайные величины независимы [19].

Для оценки результатов прогнозов рассчитывались экспериментальные функции распределения ошибок и выполнялась проверка на соответствие нормальному закону распределения по критерию χ^2 . Распределение соответствовало нормальному закону при $\chi^2 < \chi_{кр}$.

3. Анализ тепловых условий вод Северной Атлантики в районах нагула атлантического лосося

3.1 Результаты расчета описательных статистик и тренд-анализ исследуемых рядов

Для общего представления о структуре временных рядов среднегодовых значений ТПО по площади нагула Североамериканских и Европейских особей была рассчитана описательная статистика, представленная в таблице 3.

Таблица 3 Описательная статистика среднегодовых значений ТПО по площади нагула в западном и восточной районах исследования.

Характеристика	Среднегодовые ТПО района Исландии	Среднегодовые ТПО района Канады
Среднее значение, °С	5,93	7,82
Стандартная ошибка, °С	0,03	0,04
Стандартное отклонение, °С	0,44	5,42
Коэффициент вариации%	7,46	5,83
Дисперсия%	0,20	0,21
Минимум, °С	4,85	6,74
Максимум, °С	7,10	9,06
Длина выборки	168	168

Как видно из приведённой таблицы 3, более высокие средние значения температуры воды наблюдаются в западном исследуемом районе, это связано с

его географическим расположением. Район нагула Североамериканских особей находится южнее, чем район нагула европейских особей. Как отмечалось ранее (см. пункт 1.2) эти два района подвержены сильному влиянию тёплых и холодных течений. Размах вариации для восточного района составляет 2,25 °С для западного- 2,32 °С. Можно заметить, что температурные максимумы и минимумы для этих территорий не выходят за пределы лимитирующих температур жизнедеятельности лосося (4-13 °С), таким образом данные районы подходят по температуре воды для комфортного существования лосося.

Коэффициент вариации для обеих территорий не превышает 33%, что говорит об отсутствии существенных выбросов значений.

Для проверки согласованности изменений ТПО в районах исследования сделана взаимная корреляция. Значимых коэффициентов корреляции не выявлены.

Далее был выполнен анализ трендов в рядах осреднённой по площади районов ТПО. Выявленные линейные и не линейные тренды представлены на рисунках 3.1 и 3.2.

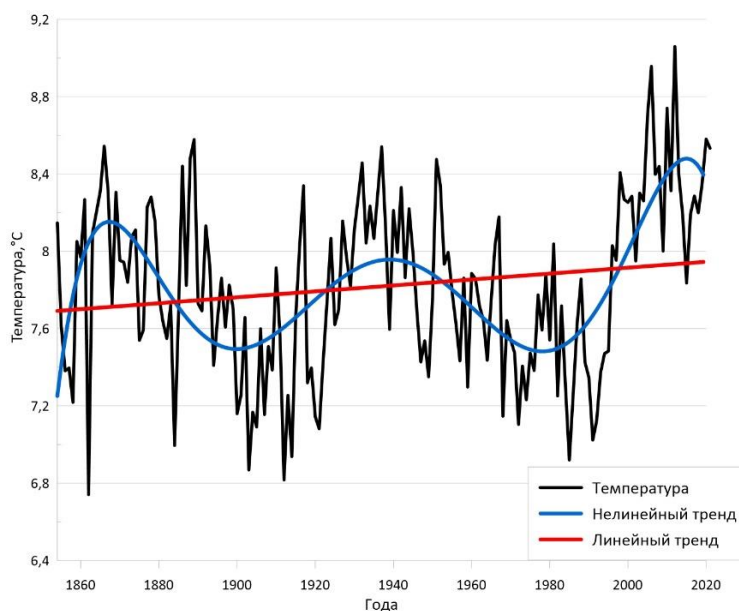


Рисунок 3.1 Изменчивость осреднённой по площади западного района исследования ТПО и трендовые составляющие

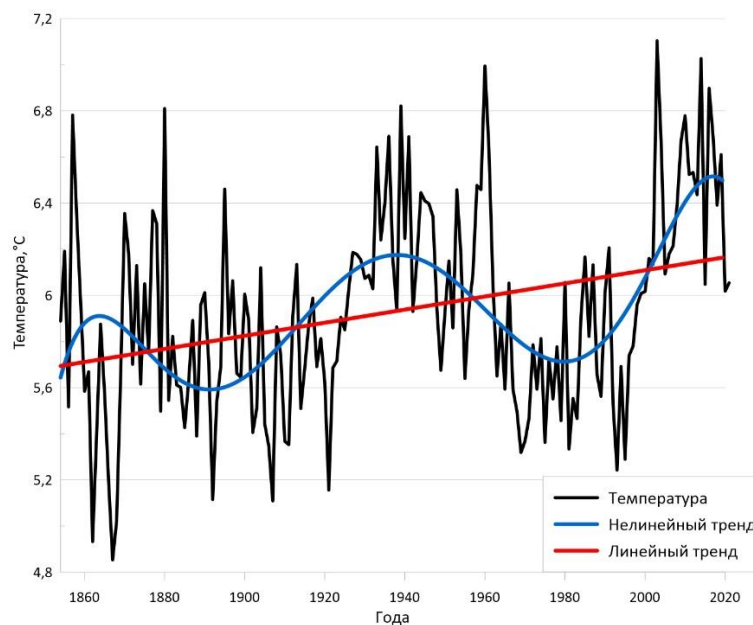


Рисунок 3.2 Изменчивость осреднённой по площади восточного района исследования ТПО и трендовые составляющие

Для района нагула североамериканских особей, при уровне значимости $\alpha=0,05$ трендовая составляющая значима, наибольший дисперсию описывает нелинейный полином 6 степени ($R^2 = 0,37$) Для восточного района схожая ситуация, наибольший дисперсию описывает нелинейный полином 6 степени ($R^2 = 0,29$). Таким образом, трендовая составляющая описывает около 30% изменчивости исследованных рядов.

