



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными  
зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

«Изменение климатических условий и их влияние на границы ареала морского  
нагула атлантического лосося»

Исполнитель: Муравьёва Валерия Дмитриевна

Руководитель: кандидат географических наук

Хаймина Ольга Владимировна

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«04» 06 2024 г.

г. Санкт-Петербург

2024

## Оглавление

	Стр.
Введение	3
1 Экосистема атлантического лосося	5
1.1 Условия внешней среды в районе обитания атлантического лосося	5
1.2 Динамика многолетних уловов атлантического лосося и связь с тепловыми условиями	10
1.3 Атлантический лосось в Исландии	15
2 Материалы и методы исследования	22
2.1 Характеристика исходных данных	22
2.2 Методы анализа	25
3 Изменение климатических условий и их влияние на границы ареала морского нагула атлантического лосося	28
3.1 Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана в районе нагула вблизи о. Исландия	28
3.2 Сравнение различных промысловых рядов атлантического лосося Исландии	32
3.3 Корреляционный анализ ТПО и уловов атлантического лосося Исландии. Прогнозирование промысловых рядов при изменении учтённой площади морского ареала	38
Заключение	51
Список использованной литературы	53

## Введение

В условиях постоянно изменяющегося климата и антропогенного воздействия, изучение влияния климатических условий на биоразнообразие морских гидробионтов становится особенно важным. Одним из видов, чья популяция и ареал подвержены влиянию климатических изменений, является атлантический лосось (*Salmo salar*).

Сохранение популяций атлантического лосося вызывает всё большее беспокойство, о чем свидетельствует возрастающее количество научных статей и книг по данной теме. Негативный антропогенный прессинг на популяции лосося сказывается не только в перелове и уничтожении комфортных условий обитания в речной период жизни, например в результате возведения плотин, кислотных дождей или комплексного уничтожения среды, как во многих европейских странах; данное влияние усиливается также в море [1].

Атлантический лосось является ценной промысловой рыбой. Морской нагул атлантического лосося играет значимую роль в жизненном цикле этого вида, влияя на миграционные пути, питание, нерест и выживаемость потомства. Изменения климата оказывают влияние на многие океанографические условия, в особенности на температуру морской воды, к изменениям которой рыбы очень чувствительны. Комфортный диапазон температуры воды для нагула атлантического лосося составляет от 4 до 13 °С.

Цель данной дипломной работы заключается в изучении влияния изменений климатических условий на границы ареала морского нагула атлантического лосося и выявлении возможных последствий для популяций этого вида.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) подготовить краткий обзор по экологии атлантического лосося на основе опубликованных исследований;
- 2) обосновать выбор конкретных популяций атлантического лосося и зон их морского нагула в качестве объекта исследования;
- 3) подготовить массивы данных о температуре поверхности океана (ТПО) и промысловые ряды для последующей статистической обработки;
- 4) выполнить кластерный и корреляционный анализ подготовленных данных и проанализировать полученные результаты;
- 5) разработать прогностические модели для выбранных промысловых рядов с учетом данных о ТПО в различных по площади районах морского нагула и оценить их качество.

## 1 Экосистема атлантического лосося

### 1.1 Условия внешней среды в районе обитания атлантического лосося

Атлантический лосось или сёмга (рисунок 1.1) – рыба семейства лососевых средней или крупной величины, естественный ареал которой расположен на севере Атлантического океана.



Рисунок 1.1 – Атлантический лосось (*Salmo salar*) [2]

Ареал вида делится на две части: европейский и северо-американский. В России данный вид распространен в водах Баренцева, Балтийского и Белого морей. Существуют несколько экологических форм данного вида: североатлантическая, балтийская и жилая озёрная. Нагул первой из них происходит в Северной Атлантике близ о. Исландия, балтийской – соответственно в Балтийском море. Жилая озёрная форма преимущественно встречается в Ладожском и Онежском озёрах [1].

В северной части Атлантического океана сёмга встречается в умеренной и арктической зонах северного полушария. В западной Атлантике ареал простирается от северного Квебека (Канада), до Коннектикута и Нью-Йорка

(США); вглубь страны до озера Онтарио, где в настоящее время он искоренен. В Северной Америке присутствуют популяции лосося, не имеющие выхода к морю. В восточной Атлантике: бассейны Белого и Баренцева морей через северо-восточную Европу до бассейнов Балтийского и Северного морей, включая Исландию (рисунок 1.2) [3].

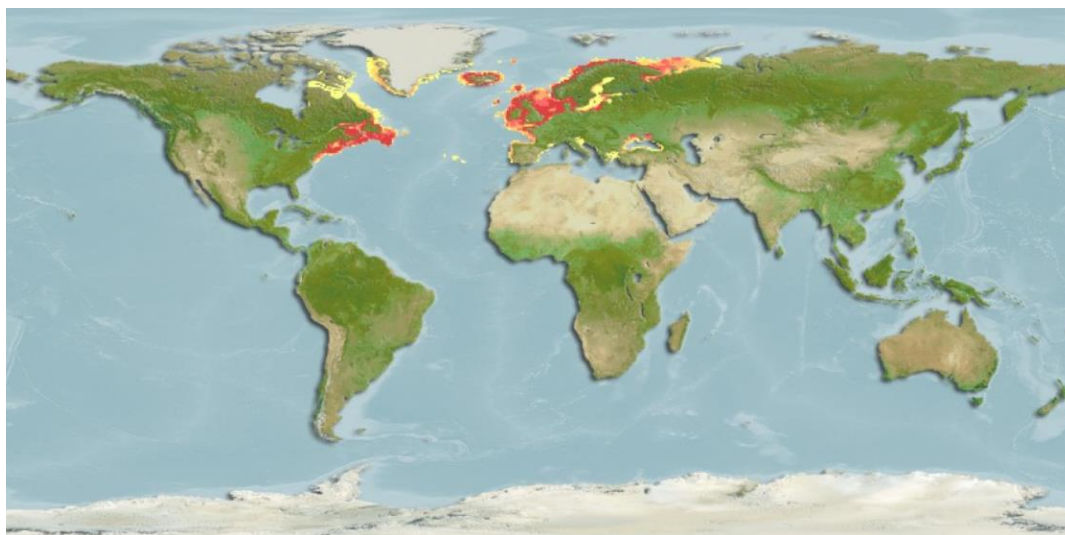


Рисунок 1.2 – Ареал атлантического лосося [3]

Жизненный цикл атлантического лосося можно разделить на этапы развития в пресной (река) и солёной (море) воде (рисунок 1.3). Нерестовые миграции рыб следует рассматривать как исторически выработавшееся биологическое приспособление, снижающее гибель икры и молоди в реке по сравнению с морем. Проходные рыбы, идущие на икрометание из морей в реки, выбирают места, где меньше врагов, которые питаются их икрой и молодь. Такая миграция называется анадромной. Далее следует развитие малька в реке и покатная миграция в море, после которой рыба рассредотачивается в пределах своего морского ареала. Эта миграция называется катадромной. После нагула в море уже взрослая сёмга возвращается на нерест. При этом лосось инстинктивно стремится попасть на нерест в реку, где происходило его развитие. Это явление получило название

хоминг (homing). По мере движения из открытого моря к предустьевым пространствам и далее в сами реки лососи, скорее всего, ориентируются на постепенные изменения химического состава воды и в первую очередь – солёности [4].



Рисунок 1.3 – Жизненный цикл атлантического лосося [4]

Во время нагула в море сёмга питается мелкой рыбой и ракообразными. Держится преимущественно вблизи берегов, на глубинах не более 120 метров. Рост рыбы происходит довольно быстро, за один год нередко добавляется более 20 сантиметров. Лосось проводит в море от одного до трёх лет, достигает половой зрелости, а далее движется в нерестовые реки, проходя внушительные расстояния за сутки. В российские реки, впадающие в Белое и Баренцево моря, с августа до ледостава идет крупная осенняя семга с неразвитыми половыми продуктами – «заледка». Она проводит в реке, не питаясь, целый год и лишь на следующую осень подходит к нерестилищам.

В июне в реки приходит так называемая «закройка», представленная крупными самками с достаточно зрелой икрой; в июле заходит летняя зрелая семга под названием «межень». Вместе с закройкой она достигает нерестилищ и мечет икру той же осенью. Одновременно с меженью в реки входят мелкие самцы, созревшие за один год пребывания в море – «тинда» (в англоязычной литературе – grilse). В некоторых реках осенью появляется мелкая «листопадка», которая состоит из самцов и самок, созревших в море за один год. В отличие от крупной осенней семги листопадка нерестится той же осенью. [4]

Уловы атлантического лосося всегда были невелики, а с конца прошлого столетия сильно уменьшились. Это связано прежде всего с нерациональным выловом, случаями браконьерства, а также изменением климатических условий и деградацией речных долин. Искусственное разведение сёмги тоже оказывает влияние на естественные популяции дикого атлантического лосося, так как является источником загрязнения акваторий, вследствие чего дикий лосось подвергается заражению разнообразными инфекциями и умирает до того, как доберется до места нереста.

Условия среды в районе обитания атлантического лосося складываются из абиотических, биотических и антропогенных, все они оказывают непосредственное влияние на его жизненный цикл.

Абиотические условия включают в себя факторы внешней среды, которые напрямую не связаны с живыми организмами, но влияют на их жизнедеятельность. К таким факторам относятся:

1) температура воды: атлантический лосось предпочитает прохладные воды с температурой от 4 до 13 °С. Более высокие температуры, не входящие в диапазон оптимальных, могут привести к стрессу и снижению выживаемости потомства;

2) соленость: рождается атлантический лосось в пресных нерестовых реках, позже происходит смолтификация (приспособление к жизни в солёной



воде), и нагул проходит в соленой морской воде, но на нерест сёмга возвращается в пресные речные воды;

3) содержание растворенного кислорода: атлантический лосось, как и большинство рыб, требует высокого содержания растворенного кислорода в воде для дыхания. Низкое содержание кислорода может привести к гипоксии и возможной гибели рыбы;

4) течения: фронты, находящиеся на разделах теплых и холодных течений Северной Атлантики, обеспечивают большое количество пищи, так как в данных местах происходит поднятие биогенных элементов, которые являются важными для роста фитопланктона, а водоросли, в свою очередь, выступают значимым звеном трофической цепи.



Рисунок 1.4 – Течения Северной Атлантики [5]

Биотические условия могут быть представлены отношениями с другими видами, которые питаются личинками и молодь атлантического лосося, что снижает численность будущей популяции.

Антропогенные факторы, в основном, оказывают негативное влияние на популяцию атлантического лосося. К ним относятся интенсивный вылов, браконьерство, сплав леса по рекам, загрязнение вод, а также различные сооружения: плотины, гидроэлектростанции на нерестовых реках.

На европейском Севере России, вследствие иррациональной организации промысла, чрезмерного браконьерства, составляющего в разные годы по оценкам экспертов от 73 до 96% от общего улова легального рыболовства, ежегодно усугубляющегося состояния нерестовых рек на Кольском полуострове, произошло значительное сокращение популяций лосося, нарушена многовековая природная цикличность воспроизводства ценной рыбы и других видов гидробионтов. В промысловых арктических регионах страны более трёх десятилетий наблюдается крайне глубокая депрессия численности большинства популяций атлантического лосося, что привело к снижению среднегодовых уловов в 2005-2015 гг., по сравнению с 1950-ми годами, более чем в 20 раз [6].

Однако, существует и положительная сторона человеческого воздействия. Например, по всей Европе и США хорошо известен и широко практикуется принцип ловли и выпуска рыбы обратно. Со временем данный вид лова распространится и в России. Такая стратегия требует, чтобы вне зависимости от характеристик рыба была отпущена невредимой. Catch & release позволяет значительно сократить уменьшение популяций дикого лосося, а также увеличить потенциал для успешного воспроизводства вида.

## 1.2 Динамика многолетних уловов атлантического лосося и связь с тепловыми условиями

По данным рабочей группы по атлантическому лососю (WGNAS – Working Group on North Atlantic Salmon), пик уловов данного вида приходился на 1970-е годы, далее постепенно снижался до 1990-х, и после произошел резкий спад в количестве вылавливаемой рыбы (рисунок 1.5).

Как видно по рисунку 1.5, наибольшие уловы (в тоннах) принадлежат южной Европе, максимальные составляют около 4500 т. (конец 1970-х годов); наименьшие уловы наблюдаются в Гренландии и Фарерских островах, если

сравнивать их с максимальными показателями южно-европейского региона, то разрыв будет более, чем в 2 раза.

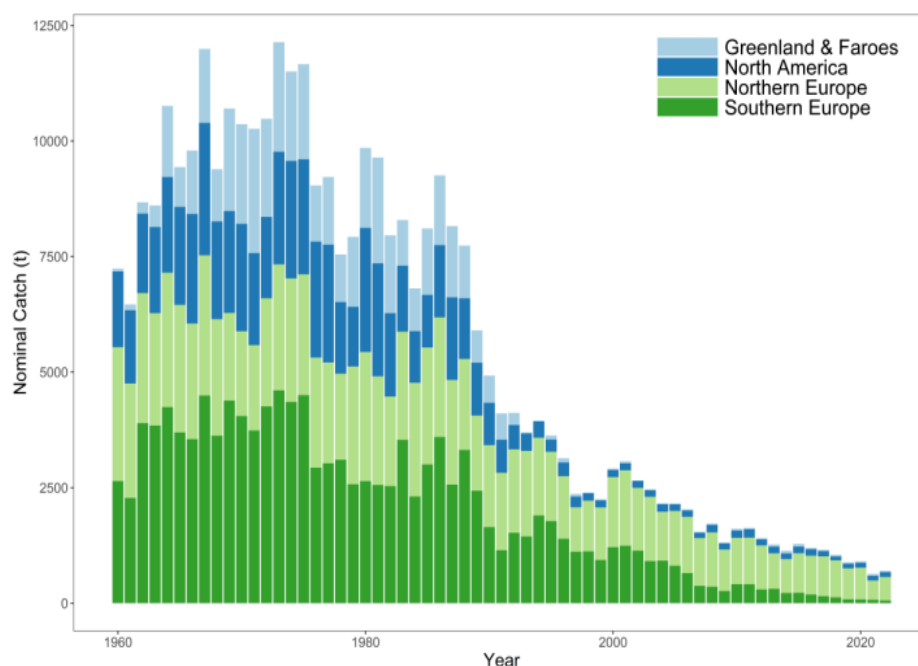


Рисунок 1.5 – Уловы атлантического лосося в четырёх регионах за период с 1960 по 2023 гг. [7]

Как известно, в последние десятилетия температура воздуха и Мирового океана практически по всей территории Земли повышается (рисунок 1.6). В районе нашего исследования температура с 1973 по 2023 повысилась на 1-2 °С, это может объяснить снижение численности такого холодолюбивого гидробионта как атлантический лосось.

Также можно отметить, что снижается не только численность атлантического лосося, но меняется и внутренняя структура его популяций [9]. На рисунке 1.7 большая рыба представляет долю мультимимных лососей, маленькая – однозимних. Красным цветом показаны разные пропорции в уловах в каждом временном периоде (до 1990-х г., 1990-1999 гг., 2000-2009 гг., 2010-2017 гг.). Анализируя данную информацию, можем заметить, что во всех исследованных популяциях: северной Европы, южной Европы и северной

Америки наблюдается снижение как доли однозимних лососей (тинды), так и доли мультизимних особей.

