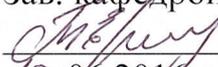


Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущена к защите
Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
 Т.Р. Еремина
10.06.2016

Кафедра
промышленной океанологии
и охраны природных вод

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

Изменение теплового состояния вод северо-запада Атлантики как фактор, влияющий на состояние популяций атлантического лосося

| | |
|--------------|--------------------------------|
| Выполнил(а) | О.С. Головченко, гр. О-438 |
| Руководитель | к.г.н., доцент О.В. Хаймина |

Санкт-Петербург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущена к защите
Зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
_____ Т.Р. Еремина
____.06.2016

Кафедра
промышленной океанологии
и охраны природных вод

**ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

Изменение теплового состояния вод северо-запада Атлантики как фактор, влияющий на состояние популяций атлантического лосося

| | |
|--------------|--------------------------------|
| Выполнил(а) | О.С. Головченко, гр. О-438 |
| Руководитель | к.г.н., доцент О.В. Хаймина |

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| Сокращения | 4 |
| Введение | 5 |
| 1 Североамериканские популяции атлантического лосося: жизненный цикл, ареал и современное состояние отдельных популяций | 7 |
| 1.1 Биологическое описание вида и его жизненный цикл | 7 |
| 1.2 Физико-географическая характеристика Северо-Западной Атлантики | 12 |
| 1.3 Влияние антропогенных факторов на состояние популяции | 14 |
| 2 Материалы и методы | 21 |
| 2.1 Характеристика исходных данных | 21 |
| 2.2 Методы статистического анализа: оценка первичных статистик, тренд-анализ, спектральный и корреляционный анализы | 24 |
| 3 Изменение теплового состояния вод северо-западной части Атлантики и динамика уловов атлантического лосося североамериканских популяций | 30 |
| 3.1 Результаты оценки первичных статистик, тренд-анализа и спектрального анализа рядов ТПО нагульных областей и улов лосося | 30 |
| 3.2 Оценка влияния температуры вод нагульных ареалов на уловы атлантического лосося из североамериканских популяций | 41 |
| Заключение | 47 |
| Список используемой литературы | 49 |

| | Стр. |
|--|------|
| Приложение А – Основные проекты NASCO по исследованию влияния абиотических факторов среды на состояние популяции атлантического лосося | 52 |
| Приложение Б – Графики спектральной плотности аномалий средних ТПО по площадям нагула и аномалиям уловов атлантического лосося | 55 |

СОКРАЩЕНИЯ

| | | |
|-------|---|--|
| США | – | Соединенные Штаты Америки |
| СЗА | – | Северо-Западная Атлантика |
| ТПО | – | температура поверхности океана |
| MSW | – | multi-sea-winter |
| 1SW | – | 1-sea-winter |
| FAO | – | Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| ФАО | – | Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН |
| САХ | – | Срединно-Атлантический хребет |
| СЛО | – | Северный Ледовитый океан |
| NASCO | – | The North Atlantic Salmon Conservation Organization |
| НАСКО | – | Организация сохранения Североатлантического лосося |
| C&R | – | catch-and-release |
| NOAA | – | North Oceanic and Atmospheric Administration |
| ICES | – | International Council for the Exploration of the Sea |
| GSNW | – | Gulf Stream North Wall |
| СКО | – | среднее квадратическое отклонение |
| НЗ | – | нормальный закон |
| ЭФР | – | эмпирическая функция распределения |
| RVS | – | Red Vent Syndrome |

ВВЕДЕНИЕ

Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) – один из самых ценных промысловых гидробионтов; спрос на него определяется вкусовыми качествами мяса и большим количеством незаменимых для организма человека полезных кислот Омега-3. Этот вид рыб совершает продолжительные нагульные миграции в сотни и даже тысячи миль в море, а затем возвращается обратно к нерестовой реке, в которой и был воспроизведен.