Анализ описательных статистик рядов уловов (таблицы 5-6) показал, что:

- максимальный вылов атлантического лосося в Шотландии зарегистрирован в 1967 году – 2117 тонн, в Исландии же это 1978 год – 285 тонн. Выборка не является однородной, так как имеется большой разброс в уловах. При этом коэффициент вариации для уловов Исландии значительно ниже чем для промысловых рядов Шотландии;

- минимумы вылова составили для Шотландии 13 тонн, для Исландии 31 тонну. По этим минимальным значениям нельзя судить об абсолютных запасах европейского и североамериканского атлантического лосося, так как 2 марта 1982 г. в Рейкьявике Канадой, Данией в отношении Фарерских островов,

Европейским Экономическим Сообществом, Исландией, Норвегией, Швецией и Соединенными Штатами Америки была подписана Конвенция о сохранении лосося в северной части Атлантического океана. Она вступила в силу 1 октября 1983 г. Согласно п 1. Ст.1 данной Конвенции она применяется к запасам лосося, мигрирующим за пределами районов юрисдикции в области рыболовства прибрежных государств Атлантического океана к северу от 36° северной широты по всему пути их миграции.[20] Однако имеющиеся данные позволяют проследить межгодовые изменения, связанные с колебание численности, так как уловы зависят от нее;

– среднее значение общего вылова Канады превышает аналогичное значение для Шотландии и Исландии. При этом однородность ряда сохраняется для укороченного интервала с 1960 по 1983 годы (до введения запрета на вылов в море). Остальные ряды являются неоднородными (коэффициент вариации более 33%).

Таблица 5 Описательная статистика уловов в Исландии и Шотландии (восточный район)

Характеристика	Шотландия			Общий вылов Исландии
	Мультизимние особи	Однозимние особи	Общий вылов	
Среднее значение, т	495	327	822	136
Среднее квадратическое отклонение, т	391	266	643	52
Коэффициент вариации%	79	81	78	38
Минимум, т	8	5	13	31
Максимум, т	1308	958	2117	285
Длина выборки	60	60	60	60

Таблица 6 Описательная статистика уловов Канады (восточный район)

Характеристика	Мультизимние особи	Однозимние особи	Общий вылов	Уловы с 1960 по 1983 (до введения запрета)
Среднее значение, т	548	341	1083	2095
Среднее квадратическое отклонение, т	618	308	947	432
Коэффициент вариации%	113	90	87	20
Минимум, т	39	39	79	1287
Максимум, т	1883	950	2863	2863
Длина выборки	50	50	60	24

Рассмотрим более подробно межгодовую изменчивость тепловых условий в районах нагула с использованием кластерного анализа.

3.2 Результаты кластерного анализа межгодовых изменений тепловых условий исследуемых акватории Северной Атлантики и динамика уловов

Анализировались температурные ряды с точки зрения среднемесячных и среднегодовых значений. Рассматривались ТПО каждого района нагула как средняя за год, так и отдельно для каждого из месяцев. Целью применения кластерного анализа было выделение лет с однотипными условиями для каждого месяца и года в целом.

Выделенные методом Варда кластеры были идентифицированы как аномально холодный, холодный, нормальный, теплый и аномально теплый. Дендрограммы для среднегодовых значений ТПО (осреднена по площади) для каждого из исследуемых районов представлены на рисунке 3.3

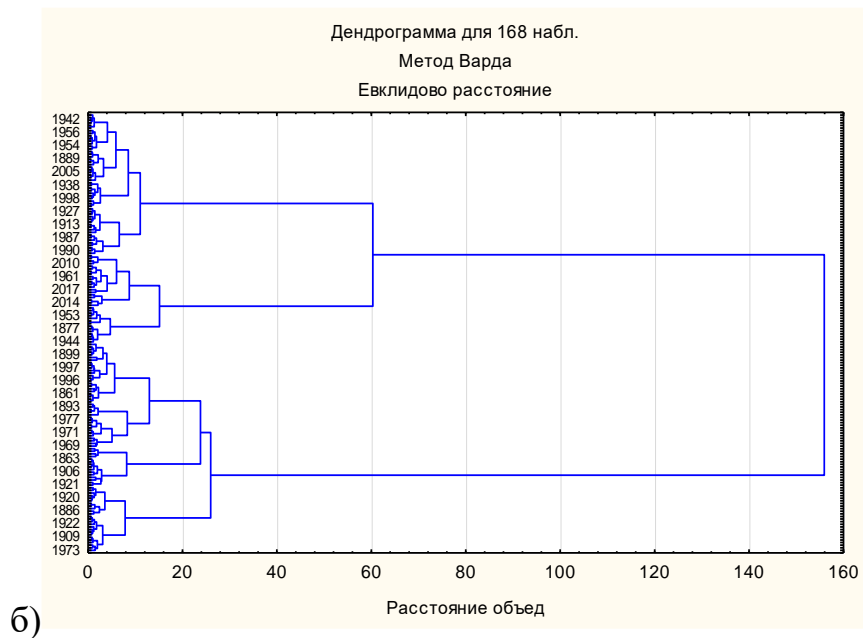
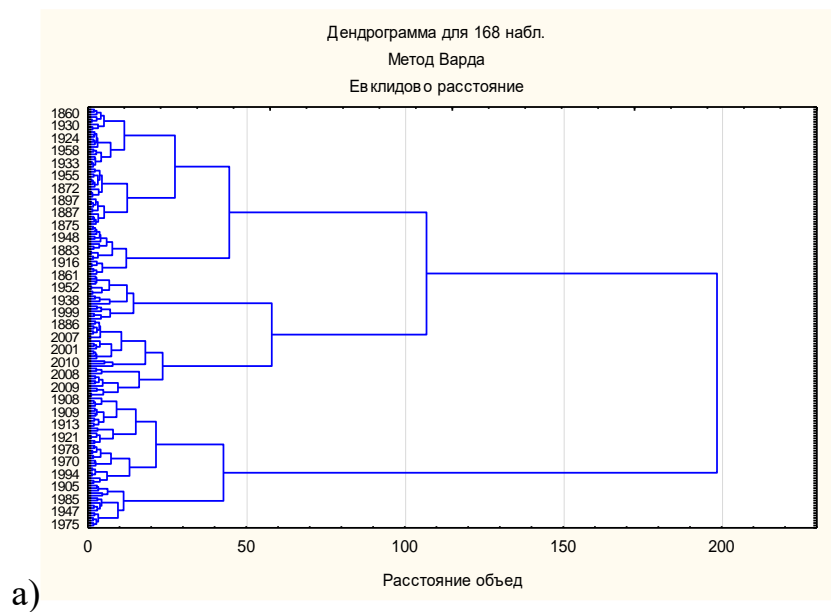