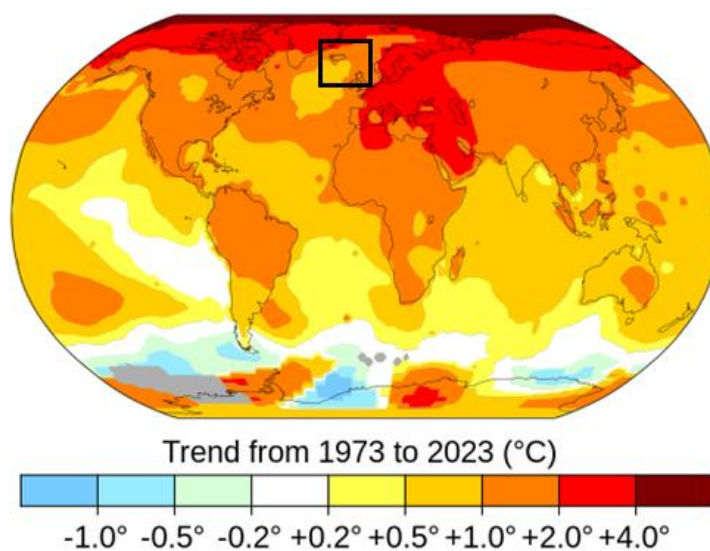


Рисунок 1.6 – Тренд на изменение глобальной температуры с 1973 по 2023 год [8]

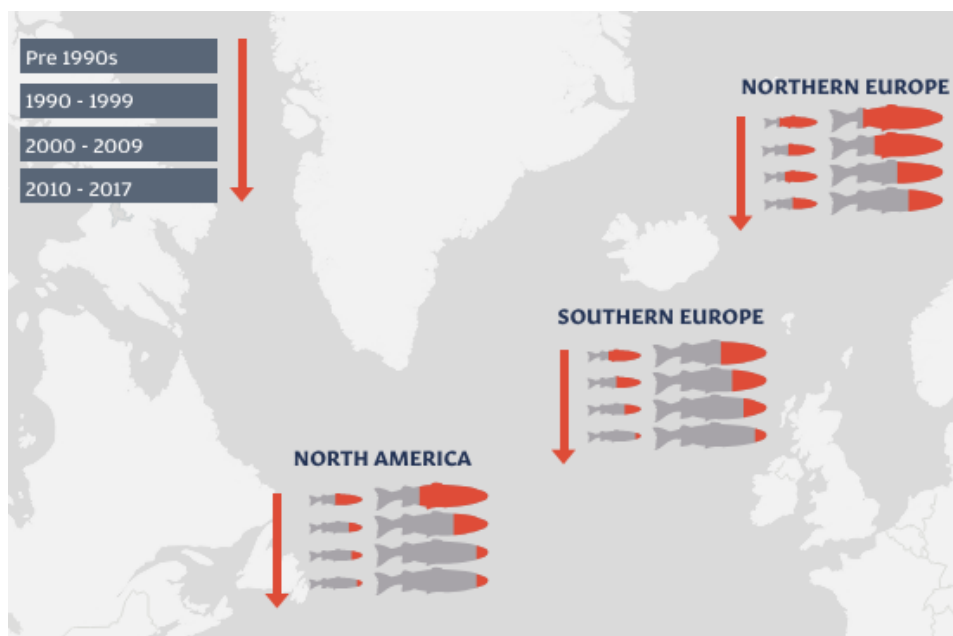


Рисунок 1.7 – Доли однозимних и мультизимних особей в уловах разных регионов [9]

Все перечисленные выше проблемы актуальны и для популяций атлантического лосося рек России.

Следует обратить внимание на ситуацию в Баренцевом море и сопредельных водах, так как там добывается примерно 22% мировой добычи семги по всему ареалу этого вида в Северной Атлантике. По официальной статистике, с 1955 по 2009 г. общий вылов в регионе составил около 94 тыс. т (рисунок 1.8). Не менее трети (возможно, и до 40%) этого количества добыто в бассейне Баренцева (район I, ИКЕС (ICES - International Council for the Exploration of the Sea)), Печорского и Белого морей.

На основании имеющихся данных статистики ИКЕС [10] выделяются два периода по уровню добычи. Первый период – с 1956–1960 по 1987 г., когда общий годовой вылов редко был меньше 1,6–1,7 тыс. т и составлял в среднем 2,2 тыс. т при вариациях от 1,5 до 2,9 тыс. т.

Во второй период – с 1988 до конца 2000-х гг. общий годовой вылов семги в регионе не превышал 1,5 тыс. т и в среднем составлял 1,0 тыс. т [10].

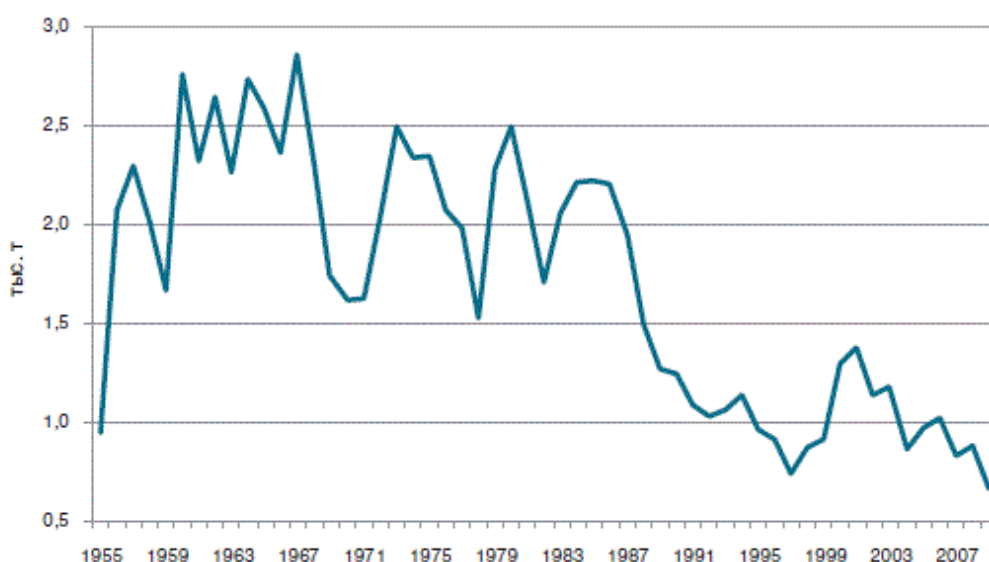


Рисунок 1.8 – Уловы семги в Баренцевом море и сопредельных водах (по данным ICES, [10])

На фоне развитого антропогенного воздействия на популяции атлантического лосося и влияния климатических условий многие лососевые реки находятся в зоне риска. На рисунке 1.9 представлено состояние данных рек в Европе и Скандинавии, где зелёным цветом отмечены реки, которые не подвержены риску, жёлтым – реки с низким риском для популяции, оранжевым – с умеренным риском, красным – с высоким риском, серым – искусственно поддерживаемые, чёрным – утрачено, синим – нет данных [11].

Можно предположить, что наиболее благополучные популяции атлантического лосося должны обитать в реках малонаселенных территорий, например, о. Исландия. Однако, подтвердить данную информацию обобщенными сведениями о состоянии рек Исландии не представляется возможным, поскольку страна вышла из деятельности NASCO (North Atlantic Salmon Conservation Organization) [11].

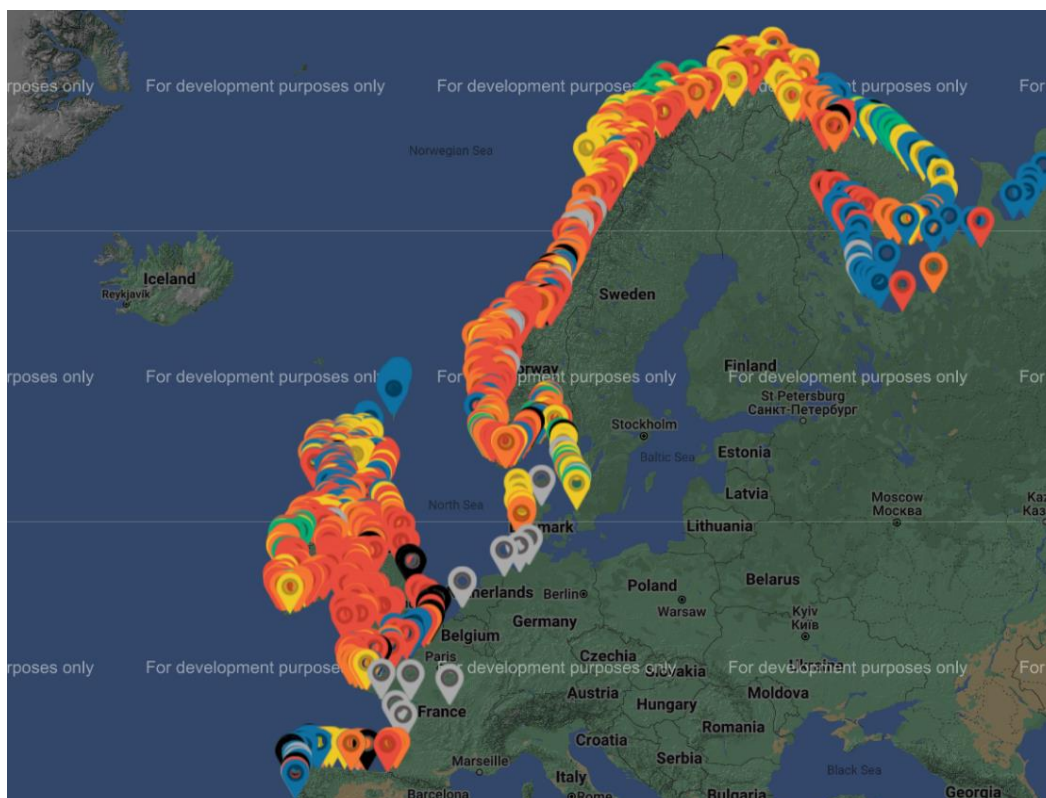


Рисунок 1.9 – Состояние лососевых рек Европы и Скандинавии [11]

Тем не менее, в данном исследовании предпринята попытка оценить влияние климатических условий именно на популяции атлантического лосося Исландии.

### 1.3 Атлантический лосось в Исландии

Исландия расположена на Срединно-Атлантическом хребте между  $63^{\circ}$  -  $66^{\circ}$  северной широты и  $13^{\circ}$  -  $24^{\circ}$  западной долготы, общей площадью 103 000 км<sup>2</sup>.

Климат Исландии морской, с относительно мягкой зимой и прохладным летом. На климат сильно влияет теплое течение Гольфстрим, которое омывает его южные и западные берега и частично отклоняется к северному побережью. С другой стороны, северное побережье сильно страдает от холода [12].

В Исландии около 250 рек. По происхождению они подразделяются на ледниковые, прямого стока и родникового питания. Продуктивность рек сильно варьируется в зависимости от их местоположения, источника воды, объема стока, топографии и температуры, особенно в летние месяцы. Только 80 рек в стране являются местом обитания атлантического лосося (рисунок 1.10).

Ледниковые реки очень зависят от колебаний температуры. Зимой их объем наименьший, но постепенно увеличивается с увеличением продолжительности дня, особенно после весеннего равноденствия. Температура ледниковой воды в ее истоке близка к  $0^{\circ}\text{C}$ . На больших расстояниях, особенно в низинных районах, она значительно повышается. Зимой эти реки обычно замерзают.

Сток рек осуществляется за счет осадков, преимущественно на наименее водопроницаемых участках, где вода стекает на поверхность. Обычно весна и осень — их пиковые сезоны. На температуру воды в них больше всего влияет температура воздуха. При минусовой температуре лед образуется снизу вверх, а метель значительно уменьшает его расход.

Реки родникового питания имеют постоянный объём и температуру круглый год. Как правило, их температура составляет 3-5°C, но летом иногда повышается.

Основные лососевые реки страны расположены к западу от ледниковой реки Тьорса, к северу вдоль западного побережья и на севере до реки Лакса в Адалдалуре.

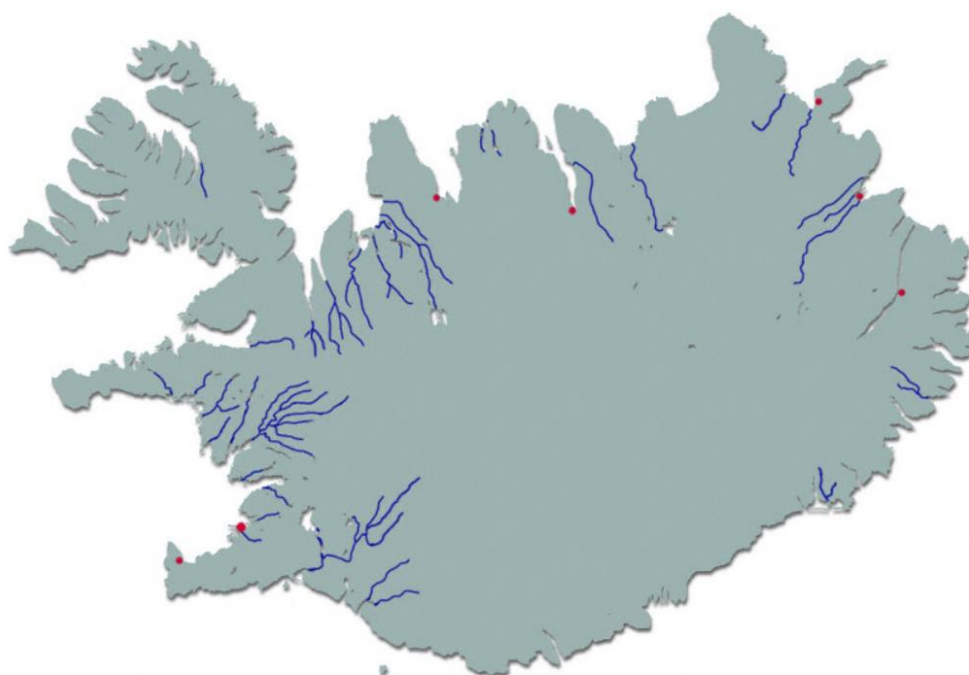


Рисунок 1.10 – Основные лососевые реки Исландии [13]

Ловля лосося практиковалась в Исландии с древнейших времен. В 1932 году был принят закон о ловле лосося, гольца и форели. Этот закон запрещал лов лосося в море, и с тех пор лосось считается пресноводной рыбой, хотя большую часть своей жизни он проводит в море.

В 1946 году Управление пресноводного рыболовства приступило к документированию и регистрации информации об улове, и исследования постоянно расширялись. Государство управляло первым предприятием по



выращиванию лосося в Коллафьордуре, пока в этой области не начало развиваться частное предпринимательство [12].

В 1982 г. в Рейкьявике Канадой, Данией, Исландией, Норвегией, Швецией и США была подписана Конвенция о сохранении лосося в северной части Атлантического океана.

Глубина нереста лосося составляет 15-120 сантиметров. Гравийное дно при глубине около 60 см и минимальное течение – самые выгодные обстоятельства. Скорость выклева личинки зависит от температуры.