Рисунок 3.3 Дендрограммы для среднегодовых значений ТПО (осреднена по площади) : а) западный район, б) восточный

При выделении однотипных лет по тепловым условиям есть годы когда условия проявляются одинаково для двух районов (таблица 7). Наибольшее влияние на атлантического лосося могут оказывать аномальные температуры воды. В качестве нормы использовалась среднее многолетнее за весь период с 1854-2019 год.

Таблица 7 Годы аномальных тепловых условий в районе нагула атлантического лосося

Года	Аномально холодные	Аномально тёплые
1862	+	
1877		+
1878		+
1907	+	
1911	+	
1921	+	
1936		+
1942		+
1993	+	
1995	+	
2003		+

Года	Аномально холодные	Аномально тёплые
2004		+
2008		+
2009		+
2010		+
2011		+
2012		+
2013		+
2014		+
2016		+
2017		+
2019		+

Анализируя таблицу 7, можно чётко увидеть преобладание аномально тёплых лет с 2003 по 2019 год как в западном, так и в восточном районах исследования. Эти условия должны оказывать влияние на такой холодолюбивый вид как атлантический лосось.

Сопоставим результаты кластерного анализ с имеющимися данными об уловах (рисунок 3.4).

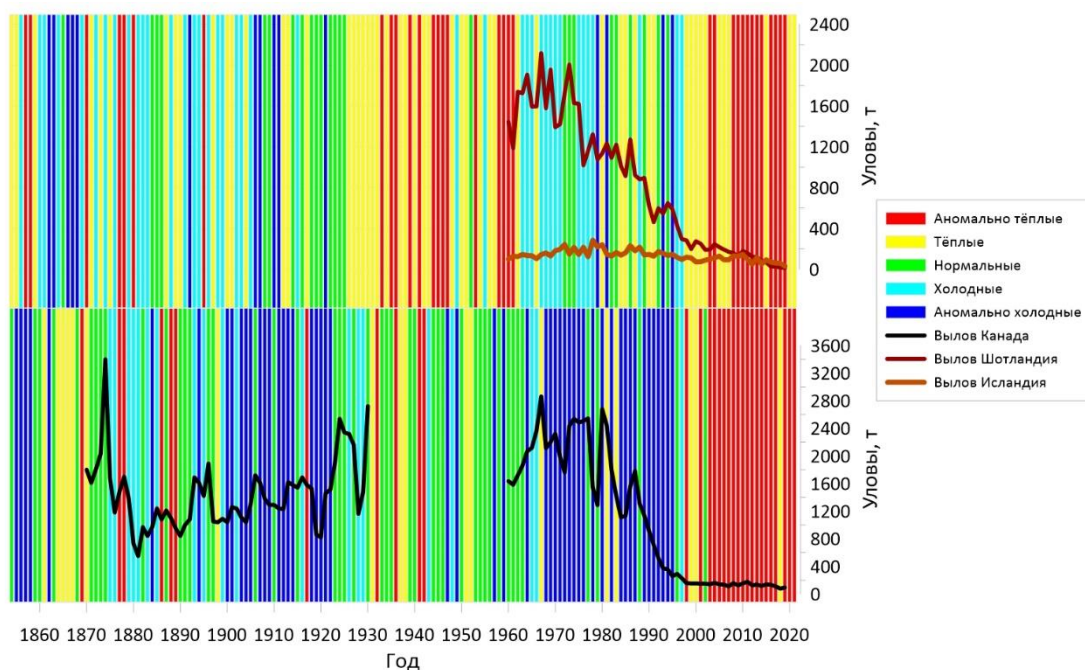


Рисунок 3.4 Среднегодовые тепловые условия в исследуемых районах Северной Атлантике: восточный район (а), западный район (б) и динамика уловов атлантического лосося.

На рисунке 3.4 видно, что для западного района нагула в период с 1900 по 1922 гг. и с 1968 по 1997 гг. преобладали аномально холодные условия, в то время как для восточного района в эти периоды отмечались холодные и нормальные тепловые условия. Начиная с конца 1990-х годов для обоих районов характерны аномально теплые условия.

В уловах Канады и Шотландии наблюдаются общие тенденции снижения уловов с 1990 года. Возможной причиной таких значительных изменений стала резкое потепление климата и нерациональная эксплуатация донного ресурса в 1970-1980-тые годы. Следует заметить, что уловы Исландии снизились, но не столь значительно. Они сохранились приблизительно на близких к предшествующим периоду значения. Это связано с сохранностью популяций в реках острова, которая является одной из наиболее высоких. Это позволяет более достоверно проследить влияние климатических факторов на динамику уловов, если они есть.

Анализ уловов Канады в период с 1870 по 1930 годы показывает, что значительные межгодовые годовые колебания были характерны и ранее. Большие уловы наблюдались в предвоенные годы, дальше данные отсутствуют, однако средний улов был характерен на том же уровне что и в районе девяностых годов XX века. Из-за большого падения в общих уловах Канады и Шотландии, мы переходим к анализу доли мультизимних и однозимних особей.

В статье Dennis L. с соавторами [21] для прогнозов численности уловов атлантического лосося в Исландии использовалась температура морской акватории в отдельные месяцы. Поэтому при помощи кластерного анализа были проанализирована межгодовая изменчивость тепловых условий в отдельные месяцы (рисунок 3.5).

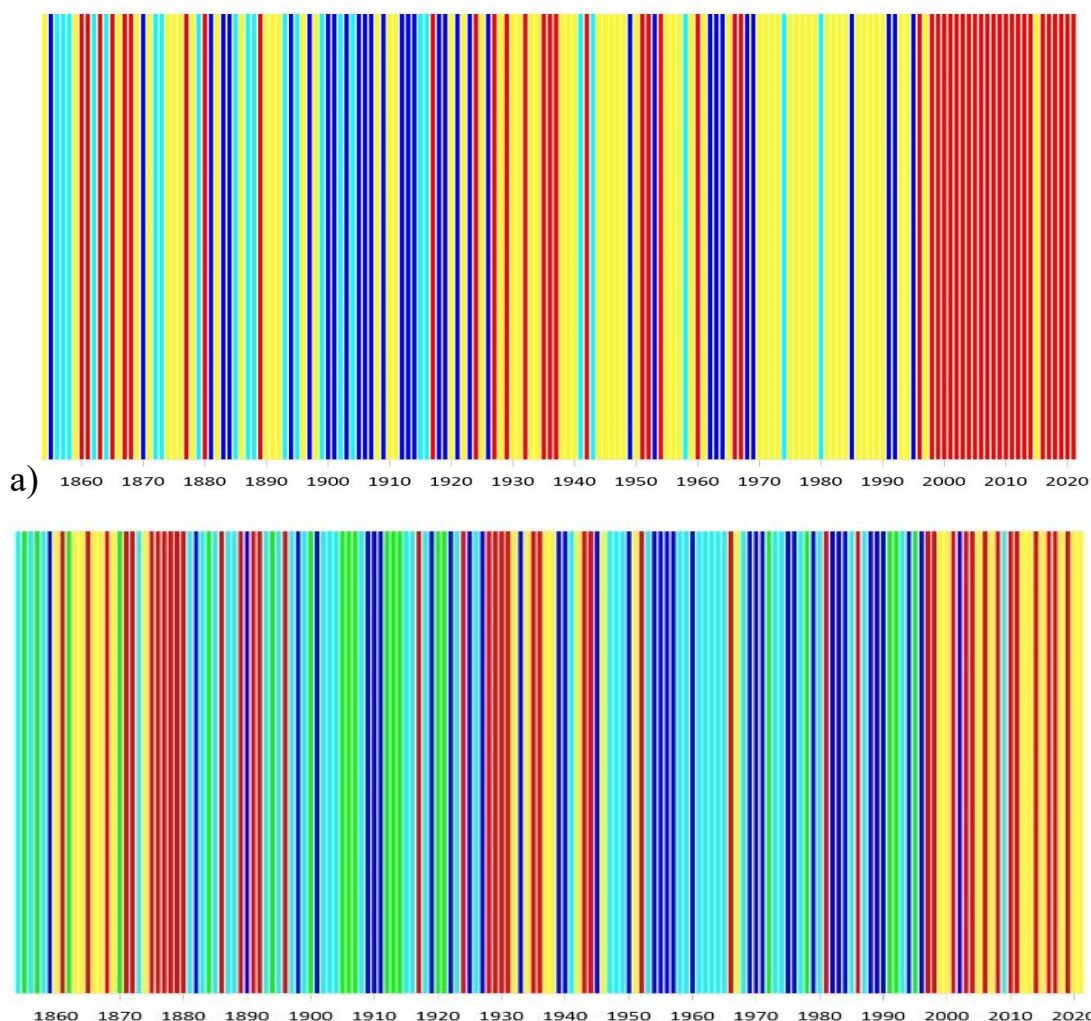


Рисунок 3.5 Тепловые условия в западном районе исследования август (а), сентябрь (б)

Такие же графики для всех месяцев получены и для восточного района. В большинстве из всех построенных графиков видна тенденция увеличения температуры в начале 21 века.

Кроме абсолютных уловов важно, что происходит внутри структуры популяции, потому что в уловах по данным[22] (см. Приложение А) облавливались в Исландии мультимимные особи, в то время как в Канаде облавливались и мультимимные и однозимные особи. Более подробная таблица представлена (см. Приложение А). Для дальнейшей работы так же рассмотрены ряды доли однозимных и мультимимных особей в общем вылове для Канады и Шотландии (см.рисунок 3.6). По общим уловам Шотландии прослеживается

такое же нарушение в структуре как у общих уловах Канады, в Исландии мы такой зависимости не видим, поэтому можно считать, что лосось в Исландии находится в достаточной степени сохранности сейчас.