Численность мальков в лососевых реках Исландии широко исследована и значительно превышает количество в других странах. Возраст мальков обычно составляет три года, когда они выходят в море, но может достигать и 5 лет, когда их размер составляет 11-14 см. Лосось остается в океане 1-3 года или до достижения половой зрелости. Число нерестящихся чаще одного раза лососей различно, в зависимости от рек, в пределах от 0% до 18,4%. Их вес после года пребывания в океане составляет от 1,5 до 3,5 килограммов, а через два года - 4-6 килограммов [14].

Существует большое количество исследований, связанных с морскими миграциями атлантического лосося [1, 15, 16]. Они регулярно проводятся, чтобы понять как лосось ведёт себя после выхода на нагул в море. Используется как мечение отдельных особей и отслеживание их передвижений, так и различные модели, показывающие поведение данных гидробионтов.

Была разработана модель миграции [15], объединяющая океанографические данные и данные о скорости движения рыб, которая моделировала миграцию постмолтов с запада Ирландии и юго-запада Норвегии в первые месяцы их пребывания в море, и была проверена на основе наблюдений за распределением, полученных в ходе исследований (рисунок 1.11). Это позволило получить полезную информацию о вероятных маршрутах миграции, распределении во времени и пространстве. Мы видим, что наибольшая плотность атлантического лосося наблюдается вдоль

побережья Норвегии и южнее – к Великобритании и Ирландии. Наш район исследований обозначен на рисунке 1.11 красным прямоугольником; можно заметить, что даже ирландские и норвежские особи предпочитают в том числе нагуливаться в районе о. Исландия, что скорее всего связано с наиболее благоприятными условиями в этом месте.

Было обнаружено, что в некоторых районах вдоль маршрутов миграции её направление чувствительно к ежегодным изменениям скорости ветра. Модель может быть использована для исследования влияния изменения климата на миграцию и распределение атлантического лосося в море.

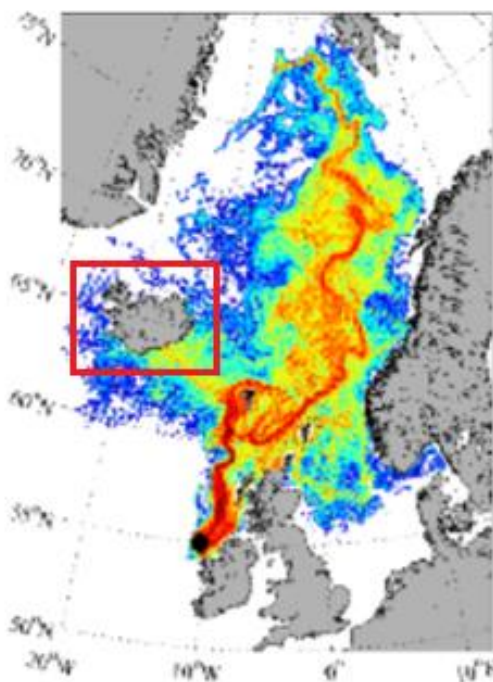


Рисунок 1.11 – Моделирование морской миграции атлантического лосося [15]

На рисунке 1.12 можем увидеть миграции норвежских отдельных особей, которые были помечены теггами, и отслеживались. Средний путь и сезонное распределение шести атлантических лососей выявили общее использование вод от восточной части Баренцева моря до Гренландского моря,

при этом наиболее северо-ориентированные особи мигрируют в районы побережья архипелага Шпицберген [16].

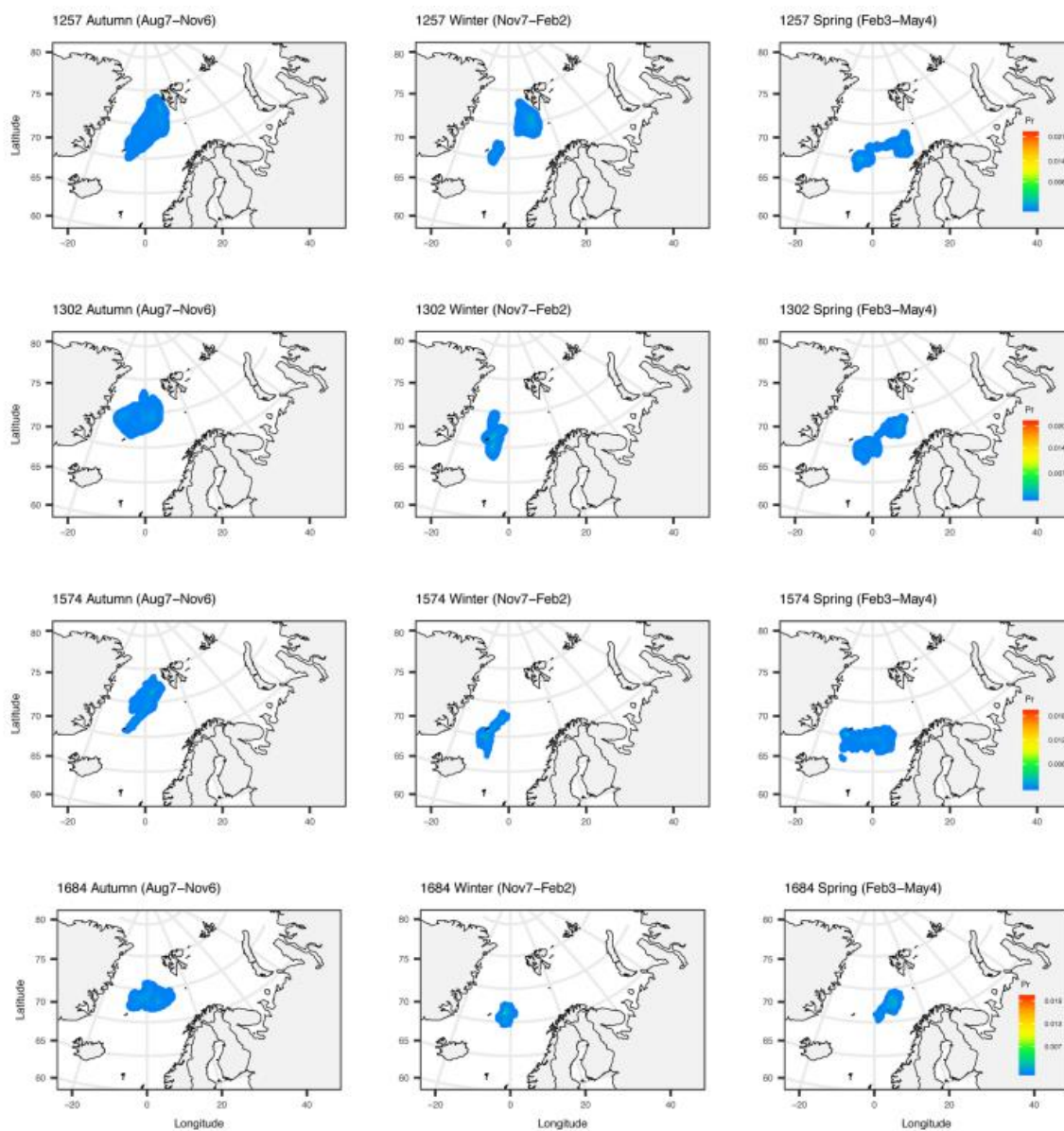


Рисунок 1.12 – Моделирование миграции атлантического лосося Норвегии на основе мечения рыб [16]

Вышеупомянутые исследования дают понять, что исландские особи однозначно нагуливаются в выбранном нами районе вокруг о. Исландия, потому что туда приходят даже особи из рек других стран.

В исследованиях Э.Л. Бакштанского [17] были проанализированы уловы однозимних и мультимимных особей атлантического лосося в Шотландии с 1952 по 1968 годы, и даже тогда прослеживалась динамика роста доли тинды (рисунок 1.13).

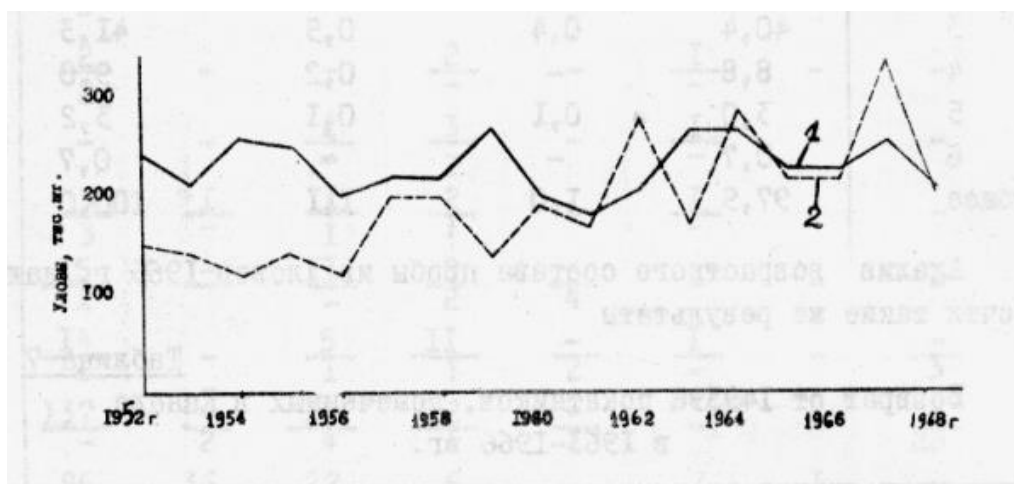


Рисунок 1.13 – Уловы крупного и мелкого лосося в Шотландии (цифрой 1 отмечены уловы мультимимных лососей, цифрой 2 – тинды) [17]

С 1970 года по настоящее время так же идёт повышение доли однозимних лососей в уловах Исландии (рисунок 1.14). Если обратить внимание на рисунок 1.14, то можем увидеть, что в уловах Исландии тинда преобладает с середины 1980-х годов по настоящее время [18].

На графике (рисунок 1.15) представлен процент однозимних особей атлантического лосося в уловах северного и южного регионов Атлантики [19]. Исландия входит в северный район (на графике отмечено черными точками). Если сравнивать с южным районом (отмечено серыми точками), то заметно, что доля тинды, при общем снижении, имеет более высокое значение, до 80 %.

В данной работе будут исследованы различные промысловые ряды Исландии и определены тенденции в рядах доли однозимних и мультимимных особей с учетом влияния температурных условий в пределах разных областей морского нагула.

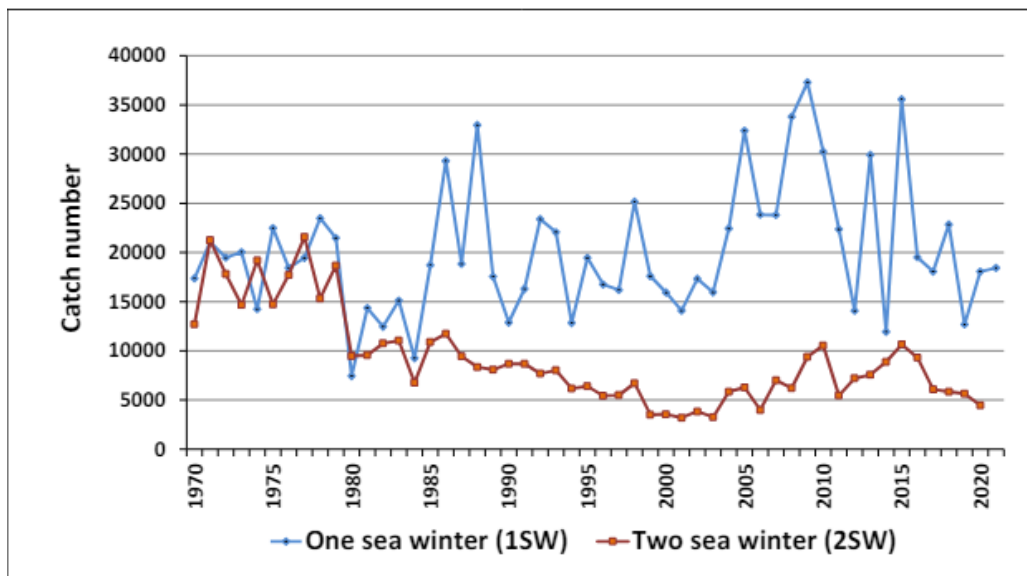


Рисунок 1.14 – Численность однозимних и мультимных особей, выловленных в Исландии с 1970 по 2022 гг. [18]

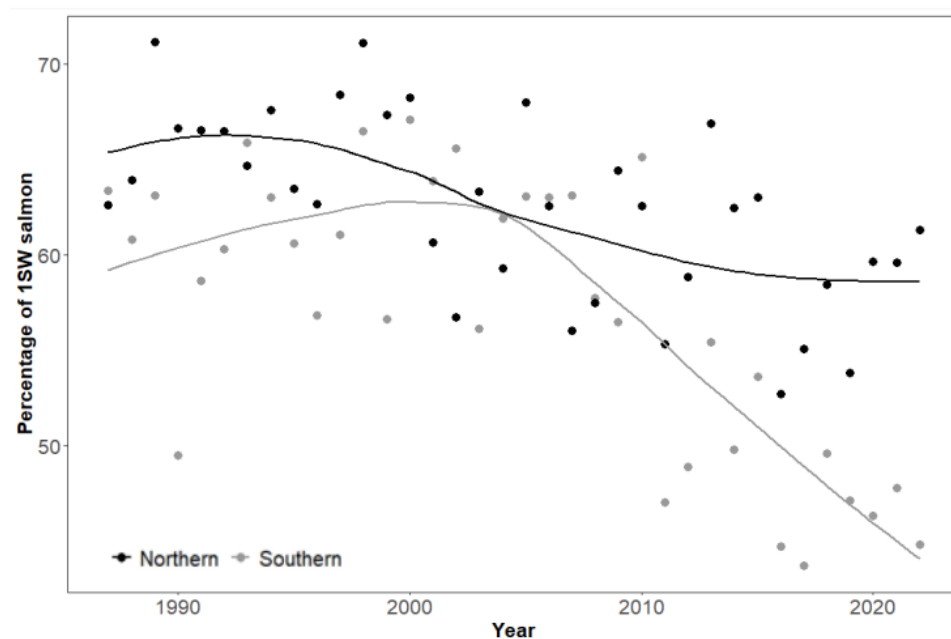


Рисунок 1.15 – Процент однозимних особей атлантического лосося в уловах северного региона (черные точки) и южного региона (серые точки) Атлантики [19]

## 2. Материалы и методы исследования

### 2.1 Характеристика исходных данных

При выборе района исследования учитывались 3 фактора. Во-первых, для оценки влияния климатических условий необходимо наименьшее антропогенное влияние на популяции атлантического лосося. В Исландии строго контролируется вылов, практически отсутствует браконьерство. Если обратить внимание на таблицу 2.1, то можно увидеть, что неучтенный улов Исландии в 2021 году составил 0 тонн, так как ведется строгий учёт. Во-вторых, нагул европейских особей происходит как раз близ о. Исландия [15]. В-третьих, для данного района уже были проведены исследования влияния климатических факторов на уловы атлантического лосося [20].

Таблица 2.1 Неучтенные уловы атлантического лосося за 2021 год [19]

Commission area	Country/Jurisdiction	Unreported catch (tonnes)
NEAC	Denmark	0
NEAC	Finland	0.08
NEAC	Iceland	0
NEAC	Ireland	5.052
NEAC	Norway	126.369
NEAC	Sweden	1.306
NEAC	UK (England & Wales) **	0
NEAC	UK (N. Ireland)	0.3
NEAC	UK (Scotland)	0.688
NAC	US	0
NAC	Canada	19
WGC	Greenland	10

На рисунках 2.1 и 2.2 представлены выбранные районы исследований вблизи о. Исландия.