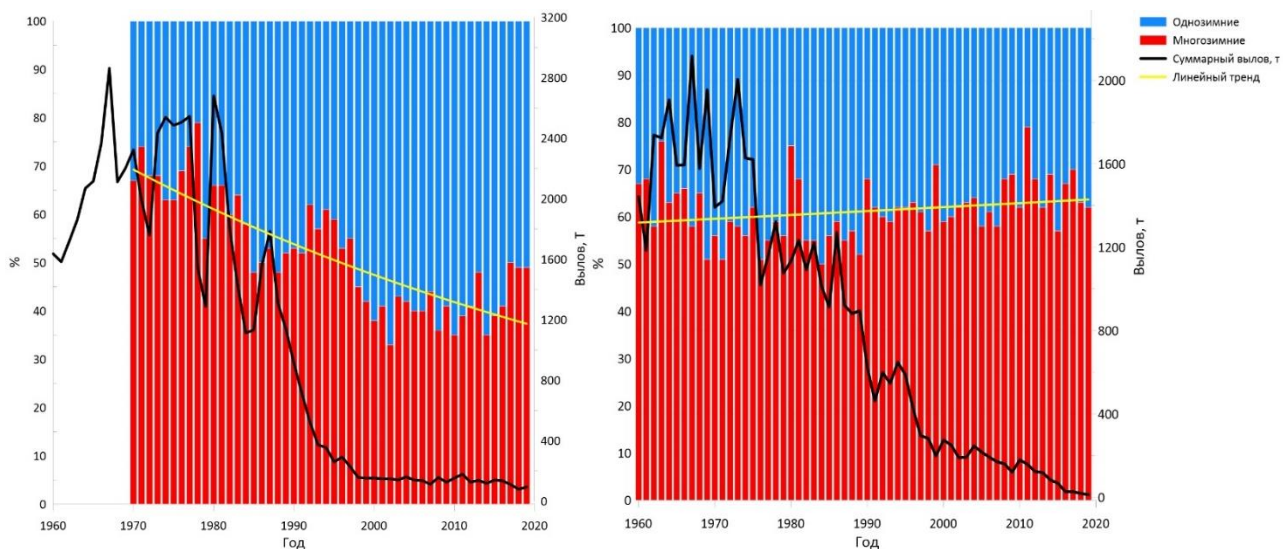


Рисунок 3.6 Доли вылова однозимних и мультимимных особей (а) в уловах Канады, (б) в уловах Шотландии

Не смотря на запрет лова лосося, по графикам видим, что доля мультимимных особей снижается в уловах Канады, с 60-70 % мультимимных в 1970-1980 гг. до 40-50 % в 2000-2019 гг.. В Шотландии ситуация обратная: доля мультимимных не только держится на уровне 60-70 %, но и увеличивается к 2019 году. Возможно это связано именно с температурными различиями районов нагула, и в том числе вклада отдельных месяцев.

Для доли мультимимных особей были построены тренды и оценены на значимость. В районе Исландии линейный тренд мультимимных особей незначим, нелинейный значим, но вклад мал (менее 24 %). Для доли североамериканских мультимимных особей линейный и нелинейный тренд значимы и вносят большой вклад (от 46 % линейный, до 55 % нелинейный).

Рассмотрим график совмещённых среднегодовых температур в двух районах и доли мультимимных особей лосося (рисунок 3.7).

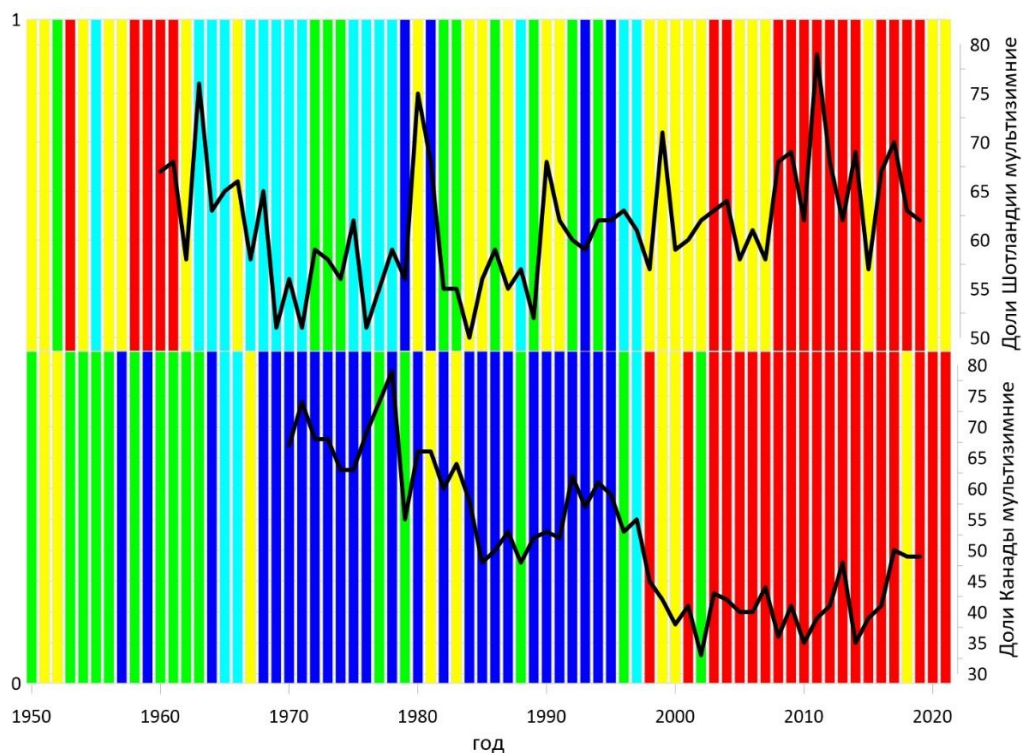


Рисунок 3.7 Тепловые условия в восточном (вверху) и западном (внизу) районах исследования и динамика уловов мультизимных особей атлантического лосося.

По графику так же видим, что для уловов Канады переход из аномально холодных условий в аномально тёплые привёл к тому, что доля мультизимных особей сильно сократилась, в отличии от Шотландии. Это может быть связано с тем, что как раз средние температуры в восточном районе нагула, не смотря на то что она более тёплая в этот период, ниже чем в этот же момент в западном районе. Атлантический лосось вид холодолюбивый и можно считать несмотря на то что температура воды в Исландии теплее, они находятся в тех условиях, которые для него благоприятны. В то время как в периоде с 2000 года в западном районе нагула условия не столь благоприятны, чтобы атлантический лосось зимовал больше чем 1 зиму. Возможно поэтому и сокращаются эта доля. Кроме того, отмеченная в ряде работ гибель молоди [21, 22] в морских условиях так же может быть связана с высокими температурами в период ее ската в море.

3.3 Возможность прогноза доли мультизимних особей в уловах атлантического лосося и общего улова по данным о тепловых условиях в районах нагула

Корреляционный анализ между рядами уловов мультизимных особей (выраженных в процентах от общего улова) и среднегодовых температур воды в выбранных районах нагула позволил выявить значимую связь ($r=0.66$) со сдвигом на 2 года для уловов Канады. Это позволило составить уравнение регрессии для прогноза таких уловов с заблаговременностью в 2 года (так как скатившийся лосось проводит как минимум 2 зимы в море):

$$\text{Доля МЗО}_{Т-2} = 9.15 - 0.025 * \text{ТПО}_{Т-2} \quad (4)$$

Проверка качества прогноза на зависимой (40 значений) и независимой выборке (10 значений) показала, что максимальная ошибка составила 39 % для зависимой выборке и 28;% для независимой. Экспериментальная функция распределения для ошибок прогноза приведена на рисунке 3.8 .



Рисунок 3.8 Экспериментальная функция распределения для ошибок прогноза доли мультимимных особей в уловах Канады для прогностической модели с предиктором – ТПО среднегодовая с заблаговременностью 2 года

Минимальные значения ошибки составили для независимой выборки 4 %, а для зависимой- 2 %. Экспериментальная функция распределения ошибок близка к нормальному закону по критерию χ^2

Прогноз этой доли актуален, так как чем больше мультимимных тем больше шанс, что будет более крупная рыба, икра, выживаемость, как у рыбы так и потомства. Так же важно для того чтобы правильно облавливать, если мы ожидаем что доля мультимимных будет расти, то мы можем их больше изъять.

Так как мы предполагаем, что основной вклад вносят тепловые условия конкретных месяцев, то были составлены и проанализированы прогностические модели с предикторами - ТПО , осредненная по площади района, за отдельные месяцы. Однако более высокого качества прогноза достичь не удалось. На рисунке 3.9 представлена экспериментальная функция распределения ошибки прогноза, построенного с использованием данных о температуре воды в западном районе нагула в августе с заблаговременностью 2 месяца.

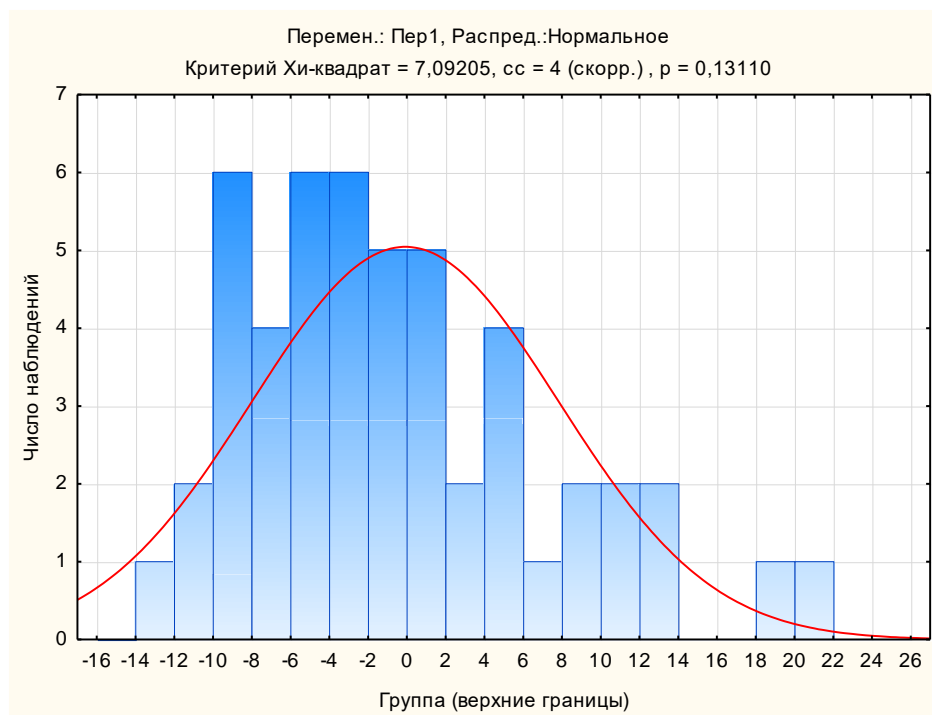


Рисунок 3.9 Экспериментальная функция распределения ошибок прогноза доли мультизимних особей в уловах Канады для прогностической модели с предиктором –ТПО августа с заблаговременностью 2 года

Также были сделаны прогнозы для уловов мультизимних особей (выраженных в процентах от общего улова) Шотландии, уловов Исландии и среднегодовых температур воды в восточном районе нагула. Заблаговременностью в 2 года, так как корреляционная связь там наибольшая ($r=0.45$) для Исландии, ($r=0.40$) для Шотландии:

$$MZO_T = 277.26 - 32.20 * TPO_{T-2} \quad (5)$$

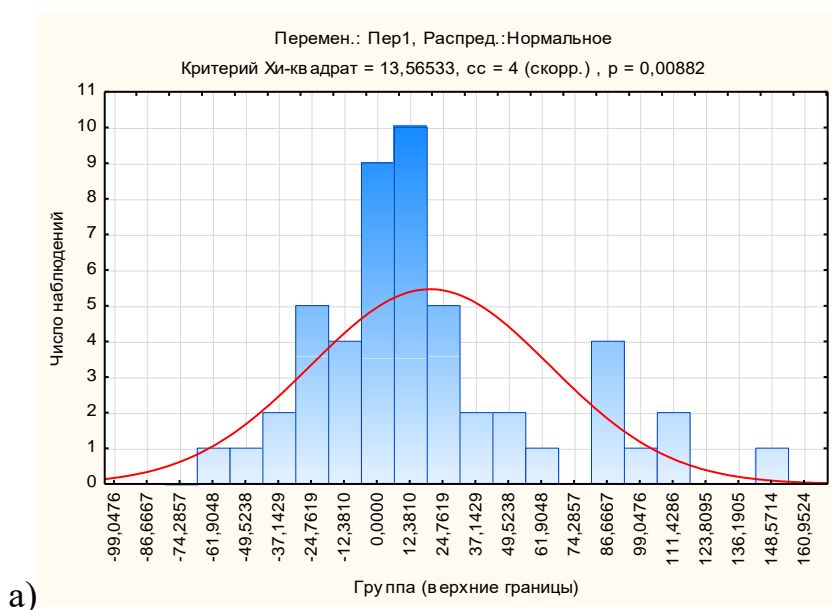
$$\text{Доля } MZO_T = 30.78 + 5.12 * TPO_{T-2} \quad (6)$$

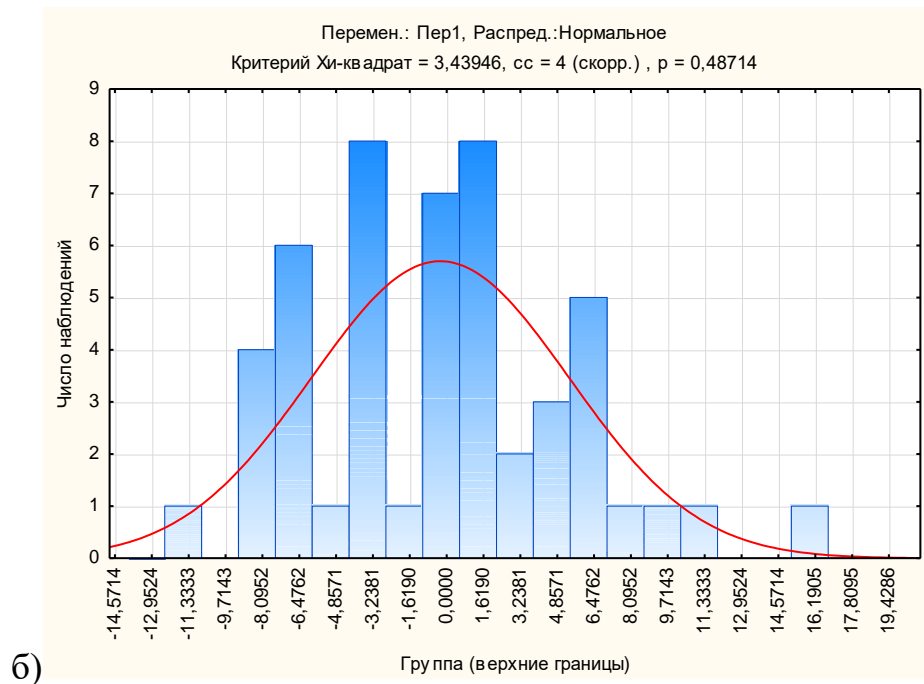
На рисунке 3.10 представлены экспериментальные функции распределения ошибок прогнозов, построенного с использованием данных о температуре воды в восточном районе нагула.

Проверка качества прогноза для уловов Исландии на зависимой (50 значений) и независимой выборке (10 значений) показала, что максимальная ошибка составила 77% для зависимой выборки и 77% для независимой. Минимальные значения ошибки составили для независимой выборки 1%, а для зависимой - 2 %.

Для доли мультизимних особей в уловах Шотландии при таких же значениях длины выборки максимальная ошибка составила 22 % для зависимой выборки и 12 % для независимой. Минимальные значения ошибки составили для независимой выборки 1 % и для зависимой- 1 %.

Модель для уловов Исландии является некачественной, так как имеет большую ошибку. Распределение ошибок не соответствует нормальному закону распределения. Распределение ошибок прогноза доли мультизимных особей в уловах Шотландии близко к нормальному закону распределению. И основная часть ошибок не превышает 10%. Это позволяет использовать модель для предварительной оценки доли мультизимных особей в уловах Шотландии.





б)

Рисунок 3.10 Экспериментальная функция распределения для ошибок прогноза а) уловов в Исландии б) доли мультизимных особей в уловах Шотландии. Прогностические модели с заблаговременностью 2 года и предиктором - ТПО, осредненная по площади района нагула.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие основные результаты и выводы:

- рассмотрены механизмы влияния изменений абиотических условий на состояние промысловых популяций атлантического лосося;

- обоснован выбор районов исследования в пределах нагульного ареала атлантического лосося;

- рассчитанные величины описательных статистик, результаты тренд-анализа и кластерного анализа позволили выявить различия и общие закономерности изменения тепловых условий в выбранных районах нагульного ареала атлантического лосося;

- четко прослеживаемый период преобладания аномально теплых условий в начале XXI века в нагульном ареале совпал с периодом резкого снижения объемов уловов атлантического лосося;

- одновременно на фоне общего снижения уловов с конца XX века наблюдается тенденция к уменьшению в них доли мультизимних лососей для североамериканских популяций;

- выявленная значимая корреляционная связь между долей мультизимних особей и тепловыми условиями в районах нагула, позволила построить прогностические зависимости для оценки их доли в уловах с заблаговременностью 2 года;

- величина ошибки по результатам прогнозирования для зависимых и независимых выборок в большинстве случаев не превышает 10 %, что позволяет использовать построенные модели для предварительной оценки доли мультизимних особей в уловах Канады и Шотландии.