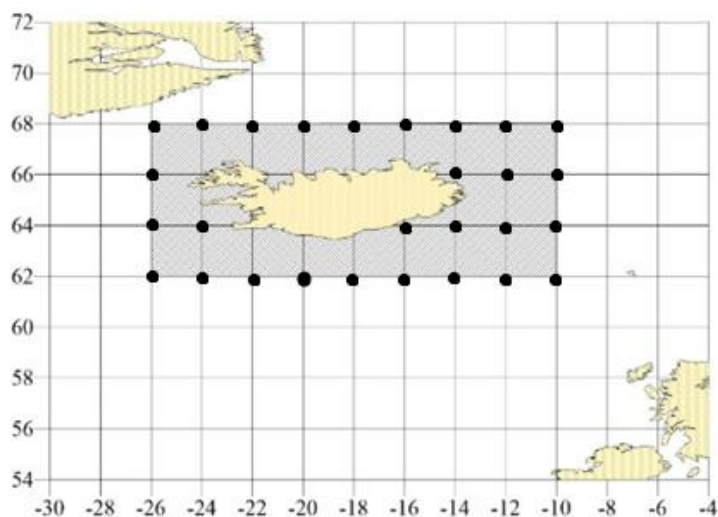


Рисунок 2.1 –Базовый район исследования у о. Исландия

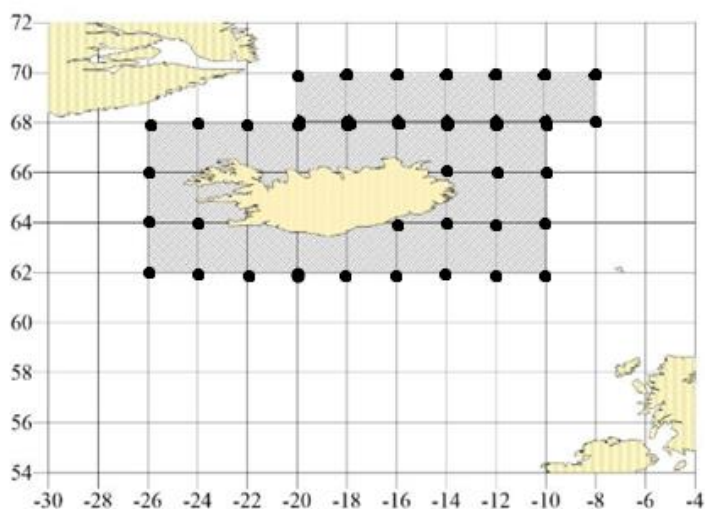


Рисунок 2.2 – Расширенный район исследования у о. Исландия

В качестве предиктора была выбрана температура поверхности океана, так как она оказывает большее влияние на состояние популяций атлантического лосося за счет условий в период морского нагула.

Данные о температуре поверхности океана (среднемесячные значения) были взяты из архива NOAA.NCDC.ERSST.version5 [21] за период с января 1970 года по январь 2023 года (таблица 2.2). Положение узловых точек

показано на рисунке 2.1 – 2.2, ТПО была взята из 28 и 35 узлов соответственно, размер сетки 2°x 2°.

Данные по уловам и численности атлантического лосося в Исландии были взяты из разных отчетов WGNAS [19, 22] (таблица 2.3).

Дополнительно были рассмотрены ряды численности (таблица 2.3) и рассчитанной массы особи данного вида для однозимних и мультимимных рыб, так как в них наблюдаются различные тенденции.

Таблица 2.2 Характеристика исходных данных ТПО в районе о. Исландия

Ряд	Период	Дискретность	Источник
Температура поверхности океана	1970-2022	среднемесячные	NOAA.NCDC.ERSST.version5 [21]

Таблица 2.3 Характеристика исходных данных промысловых рядов атлантического лосося Исландии

Ряд	Период	Дискретность	Источник	
Уловы Исландии	Общий улов (т)	1970-2022	ежегодные	отчет WGNAS 2024 г. [19]
	Однозимние особи (численность)	1970-2022		
	Мультимимные особи (численность)	1970-2022		
	Доля однозимних особей в уловах (%)	1989-2019	ежегодные	отчет WGNAS 2020 г. [22]
	Общий улов (т)	1970-2019	ежегодные	



В работе были использованы самые актуальные данные по температуре поверхности океана и уловам атлантического лосося, начиная с 1970 года, так как в 1970-е годы были самые высокие уловы данного вида за всю историю наблюдений. Промысловые ряды не настолько достоверные, так как не всегда учет был столь точным, как в 2021 году (таблица 2.1).

Для исследования межгодовой изменчивости температуры поверхности океана данные осреднялись по всей акватории для каждого месяца, и далее проводился статистический анализ.

## 2.2 Методы анализа

При исследовании внутренней структуры временных рядов первоначально необходимо определить его стационарность или нестационарность с помощью анализа трендов. Тренд отражает наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики длиннопериодного колебания с периодом, существенно превышающим длину выборки [23].

Формула линейного тренда:

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

Далее производилась оценка значимости тренда: вносит ли он вклад в изменение процесса или нет. Для этого на значимость проверяется коэффициент корреляции  $r$ .

Для исследования данных о температуре поверхности океана в районе морского нагула атлантического лосося был использован кластерный анализ, который представляет из себя разбиение исходных данных на поддающиеся интерпретации группы, таким образом, чтобы элементы, входящие в одну группу, были максимально «схожи», а элементы из разных групп были максимально «отличными» друг от друга [24].

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.

С помощью пакета PAST4 был проведен кластерный анализ по методу Варда в отношении температуры поверхности океана для каждого месяца.

Метод Варда использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Он минимизирует сумму квадратов (SS) для любых двух (гипотетических) кластеров, которые могут быть сформированы на каждом шаге [24].

После выделения кластеров нужно оценить достоверность средних значений каждого. Для проверки достоверности равенства средних значений был посчитан t-критерий Стьюдента и его эмпирическое значение:

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

Для определения наличия связи между температурными рядами и уловами атлантического лосося Исландии был использован корреляционный анализ. Корреляция – показатель, характеризующий степень силы связи между переменными. Корреляционная связь может быть положительной и отрицательной. Положительная корреляционная связь характеризует увеличение среднего значения одной переменной вместе с увеличением среднего значения второй. Отрицательная корреляционная связь показывает увеличение среднего значения одной переменной с уменьшением 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. Если переменны независимы, то коэффициент корреляции равен нулю [25].

Следует упомянуть, что на первом этапе была попытка использовать кластерный анализ по методу k-средних [26], но результаты были существенно различны, поэтому пришлось отказаться от этой идеи. Для оценки качества кластеризации при методе k-средних используются внешние и внутренние меры оценки качества кластеризации, чего нельзя применить при методе Варда.

### 3. Изменение климатических условий и их влияние на границы ареала морского нагула атлантического лосося

#### 3.1 Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана в районе нагула вблизи о. Исландия

При исследовании тепловых условий в районе нагула исландских популяций атлантического лосося были проанализированы ряды температуры поверхности океана за период с 1970 по 2022 год. Как видно по графику (рисунок 3.1) в изменении ТПО присутствует значимый линейный тренд с тенденцией повышения значений.

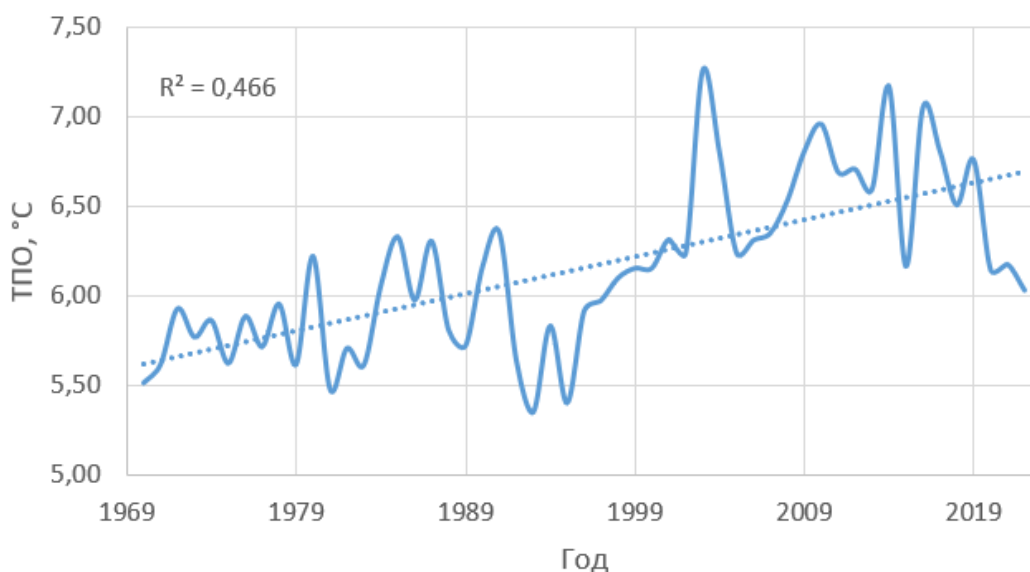


Рисунок 3.1 – Межгодовая средняя изменчивость ТПО в выбранном районе исследований и линейный тренд (обозначен пунктиром), в легенде представлен коэффициент детерминации

Далее был проведен анализ трендов для каждого месяца отдельно. Самые выраженные тренды наблюдаются в августе (рисунок 3.2) и сентябре (рисунок 3.3).

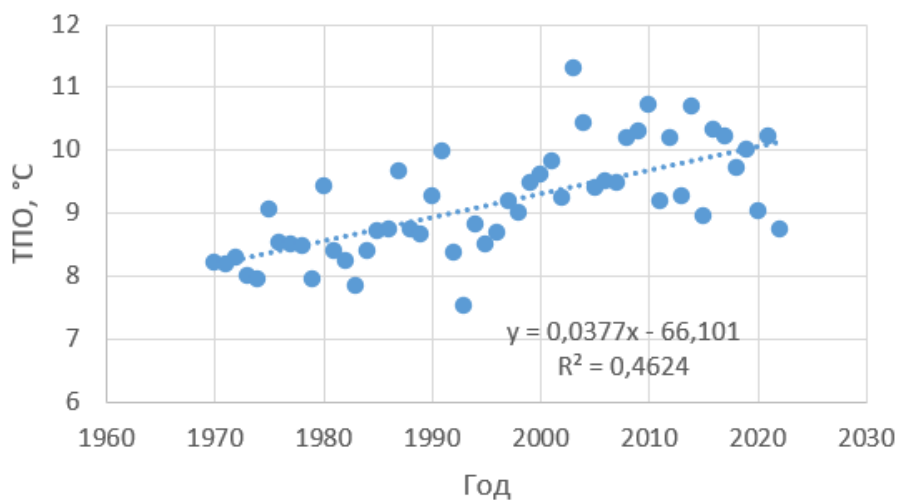


Рисунок 3.2 – Межгодовая изменчивость ТПО в августе и линейный тренд (обозначен пунктиром), в легенде представлено уравнение тренда и коэффициент детерминации

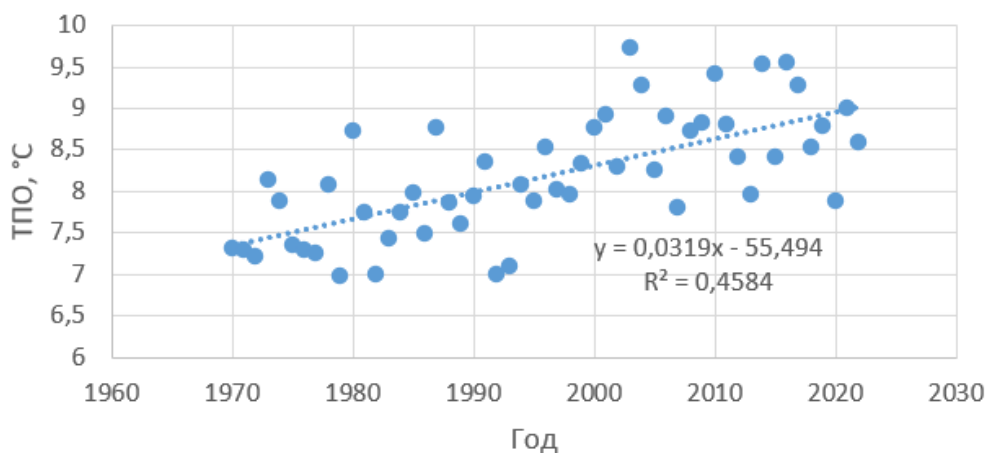


Рисунок 3.3 – Межгодовая изменчивость ТПО в сентябре и линейный тренд (обозначен пунктиром), в легенде представлено уравнение тренда и коэффициент детерминации

Следующим шагом было выполнение кластерного анализа по данным ТПО за каждый месяц по методу Варда с помощью пакета PAST4. В итоге было выделено два типа структур: градации температуры поверхности океана, состоящие из трёх групп (январь, февраль, март, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь, декабрь), и из четырёх групп (апрель, май, июнь). После оценки достоверности различий средних значений каждого кластера, разделение было сделано на холодные условия, умеренно холодные, умеренно теплые и теплые.

Например, структура из четырех групп характерна для апреля (рисунок 3.4), а из трех – для августа (рисунок 3.5).

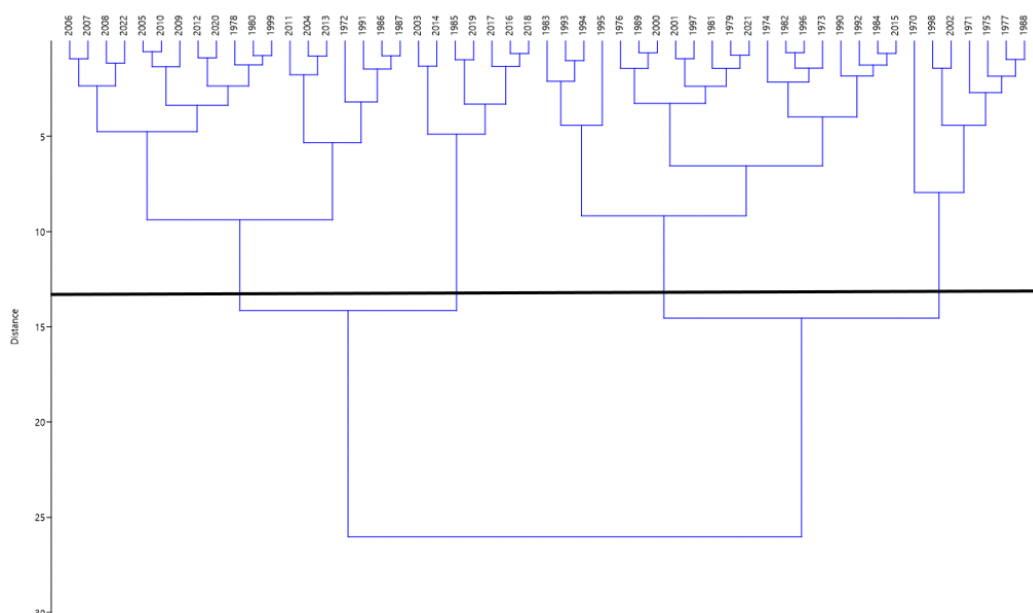


Рисунок 3.4 – Дендрограмма для среднегодовых значений ТПО в апреле вблизи о. Исландия

Все полученные данные были обобщены в таблицу (рисунок 3.1) и обозначены разными цветами: голубым цветом – холодные условия, зеленым – умеренно холодные, розовым – умеренно теплые, красным – теплые.

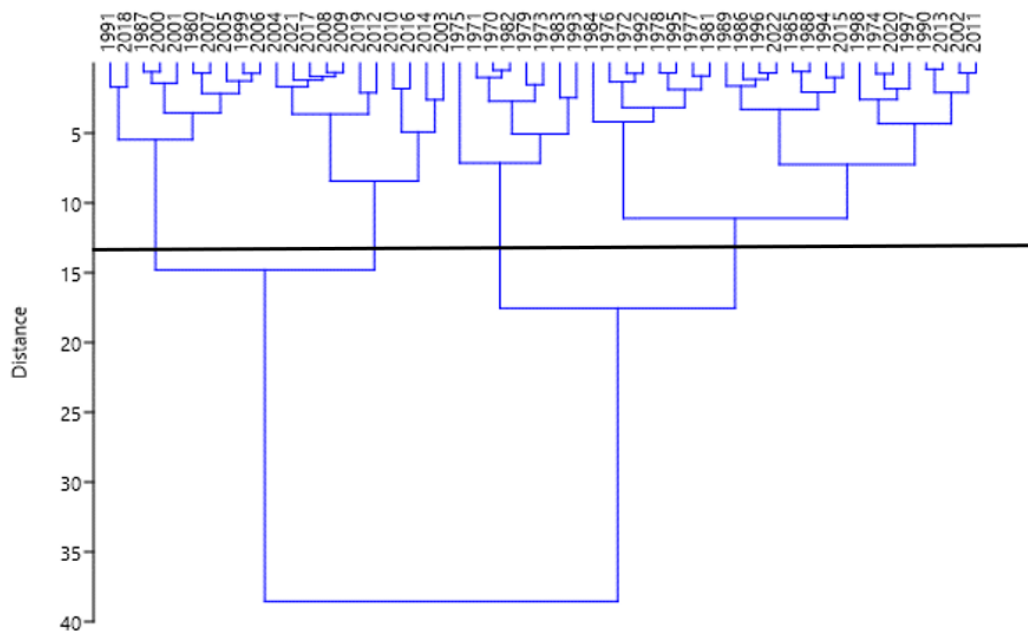


Рисунок 3.5 – Дендрограмма для среднегодовых значений ТПО в августе вблизи о. Исландия

По рисунку 3.1 можно заметить, что однозначно прослеживается тенденция перехода из холодных и умеренных условий на более теплые в период с 1970 по 2022 год. Однако, 2021, 2022 годы являются исключением, так как мы видим, что температура поверхности океана становится холоднее в сравнении с прошлыми годами. Соответственно, можем предположить, что впоследствии ситуация может измениться, и продолжительные теплые условия (начиная с 2000-х годов) сменятся более холодными, что может положительно повлиять на уловы атлантического лосося, в том числе в реках Исландии.

В классификации видим, что 3 месяца (с апреля по июнь включительно) имеют структуру из четырех кластеров, и как показывает анализ статьи [20], именно в эти месяцы информация о температуре воды в районе морского нагула лосося используется для прогноза численности однозимних особей, которые вернутся в реки и будут выловлены в данном году, поэтому можно назвать данные месяцы ключевыми.

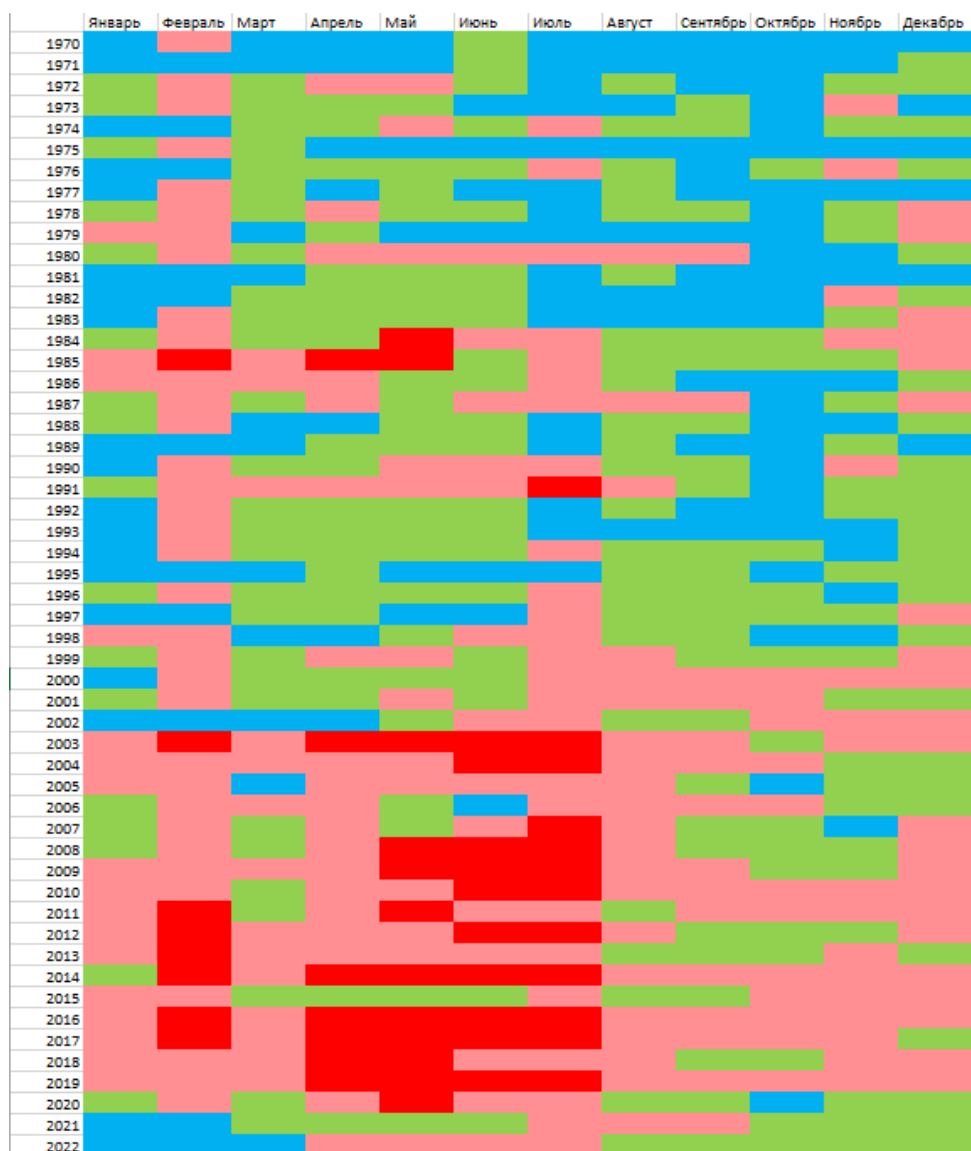


Рисунок 3.1 Межгодовая и внутригодовая изменчивость температурных условий у о. Исландия

В следующем пункте подробно рассмотрим данные об уловах атлантического лосося в реках Исландии.

### 3.2 Сравнение различных промысловых рядов атлантического лосося Исландии

Сопоставление последовательных отчетов рабочей группы по северо-атлантическому лосося [19, 22] показывает, что в промысловые ряды вносятся



изменения. Это связано с неточностью учета, также присутствует небольшой процент неучтенных уловов, которые попросту не были задокументированы.

Поскольку температура воды измеряется инструментально, даже если это результат реанализа, эти данные более надежные, чем промысловые ряды. Связано это со сложностью учета не задокументированного вылова. Исландия имеет хорошую ситуацию в этом плане, потому как на главных лососевых реках стоят датчики, учитывающие количество особей, но это практикуется не везде, если их нет, то учет ведётся визуальным способом в определенных периоды времени, т.е. непостоянно. Это так же вносит определенные искажения в промысловые ряды. Ещё стоит заметить, что разные ряды могут характеризовать как учет всех особей, так и только производителей.

При анализе отчетов рабочей группы по северо-атлантическому лососю [19, 22] были выявлены некоторые различия как в номинальных уловах Исландии (отличия с 2017 года по конца исследуемого периода), так и в численности мультизимних и однозимних особей. Все данные (таблица 2.3) были изучены, и было принято решение далее в расчётах использовать данные из отчета WGNAS 2024 года [19].

Был построен график, на который нанесли номинальные уловы Исландии из отчетов WGNAS 2020 и 2024 гг. (рисунок 3.6). Можем заметить, что до 2017 года оба ряда сходятся на 100%, а далее присутствуют небольшие расхождения. По данному графику видно, что с начала 1980-х годов идет резкое снижение уловов. Можно увидеть два тренда: с 1960-х по конец 1970-х тренд на увеличение уловов, а с начала 1980-х – на уменьшение, это может быть связано с объёмом квот, усилением антропогенного прессинга и изменением климатических условий.

Уловы в тоннах – это результат оценки численности и средней массы особи. На фоне общего снижения численности, наблюдается и уменьшение массы отдельных особей. В первую очередь, это касается мультизимних лососей.

В последнем отчете WGNAS [19] появилось понятие не двухзимних, а мультизимних особей, что объясняется более продолжительным морским нагулом. Это можно считать ещё одним различием в промысловых рядах, которое затрудняет выбор оптимальных значений уловов.

Так как были выбраны данные по номинальным уловам из отчета WGNAS 2024 года, данные по численности мультизимных особей и тинды так же были использованы из этого документа [19].

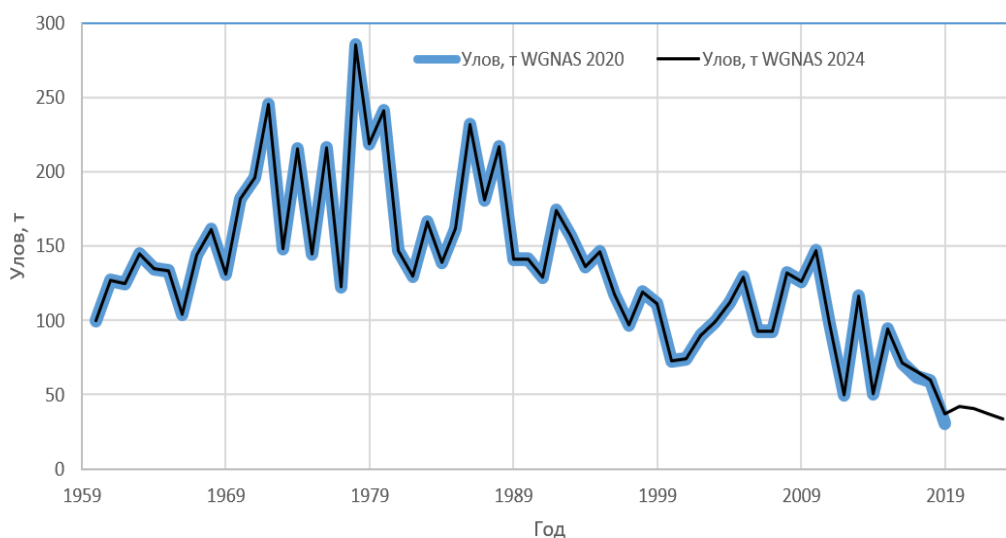


Рисунок 3.6 – Графическое представление номинальных уловов атлантического лосося в Исландии из отчетов WGNAS 2020 [22] и 2024 гг. [19]

Как говорилось ранее, уловы атлантического лосося никогда не были слишком высокими, ту же картину мы видим конкретно в уловах Исландии (рисунок 3.7). Однозначно присутствует тренд на понижение уловов, это связано как с запретами на перелов лосося, так и с климатическими условиями, в частности, с температурой морской воды.

Сравнивая численность однозимних и мультизимных особей, пойманных в Исландии с 1991 по 2022 год, мы видим, что первых всегда больше, чем вторых, но их численность сокращается не так незначительно. В 1991 году она составляла 29601 особей, а к 2022 году – 20341 особей

(рисунок 3.8). Численность же мультизимних атлантических лососей сильно упала за данный период: в 1991 году она составляла 11892 особи, максимальное значение наблюдалось в 1992 году (15312 особей), а к концу временного отрезка – всего 2262 особи.

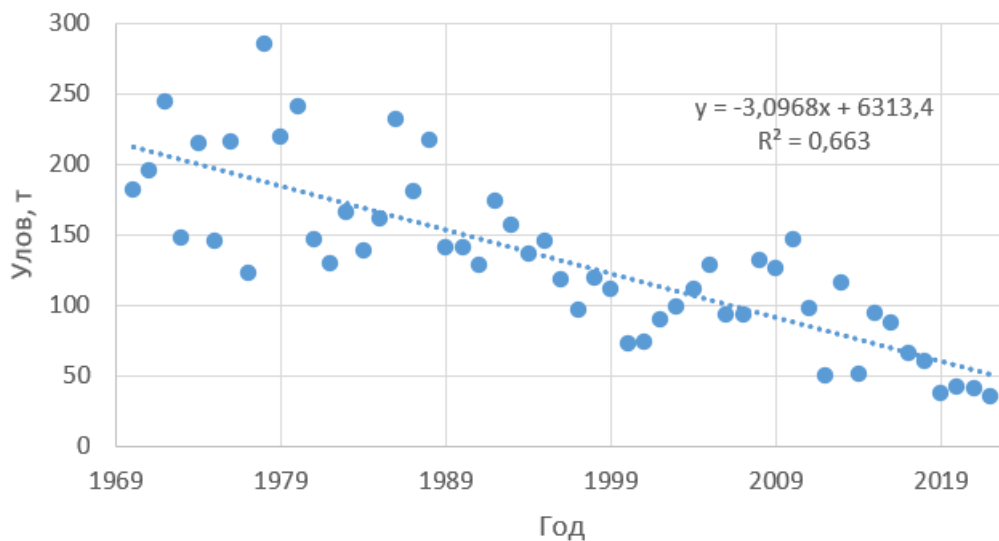


Рисунок 3.7 – Многолетние уловы атлантического лосося в Исландии и линейный тренд (обозначен пунктиром), в легенде представлено уравнение тренда и коэффициент детерминации

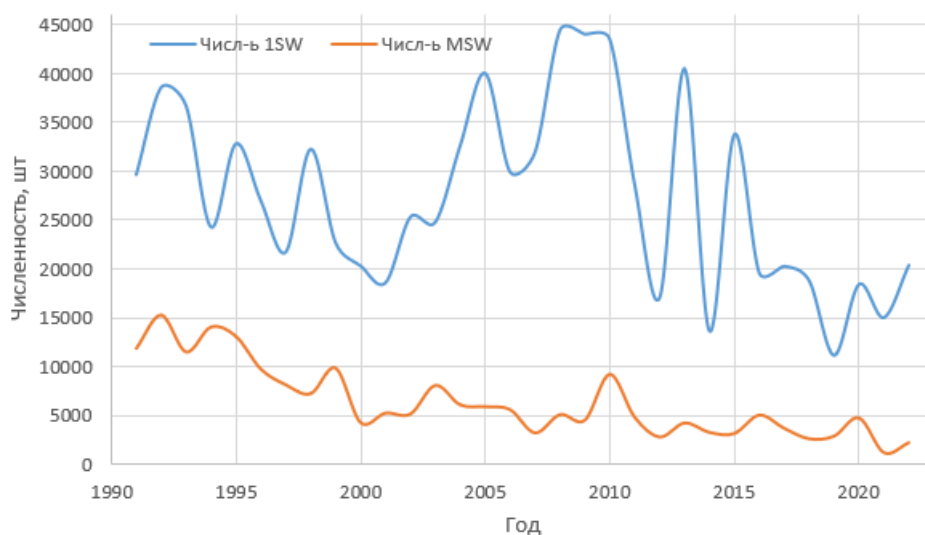


Рисунок 3.8 – Численность однозимних и мультизимных особей, пойманных в Исландии с 1991 по 2022 год

По рисунку 3.9 можем увидеть, что тинда за период с 1991 по 2022 год имеет практически стабильную вес, а вес мультизимных лососей значительно падает на протяжении всего периода, средний вес особи сократился почти на 1 килограмм, что является довольно существенным снижением.