Список литературы

1. North Atlantic Salmon Conservation Organization Conserving [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.nasco.int/>
2. Карпенко В.И, Андриевская Л.Д, Коваль М.В. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2013. — 304 с.
3. Глубоковский М.К. Эволюционная биология лососевых рыб. Москва: «Наука», 1995. - 343 с.
4. Мартынов В.Г. Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на Севере России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 416 с.
5. Scott R. Elliott, Treva A. Coe, James M. Helfield, and Robert J. Naiman. Spatial variation in environmental characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) rivers/ Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55(S1):267-280
6. Кузьмин О. Г., Смирнов Ю. А. Условия обитания и рост молоди семги *Salmo salar* L. в реках Кольского полуострова // Вопросы ихтиологии.— 1982. Т. 22, вып. 5. С. 773-781.
7. Зубченко А.В. Особенности биологии, состояние и управление запасами атлантического лосося (*Salmo salar* L.) Кольского полуострова. Петрозаводск, 2006
8. База данных FishBase [Электронный ресурс] / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенный Наций / Департамент рыбного хозяйства и аквакультуры / Режим доступ: <http://www.fishbase.org/summary/SpeciesSummary.php?ID=236&AT=Atlantic+salmon>
9. Веселов А.Е. Экологические и поведенческие основы воспроизводства атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в реках Восточной Фенноскандии. Москва, 2006.

10. Берг, Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран [Текст] / Л.С. Берг // М.-Л.: Издательство Академии Наук СССР. – 1948. – Часть 1. – 468 с.
11. Кляшторин Л.Б. Изменения климата и долгопериодные флуктуации численности атлантического лосося. 2003 – 139 -176 с.
12. Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. Москва: Издательство ВНИРО, 2005 – 258 с.
13. NOAA.NCDC.ERSST.version5 [Электронный ресурс] Режим доступа:<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version5/>
14. ICES. 2020. Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS)
15. SODA [Электронный ресурс] Режим доступа:<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p2p4/.temp/>
16. Гордеева, С.М. Практикум по курсу Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 70 с.
17. Малинин, В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ, 2008.
18. Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html>
19. Баврина А.П., Борисов И.Б. Современные правила применения корреляционного анализа, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород 2021 г. – 10 с.
20. Конвенция о сохранении лосося в северной части Атлантического океана [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901892992>
21. Dennis L. Scarnecchia, Arni Isaksson, S.E.White/ Oceanic and Riverine Influences on Variations in Yield among Icelandic Stocks of Atlantic Salmon/ Transactions of the American fisheries Society 118:482-494, 1989/

22. Dempson, J. B., Schwarz, C. J., Reddin, D. G., O'Connell, M. F., Mullins, C. C., and Bourgeois, C. E. 2001. Estimation of marine exploitation rates on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) stocks in Newfoundland, Canada. – ICES Journal of Marine Science, 58: 331–341.

23. Final Recovery Plan for the Gulf of Maine Distinct Population Segment of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) [Текст] / Prepared by NOAA's National Marine Fisheries Service (NMFS) / – 2005. – Режим доступа: http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/recovery/salmon_atlantic.pdf

Приложение А - Оценочные показатели морской эксплуатации различных запасов атлантического лосося в Северной Америке и Европе

Таблица А.1 Оценочные показатели морской эксплуатации различных запасов атлантического лосося в Северной Америке и Европе[22]

Location	River	Life stage or size group	Stock	Exploitation rate (%)	Reference
North America					
Newfoundland	Little Codroy River	1SW	W	47	Murray (1968)
		2SW	W	75	Murray (1968)
	Western Arm Brook	1SW	W	62	Reddin (1981)
	Western Arm Brook	1SW	W	65	Chadwick <i>et al.</i> (1985)
	Newfoundland	Small	W	55	Pippy (1982)
Labrador	Sand Hill River	Large	W	85	Pippy (1982)
		1SW	W	33	Peet and Pratt (1972)
	2SW	W	90	Peet and Pratt (1972)	
	Sand Hill River	1SW	W	36	Reddin (1981)
New Brunswick	Northwest Miramichi River	2SW	W	92	Reddin (1981)
		1SW	W	32	Saunders (1969)
	Southwest Miramichi River	MSW	W	87	Saunders (1969)
Nova Scotia	Northwest Miramichi River	1SW	W	34	Kerswill (1971)
		MSW	W	78	Kerswill (1971)
	Southwest Miramichi River	1SW	W	36	Kerswill (1971)
	Liscomb River	MSW	W	92	Kerswill (1971)
Nova Scotia	Liscomb River	1SW	H	36	Semple and Cameron (1990)
		MSW	H	79	Semple and Cameron (1990)
Europe					
Northern Ireland	River Bush	1SW	H	46–95	Crozier and Kennedy (1994)
		1SW	W	62–89	Crozier and Kennedy (1994)
		2SW	H/W	36–60	Crozier and Kennedy (1994)
	River Burrishoole	1SW	H	52–90	Cited in Crozier and Kennedy (1994)
Norway	River Erne	1SW	H	54–64	Cited in Crozier and Kennedy (1994)
	River Imsa ¹	1SW	H/W	66–99	Hansen (1988)
	River Drammenselv ¹	2SW	H/W	86–100	Hansen (1988)
		1SW	H	37–81	Hansen (1990)
Iceland	Haukadalsá ²	2SW	H	22–70	Hansen (1990)
		MSW	W	16	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
	Laxá í Leirársveit ²	MSW	W	48	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
	Laxá í Kjós ²	MSW	W	29	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
	Thverá ²	MSW	W	21	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
	Nordurá ²	MSW	W	28	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
	Laxá í Dölum ²	MSW	W	27	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)
Fáskrúð ²	MSW	W	28	Scarnecchia <i>et al.</i> (1989)	

¹Exploitation in Norwegian home waters from different tag reporting rates.

²Average exploitation at West Greenland required to account for differences in observed grilse:salmon ratios.