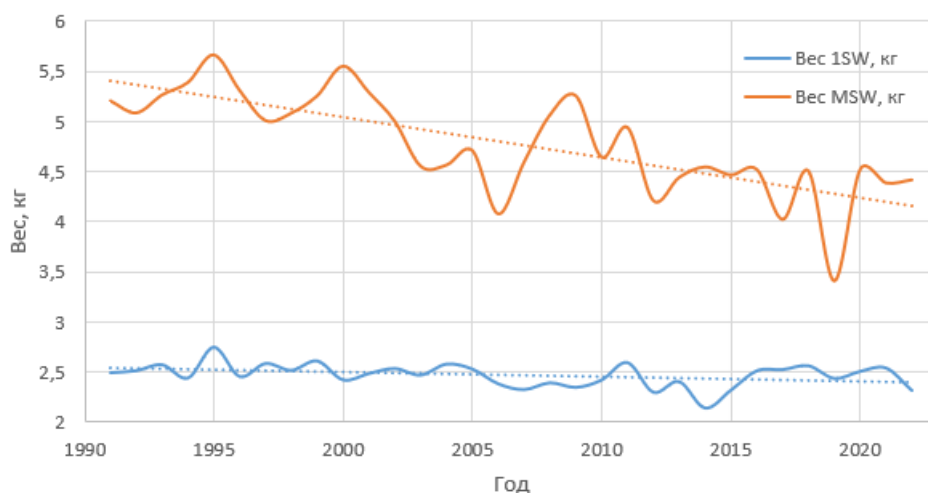


Рисунок 3.9 – Осредненный вес отдельных однозимних и мультизимных особей, пойманных в Исландии с 1991 по 2022 год

В отчете WGNAS 2020 года [22] был представлен процент однозимних особей. В отчете WGNAS 2024 года [19] же указывались конкретно объемы вылова однозимних и мультизимных лососей. При пересчете в процентах от общих уловов доли в уловах из разных отчетов несколько различаются, что затрудняет работу в плане прогнозов. Был рассчитан процент однозимних особей по данным о конкретных уловах однозимних и мультизимных лососей, и при сравнении его с процентом из отчета 2020 года было выявлено некоторое расхождение (рисунок 3.10). В общем, рассчитанный процент получился меньше примерно на 10-20% при сохранении временной динамики. Максимальные расхождения наблюдаются в 1994 году (19%), в 1999 году (17%) и в 2014 году (23%), что снова свидетельствует о больших сложностях при работе с промысловыми рядами.

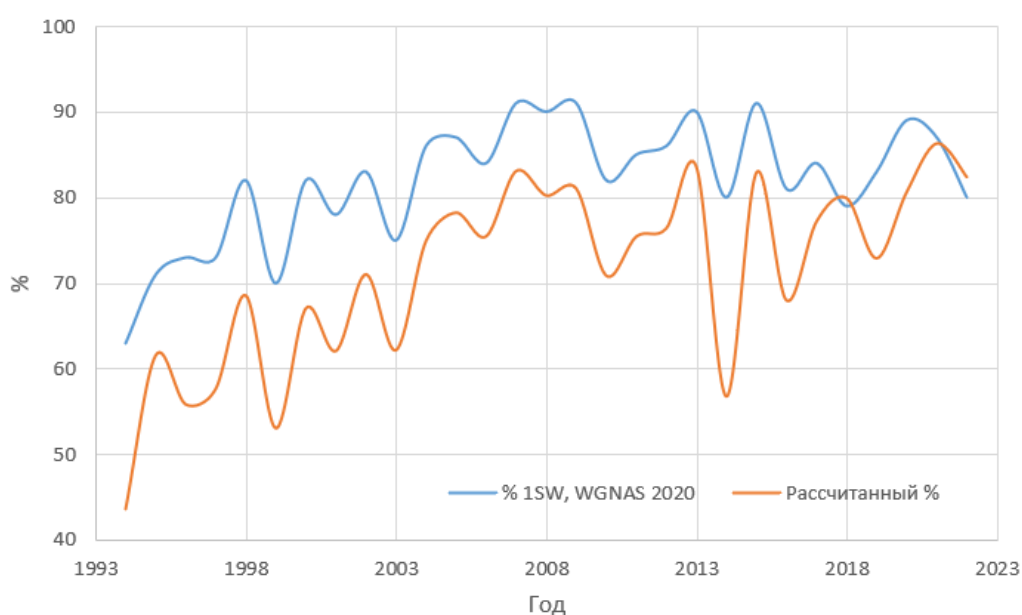


Рисунок 3.10 – Процент однозимних особей атлантического лосося в уловах Исландии (фактический и рассчитанный)

### 3.3 Корреляционный анализ ТПО и уловов атлантического лосося Исландии. Прогнозирование промысловых рядов при изменении учтённой площади морского ареала

Рассмотрим результаты корреляционного анализа рядов температуры поверхности океана в зоне нагула с уловами и численностью однозимних и мультизимних лососей.

Поиск корреляционных связей между этими рядами был сделан в контексте того, что подобные попытки уже были. Например, в исландских исследованиях Dennis L. и соавторов [20] для прогнозирования численности уловов атлантического лосося была использована именно температура воды в отдельные месяцы, которые как раз таки выделяются при кластерном анализе ТПО (разбиение на 4 типа условий).

Морской нагул атлантического лосося чаще всего длится от 1 до 3 лет, поэтому при расчетах корреляции были взяты сдвиги на 1, 2 и 3 года как в номинальных уловах, так и в случаях с численностью мультизимних особей.

Все коэффициенты корреляции были проверены на значимость, незначимыми оказались коэффициенты в январе, феврале и марте при сдвиге на 1 год, а также в марте при сдвиге на 2 года. Самый высокий коэффициент корреляции наблюдается в сентябре при сдвиге на 3 года (-0,62) – для номинальных уловов. Связь отрицательная, соответственно, при увеличении ТПО значения уловов уменьшаются.

Для тинды возврат в нерестовые реки не определяется температурой в море, так как при корреляционном анализе численности однозимних особей и температуры поверхности океана в районе их морского нагула, не было выявлено ни одного значимого коэффициента корреляции.

При корреляции мультизимних особей с ТПО самые высокие коэффициенты корреляции были обнаружены в сентябре, октябре и ноябре при сдвиге на 3 года (-0,55; -0,64 и -0,64). Следовательно, делаем вывод, что температура воды действительно может быть предиктором для мультизимних

лососей, она определяет ситуацию их возврата на нерест в реки, и особенно важен осенний период.

В таблице 3.1. обобщены результаты анализа межгодовой изменчивости ТПО вблизи о. Исландия (базовый район, рисунок 2.1) в ключевые месяцы (май, июнь и сентябрь) и данные промысловых рядов атлантического лосося. Цвета для уловов: начиная с самого бледного оттенка желтого и до темно-коричневого соответственно: от 0 до 75 тонн, 75 – 150 тонн, 150 – 225 тонн, 225 – 300 тонн.

В годы, которые сопряжены с очень теплыми условиями, особенно в наши ключевые месяцы, наблюдается существенное снижение уловов для Исландии. Учитывая меньший вклад других факторов (антропогенных) в динамику уловов атлантического лосося Исландии, можно сделать вывод о значительной обусловленности снижения уловов данного вида именно потеплением вод в районе морского промысла.

После более холодных лет мы наблюдаем хоть небольшие, но пики в ряду уловов. Ключевая роль при этом у ТПО в сентябре. С 2000 года становится очень тепло, появляется большое количество теплых сентябрей.

Однозимние особи атлантического лосося быстрорастущие, они созревают и сразу идут на нерест. Мультизимные особи становятся более мелкими, это может быть объяснено тем, что они медленнорастущие из-за влияния температурных условий. А как известно, чем меньше будет вернувшаяся на нерест особь, тем меньше будет объем её половых продуктов, что негативно скажется на будущих популяциях.

Таблица 3.1 Температурные условия в ключевые месяцы и их сопоставление с уловами и средним весом отдельных особей

	Май	Июнь	Сентябрь	Улов, т	Числ-в 1SW	Числ-в MSW	Вес 1SW, кг	Вес MSW, кг
1970								
1971								
1972								
1973								
1974								
1975								
1976								
1977								
1978								
1979								
1980								
1981								
1982								
1983								
1984								
1985								
1986								
1987								
1988								
1989								
1990								
1991					29601	11892	2,49	4,92
1992					38538	15312	2,51	5,09
1993					36640	11541	2,57	5,27
1994					24224	14088	2,44	5,39
1995					32767	13136	2,75	4,26
1996					26927	9785	2,45	5,31
1997					21684	8178	2,58	5,01
1998					32224	7272	2,51	5,09
1999					22620	9883	2,61	5,26
2000					20270	4319	2,42	5,56
2001					18538	5289	2,48	5,29
2002					25277	5194	2,53	5,01
2003					24738	8119	2,47	4,56
2004					32600	6128	2,58	4,57
2005					39980	5941	2,53	4,71
2006					29857	5635	2,38	4,08
2007					31899	3262	2,32	4,60
2008					44391	5129	2,39	5,07
2009					43981	4561	2,34	5,26
2010					43457	9251	2,42	4,65
2011					28550	4854	2,59	4,94
2012					17011	2848	2,29	4,21
2013					40412	4274	2,40	4,45
2014					13593	3317	2,13	6,63
2015					33713	3201	2,31	5,00
2016					19528	5082	2,51	4,53
2017					20229	3726	2,52	4,03
2018					18753	2661	2,56	4,51
2019					11102	2932	2,43	3,41
2020					18378	4799	2,50	4,52
2021					14978	1241	2,54	4,83
2022					20341	2262	2,31	4,42

За счет изменения климатических условий меняются граница ареала морского нагула атлантического лосося. Считается, что в настоящее время в связи с потеплением данная область смещается к более северным широтам. Базовый район исследований вблизи о. Исландия был расширен на северо-восток (рисунок 2.2). Также было учтено исследование с мечеными особями



атлантического лосося [16] и их морскими миграциями (рисунок 1.12). Четких описаний смещения мест нагула нет, но опираясь на вышеупомянутую научную статью, мы приняли решение исследовать температурные условия северо-восточнее изначально выбранного района у о. Исландия.

В среднем, характеристики температуры поверхности океана стали более низкими, однако мы видим, что в июне с начала 2000-х годов средняя ТПО для расширенного района выходит на нижнюю границу зоны оптимума ( $4^{\circ}\text{C}$ ) для атлантического лосося (рисунок 3.11). То есть в более широком районе создаются благоприятные условия для морского нагула, что косвенно подтверждает возможность либо расширения, либо смещения области нагула данного гидробионта к более северным широтам.

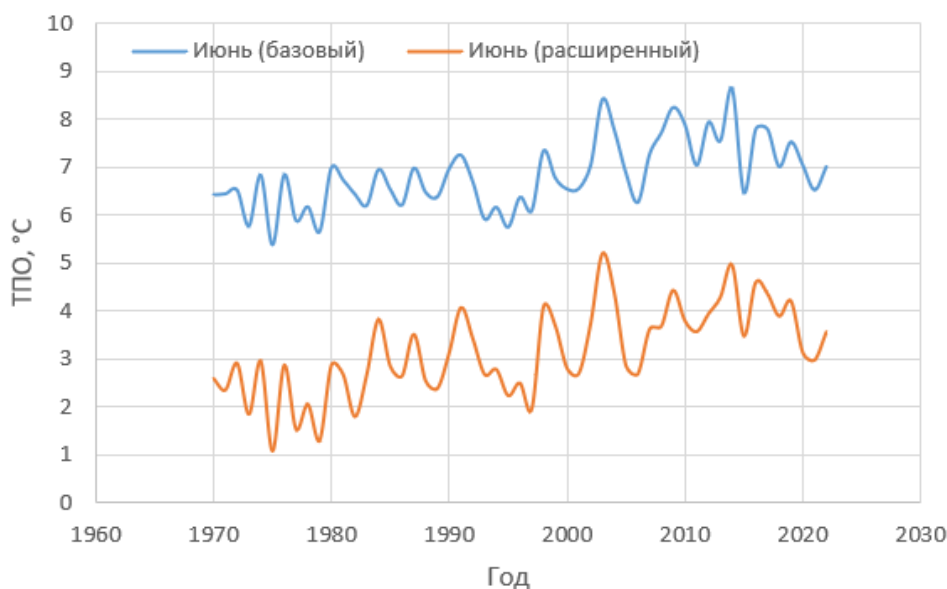


Рисунок 3.11 – Сравнение значений ТПО для базового и расширенного районов морского нагула вблизи о. Исландия

В связи с этим, корреляционный анализ был выполнен для рядов по температуре поверхности океана расширенного района в реперные месяцы (май, июнь, август, сентябрь) с уловами и численностью однозимних и мультимнолетних лососей.

Самые высокие значимые коэффициенты наблюдаются при корреляции номинальных уловов и температуры поверхности океана в августе и сентябре при сдвиге на 3 года (-0,70 и -0,70). Связь так же отрицательная, как и для базового района исследований, но абсолютные значения коэффициентов корреляции возросли.

При корреляции численности однозимних особей и ТПО выделяется всего один значимый коэффициент в мае при сдвиге на 3 года (-0,39).

В ситуации с численностью мультимимных особей большее количество коэффициентов корреляции прошли проверку на значимость. Значимыми оказались практически все коэффициенты, кроме коэффициентов в мае и в июне при сдвиге на 1 год. Самый высокий наблюдается в сентябре при сдвиге на 3 года (-0,58), что близко к ранее полученным оценкам.

Корреляция ряда ТПО с рядом усредненных масс отдельных однозимних особей не дала значимых результатов.

При корреляции ТПО с массой отдельных мультимимных особей выделяются высокие значимые коэффициенты корреляции: в сентябре при сдвиге на 2 года (-0,57), в августе при сдвиге на 3 года (-0,60) и в сентябре при сдвиге на 3 года (-0,52).

На основании полученных данных, можем сделать вывод, что наибольшее значение для атлантического лосося так же имеют май, июнь, сентябрь, так как там присутствуют самые высокие значимые коэффициенты корреляции.

Так как присутствуют взаимосвязи и значимые корреляции, можно использовать данные зависимости для ориентировочных прогнозов, как в случае с базовым районом исследований, так и с расширенным. Базовый район однозначно всегда задействован в морском нагуле популяций атлантического лосося Исландии, потому как находится максимально близко к острову. Расширенный район может быть задействован как ареал нагула, так как происходит потепление вод, и граница может сместиться к северу.

Промысловые ряды не разделялись на зависимую и независимую выборки, так как на данный момент они и так довольно короткие, и для ориентировочных прогнозов были использованы полные ряды номинальных уловов Исландии (с 1970 по 2022 год), численности однозимних и мультизимних особей атлантического лосося (с 1991 по 2022 год).

Полученные регрессионные прогностические модели представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Прогностические зависимости для оценки уловов атлантического лосося Исландии

Модель	Регрессионная прогностическая модель	Предиктор
Модель 1	$Улов (i+3) = -47,624 * ТПО_{баз}(i-3) + 516,59$	ТПО в сентябре при сдвиге на 3 года (базовый район)
Модель 2	$Улов (i+3) = -47,624 * ТПО_{расшир}(i-3) + 516,59$	ТПО в сентябре при сдвиге на 3 года (расширенный район)
Модель 3	$Числ (i+3) = -2532,19 * ТПО_{баз}(i-3) + 27334,64$	ТПО в сентябре при сдвиге на 3 года (базовый район)
Модель 4	$Числ (i+3) = -2515,88 * ТПО_{расшир}(i-3) + 19716,64$	ТПО в сентябре при сдвиге на 3 года (расширенный район)
Модель 5	$Числ (i+3) = -2196 * ТПО_{баз}(i) + 42971,38$	ТПО в июне без сдвига (базовый район)
Модель 6	$Числ (i+3) = -3739,89 * ТПО_{расшир}(i) + 40637,62$	ТПО в июне без сдвига (расширенный район)

На рисунке 3.12 представлены исходные и рассчитанные значения номинального улова Исландии в сентябре при сдвиге на 3 года (базовый район), выбор месяца и сдвига объясняется самой высокой корреляционной связью характеристик (модель 1). Используя результаты по модели 1, можно ожидать, что значения номинальных уловов Исландии возрастут практически в 3 раза до 2025 года. Данная тенденция может быть связана с тем, что по результатам кластерного анализа было выявлено небольшое похолодание в последние несколько лет, которое может продолжиться, что благоприятно повлияет на популяции атлантического лосося.

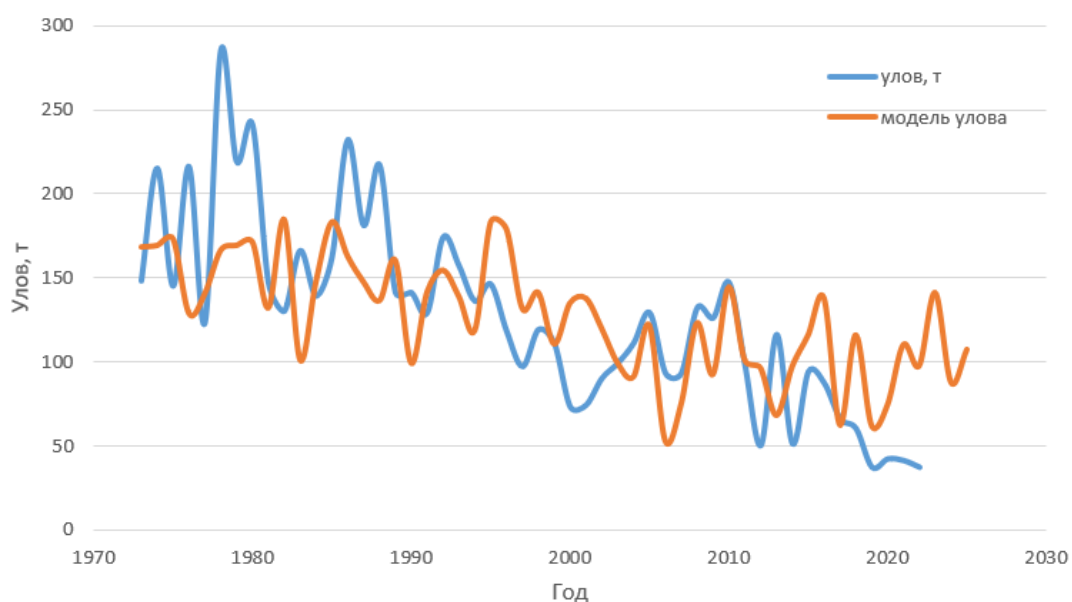


Рисунок 3.12 – Исходные и рассчитанные значения номинального улова Исландии в сентябре при сдвиге на 3 года (базовый район, модель 1)

На рисунке 3.13 представлены исходные и рассчитанные значения номинального улова Исландии в сентябре при сдвиге на 3 года (расширенный район, модель 2). В данном случае так же прослеживается тенденция повышения уловов атлантического лосося по прогнозу. Модель при расширенном ареале морского нагула даже лучше описывает исходный ряд,

но ошибки все равно присутствуют. Например, самая большая ошибка наблюдается в 1978 году.

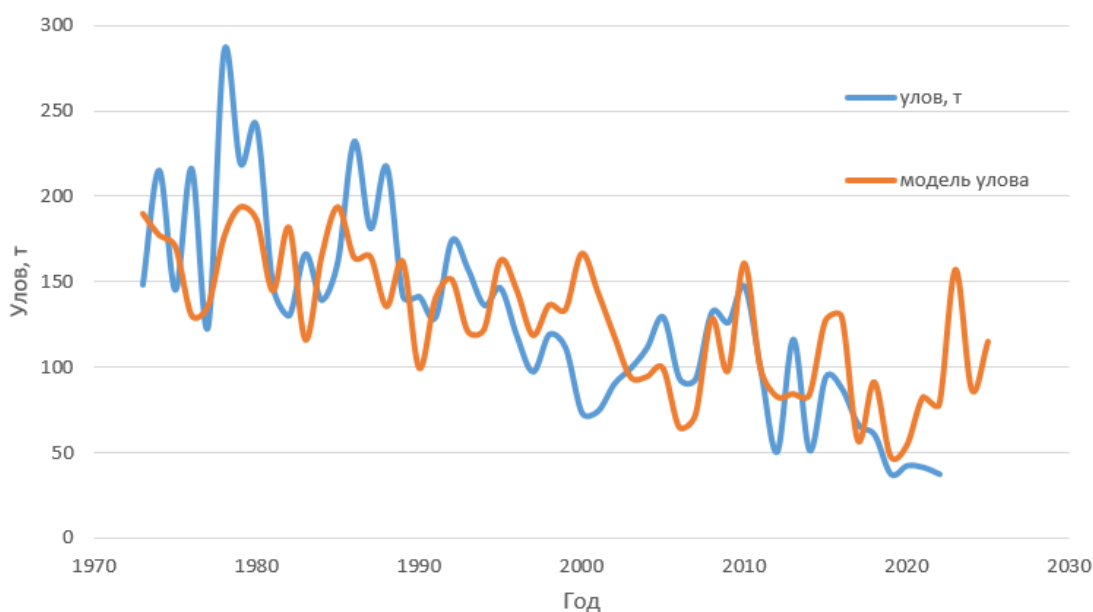


Рисунок 3.13 – Исходные и рассчитанные значения номинального улова Исландии в сентябре при сдвиге на 3 года (расширенный район)

Для сравнения прогнозов номинальных уловов при учете ТПО в базовом и расширенном районах нагула была составлена гистограмма ошибок моделей (рисунок 3.14). Как можем заметить, меньшие ошибки приходятся на прогноз уловов в расширенном районе нагула атлантического лосося (на рисунке 3.14 обозначены синим цветом). В среднем, данные ошибки практически вдвое меньше, чем ошибки прогноза уловов при учете ТПО в базовом районе исследований. Однако, присутствуют года, в которых наблюдается обратная ситуация. К примеру, в 2000 и 2001 годах ошибки для расширенной области больше, чем для базовой. Это может быть объяснено тем, что по температурным условиям сентября данных лет являются первыми теплыми за долгое время, поэтому популяции атлантического лосося могли сместиться в более северный район нагула.

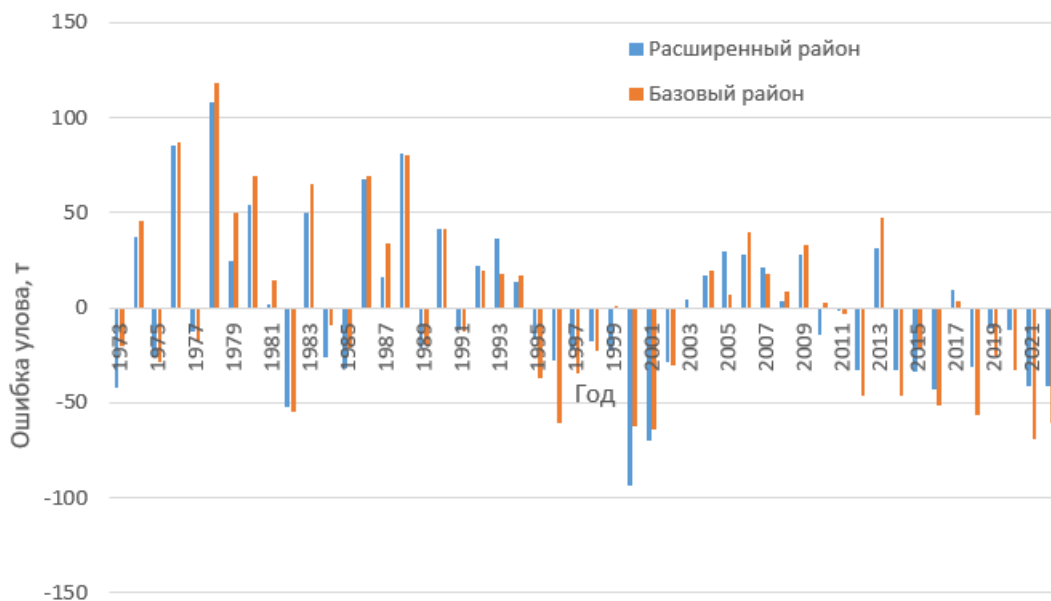


Рисунок 3.14 – Гистограмма ошибок моделей при прогнозировании номинальных уловов в сентябре при сдвиге на 3 года в базовом и расширенном районах исследования

Следующим шагом было прогнозирование численности мультизимных особей в сентябре со сдвигом на 3 года в базовом и расширенном районах исследований (рисунки 3.15 – 3.16; модели 3,4). В данном случае прослеживается ещё более сильная связь при переходе к расширенному району нагула. Связано это с тем, что мультизимные лососи могут уходить дальше от берегов Исландии, так как они дольше нагуливаются и скорее всего смещаются именно на север.

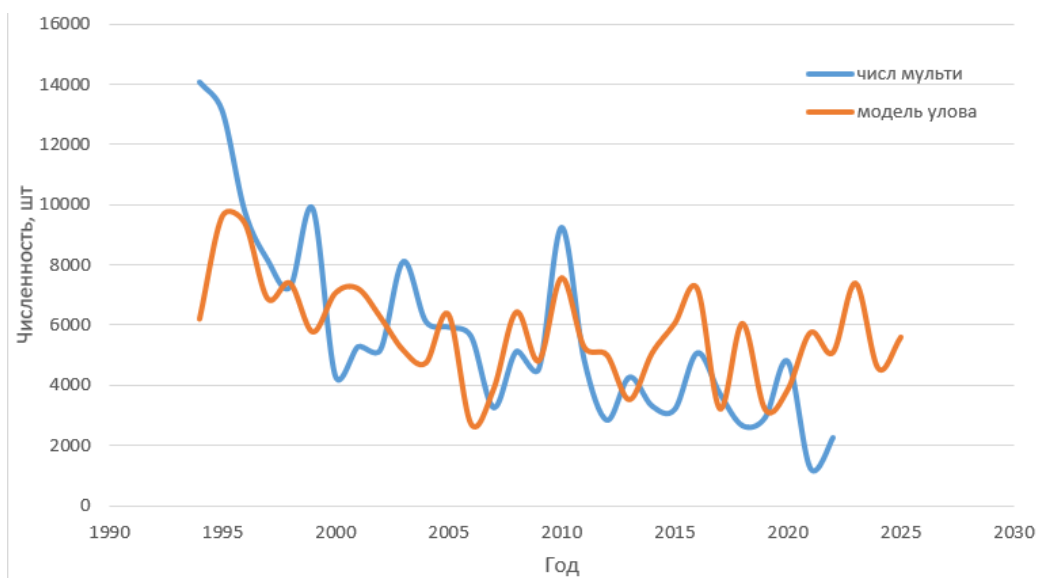


Рисунок 3.15 – Исходные и рассчитанные значения численности мультизимных особей в сентябре при сдвиге на 3 года (базовый район, модель 3)

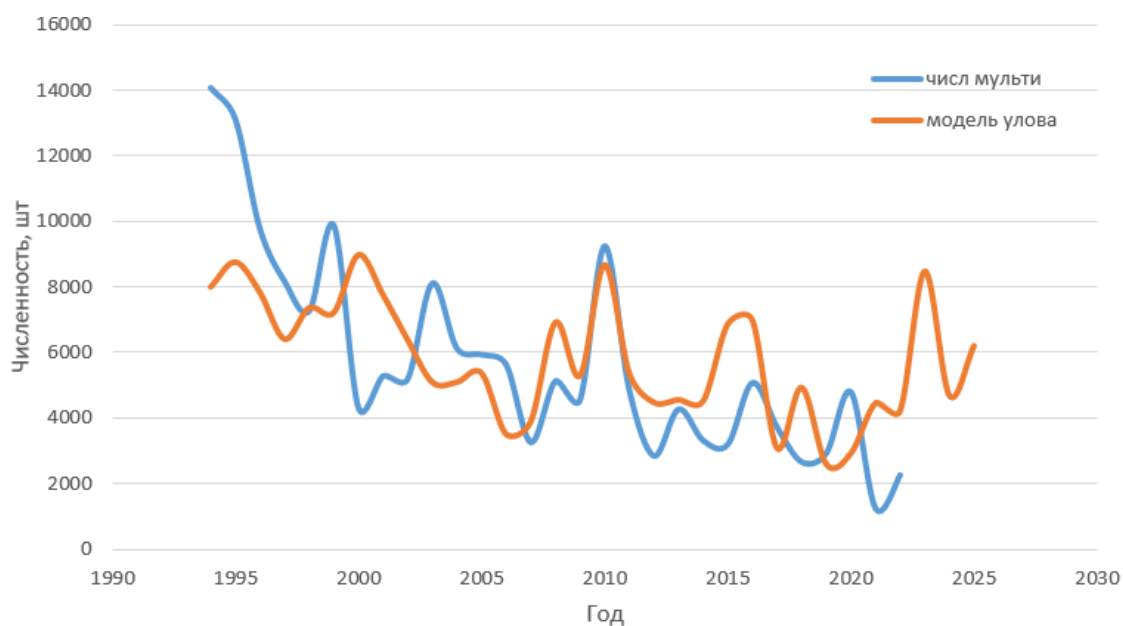


Рисунок 3.16 – Исходные и рассчитанные значения численности мультизимных особей в сентябре при сдвиге на 3 года (расширенный район, модель 4)

Ошибки прогнозов численности мультизимных особей при учете ТПО расширенного района так же снижаются в теплый период по сравнению с учетом ТПО базового района (рисунок 3.17).

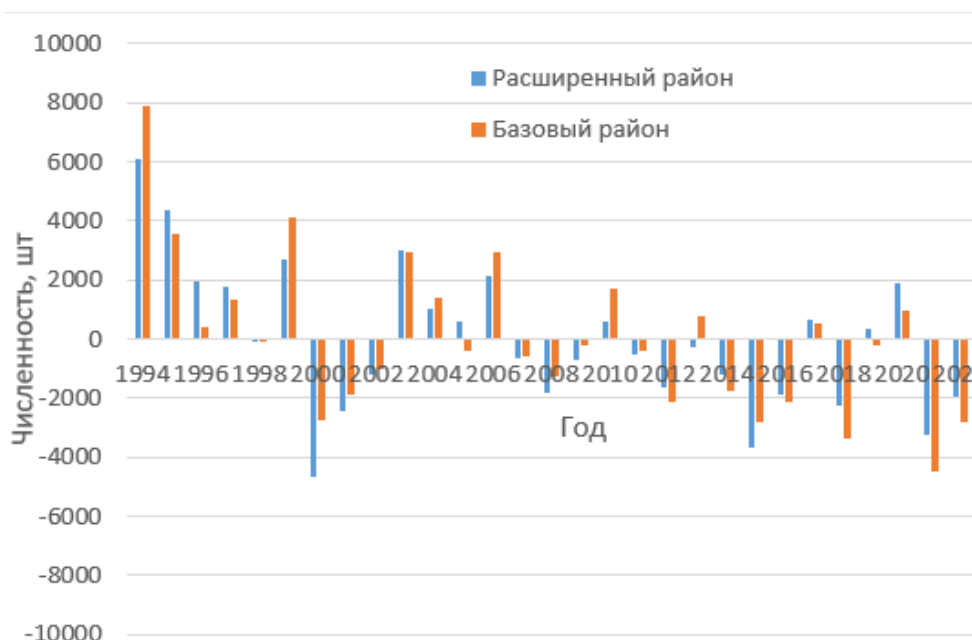


Рисунок 3.17 – Гистограмма ошибок моделей при прогнозировании численности мультизимных особей в сентябре при сдвиге на 3 года в базовом и расширенном районах исследования

При прогнозировании численности однозимных особей атлантического лосося (рисунки 3.18 – 3.19; модели 5,6) было выявлено, что для тинды увеличения связи при расширении района нагула нет, потому как данным особям нет необходимости уходить далеко от нерестовых рек. Лучшая связь исходных и рассчитанных значений просматривается в базовом районе нагула. Наибольшие ошибки модели проявляются в период с 2005 по 2015 год.



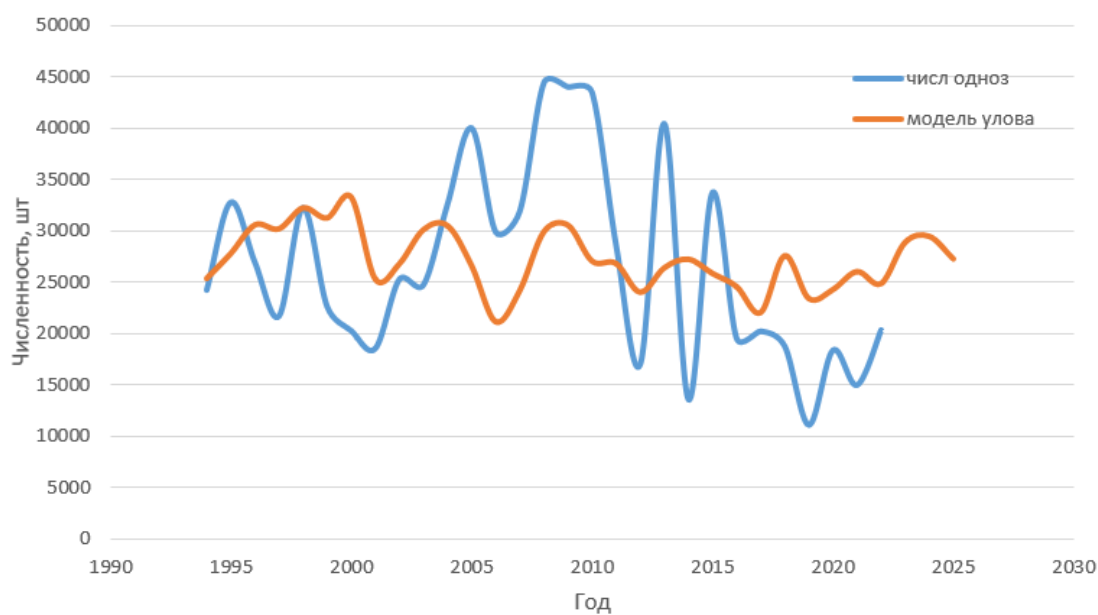


Рисунок 3.18 – Исходные и рассчитанные значения численности однозимних особей в июне без сдвига (базовый район)

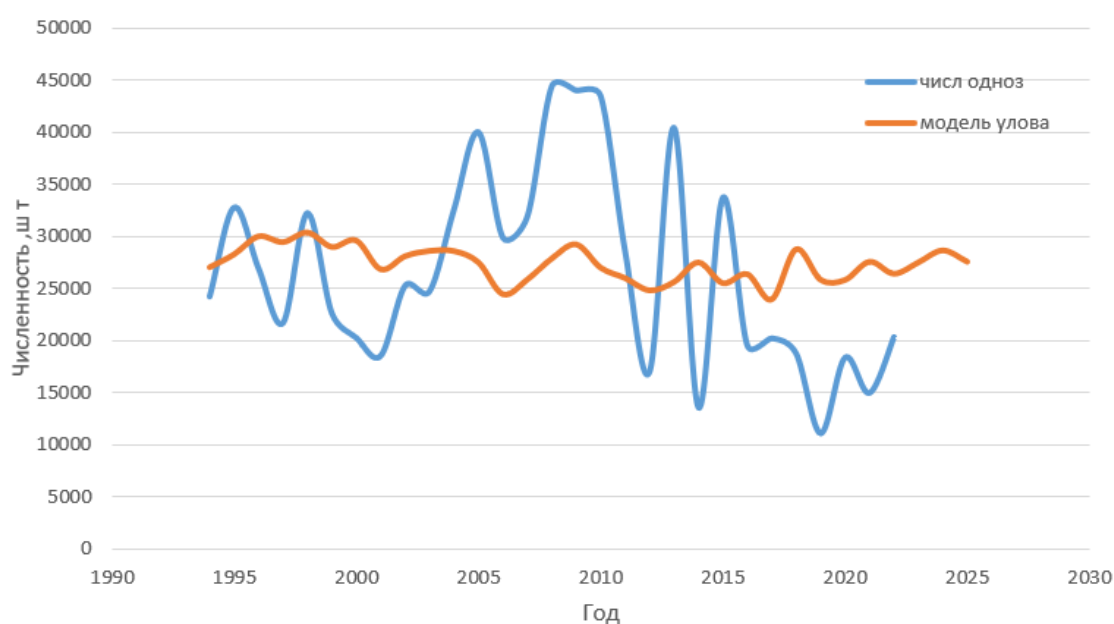


Рисунок 3.19 – Исходные и рассчитанные значения численности однозимних особей в июне без сдвига (расширенный район)

Если обратить внимание на гистограмму ошибок моделей при прогнозировании численности однозимних лососей в базовом и расширенном

районах, то можно отметить, что они практически сходятся на протяжении всего периода наблюдений, что еще раз доказывает, что на тинду расширение области нагула не влияет.

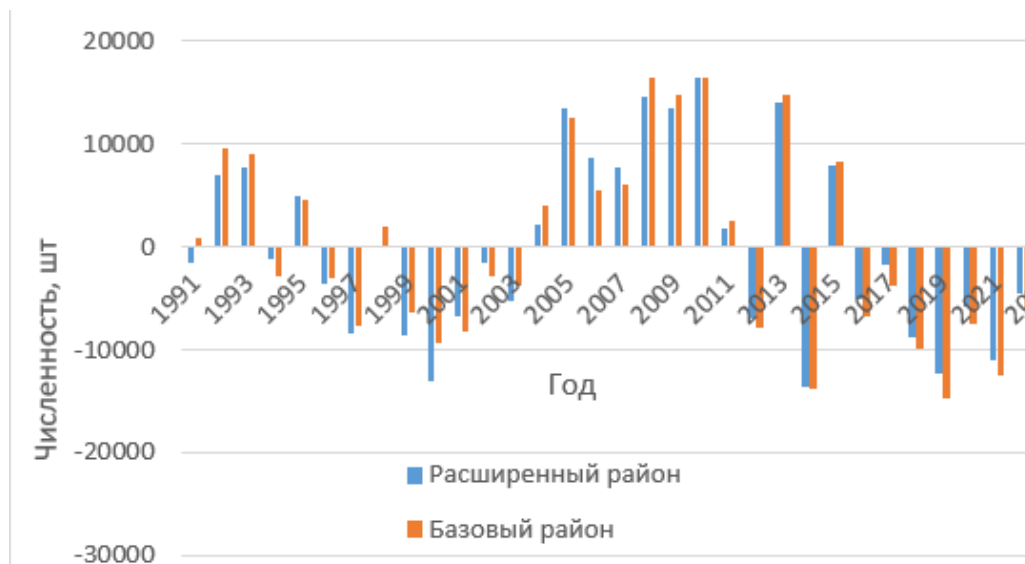


Рисунок 3.20 – Гистограмма ошибок моделей при прогнозировании численности однозимних особей в июне без сдвига в базовом и расширенном районах исследования

Таким образом, при дальнейших исследованиях целесообразно картировать более детально область возможного морского нагула с учетом оптимального диапазона температур воды и использовать для прогноза временной ряд площади нагула, что особенно актуально для мультимимных особей атлантического лосося.

## Заключение

Обобщим основные результаты выполненного исследования:

– анализ опубликованных исследований показал, что снижение уловов атлантического лосося наблюдается в пределах всего ареала, и в настоящее время его уловы упали примерно в 20 раз, что возможно связано с условиями в зоне морского нагула. Повышение ТПО может приводить к изменению границ нагульного ареала, а именно смещению их к северу;

– выбор промысловых рядов атлантического лосося Исландии для исследования влияния изменений границ морского нагула обусловлен лучшей сохранностью популяций лососевых рек (незначительный антропогенный прессинг, жесткий контроль) с одной стороны, а с другой – непосредственная близость области морского нагула европейских популяций данного вида;

– статистический анализ подготовленных данных о ТПО в базовом и расширенном районах и промысловых рядов атлантического лосося Исландии показал, что ключевыми месяцами являются: май, июнь, август и сентябрь с точки зрения тепловых условий в море, и именно для этих месяцев связь между промысловыми рядами и тепловыми характеристиками максимальные. Визуализация результатов кластерного анализа позволила более наглядно продемонстрировать согласованность тенденций изменения температурных и промысловых рядов;

– составленные ориентировочные прогнозы уловов и численности рыб с учетом ТПО в базовом и расширенном районах показали, что для мультисимных особей и номинальных уловов целесообразно учитывать расширенный район в теплые годы, а для тинды существенного изменения при переходе к использованию данных из разных районов нет;

Таким образом, при дальнейших исследованиях целесообразно картировать более детально область возможного морского нагула с учетом оптимального диапазона температур воды и использовать для прогноза

временной ряд площади нагула, что особенно актуально для мультизимних особей атлантического лосося.

## Список использованной литературы:

1. Мартынов В.Г. Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на Севере России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007.
2. Аквакультура России, Атлантический лосось  
URL: <http://aquacultura.org/objects/13/135/> (дата обращения: 02.05.2024)
3. База данных FishBase / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций / Департамент рыбного хозяйства и аквакультуры  
URL: <https://fishbase.mnhn.fr/summary/SpeciesSummary.php?ID=236&AT=Atlantic+salmon> (дата обращения: 02.05.2024)
4. О семге и её ловле  
URL: [http://kola-salmon.ru/public/kola\\_peninsula/salmon/salmon1.html](http://kola-salmon.ru/public/kola_peninsula/salmon/salmon1.html)  
(дата обращения: 03.05.2024)
5. Течения Атлантического океана  
URL: <https://natworld.info/nauki-o-prirode/techeniya-atlanticheskogo-okeana-severnnye-i-yuzhnye-osobennosti-i-karta> (дата обращения: 03.05.2024)
6. Воробьев В., Чвала И. // Антропогенные факторы заболеваний и гибели атлантических лососей (*Salmo Salar* L.)
7. ICES 2023 Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS)
8. National Aeronautics and Space Administration  
URL: [https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index\\_v4.html](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html) (дата обращения: 05.05.2024)
9. State of North Atlantic Salmon Report  
URL: <https://nasco.int/wp-content/uploads/2020/05/SoS-final-online.pdf>  
(дата обращения: 21.04.2024)

10. Экология промысловых видов рыб Баренцева моря. - Апатиты: КНЦ РАН, 2001. - 461 с.
11. North Atlantic Salmon Conservation Organization Conserving  
URL: <http://www.nasco.int/>
12. Arni Isaksson and Thor Gudjonsson // Atlantic salmon in Iceland, 1995
13. Лососевые реки Исландии  
URL: <https://www.salmonatlas.com/the-atlantic-salmon-rivers-of-iceland>  
(дата обращения: 25.04.2024)
14. The Icelandic Salmon  
URL: <https://nat.is/the-icelandic-salmon/> (дата обращения: 02.05.2024)
15. Malcolm L. Windsor, Peter Hutchinson, Lars Petter Hansen and David G. Reddin. 2012. Atlantic salmon at sea: Findings from recent research and their implications for management. NASCO document CNL (12)60
16. John Fredrik Strøm, Eva Bonsak Thorstad, Richard David Hedger and Audun Håvard Rikardsen // Revealing the full ocean migration of individual Atlantic salmon, 2018
17. Э.Л. Бакштанский // Развитие морского промысла атлантического лосося, 1970
18. The status of Atlantic salmon stocks in Iceland Past and present management actions to mitigate the effect of climate change on Atlantic salmon Gudni Gudbergsson and Hlynur Bardarson, Marine and Freshwater Research Institute (MRFI), Iceland, 2023
19. WORKING GROUP ON NORTH ATLANTICSALMON (WGNAS)ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort, Northeast Atlantic ecoregions, Published 2024  
URL: Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS) ([figshare.com](https://www.figshare.com))  
(дата обращения: 25.03.2024)

20. 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/
21. Библиотека данных реанализа  
URL: [https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version 5/](https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version%205/) (дата обращения: 15.01.2024)
22. WORKING GROUP ON NORTH ATLANTIC SALMON (WGNAS) ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort, Northeast Atlantic ecoregions, Published 2020, VOLUME 2, ISSUE 21  
URL:  
[http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/Fisheries%20Resources%20Steering%20Group/2020/WGNAS/2020\\_wgnas.pdf](http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/Fisheries%20Resources%20Steering%20Group/2020/WGNAS/2020_wgnas.pdf) (дата обращения: 25.03.2024)
23. Гордеева, С.М. Практикум по курсу Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации / СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 70 с.
24. Электронный учебник по статистике СТАТСОФТ.  
URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html> (дата обращения: 20.03.2024)
25. Бююль А., Цеффель П. SPSS: искусство обработки информации. – М., 2005, Глава 15. Корреляции
26. Кластеризация URL: <https://neerc.ifmo.ru/> (дата обращения: 25.03.2024)