На протяжении последних полутора веков атлантический лосось изымался из Мирового океана в изобилии, однако с конца 1980-х годов его уловы значительно снизились (приблизительно на 80% относительно начала-середины века). Сложившаяся ситуация вызвала беспокойство не только с точки зрения сокращения добываемой рыбной продукции, но и с точки зрения сохранности как отдельных популяций, так и вида в целом.

Существенные сокращения уловов атлантического лосося были отмечены и для европейских популяций, и для североамериканских популяций данного вида. Конец 20 века в Северной Америке ознаменован стремительным развитием инфраструктуры и активным ведением сельского хозяйства вдоль лососевых рек, в результате чего ухудшалось качество воды, а также изменением прибрежного и речного облика США и Канады путем, например, строительства дамб и плотин, блокирующих миграцию.

И даже аквакультура, призванная восполнить запасы атлантического лосося и активно развивающаяся вплоть до настоящего времени, также подвергла угрозам дикие популяции лосося за счет паразитизма и снижения приспособленности гибридных особей.

Исследования, проводимые зарубежными и отечественными учеными [1-6 и др.], связывают резкое сокращение численности и уловов атлантического лосося в основном с негативными антропогенными

факторами. Однако выявленные периодичности в изменении уловов данного вида [3] указывают на наличие абиотических факторов среды.

Целью настоящей работы является изучение температурного режима областей нагула и его влияния на структуру уловов атлантического лосося в Северо-Западной Атлантике для оценки возможных перспектив изменения состояния североамериканской группы популяций данного вида.

Объектом исследования были выбраны североамериканские популяции атлантического лосося, косвенным показателем численности которых являются уловы Канады.

Предметом исследования являлось влияние температуры нагульных ареалов в Северо-Западной Атлантике на уловы (численность) атлантического лосося.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить по опубликованным материалам особенности биологии атлантического лосося, включая жизненный цикл и современное состояние североамериканской группы популяции, а также специфику океанографических условий в местах ее нагула;
- сформировать временные ряды температуры поверхности океана (ТПО) для областей нагула тинды и мультизимних особей из североамериканских популяций атлантического лосося и ряды уловов Канады данного вида с конца 19 века по 2015 год;
- исследовать структуру подготовленных температурных и промысловых рядов стандартными методами статистического анализа;
- получить количественную оценку влияния изменения температурного режима СЗА на величину и структуру уловов атлантического лосося и оценить возможные перспективы изменения состояния североамериканской группы популяций данного вида.

1 СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИЕ ПОПУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ: ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ, АРЕАЛ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

1.1 Биологическое описание вида и его жизненный цикл

Атлантический лосось является анадромным, или проходным, видом, особи которого воспроизводятся и нерестятся в пресной воде, а нагуливаются в морских водах.

Существуют также непроходные виды, которые проводят всю жизнь в месте своего рождения, но их доля не велика [1].

Выделяют 3 группы популяции атлантического лосося:

- североамериканскую;
- европейскую;
- балтийскую.

Североамериканская группа распространена в речных системах и морских водах вдоль атлантического побережья от бассейна реки Гудзон в штате Нью-Йорк (41° с.ш.) до внешней части залива Унгава в провинции Квебек и на запад к берегам юго-западной Гренландии [2, 3].

Озерные, или непроходные формы, найдены в озерах Себейго, Себек (штат Мэн), в озерах Квебека, Ньюфаундленда, Лабрадора, Нью-Брансуик и Новой Шотландии.

Согласно [4] ареал можно разделить на репродуктивный и нагульный. Репродуктивный ареал представлен на рисунке 1.1.

Ранние этапы жизненного цикла лосося (от стадии икры до пестрятки) проходят в реке, после чего поздней весной-летом следует период нагульной миграции в море, характеризующийся быстрыми темпами роста и созревания [5].



Рисунок 1.1 – Репродуктивный ареал североамериканских популяций атлантического лосося [по 6]

Рассмотрим более подробно основные стадии созревания атлантического лосося (рисунок 1.2).

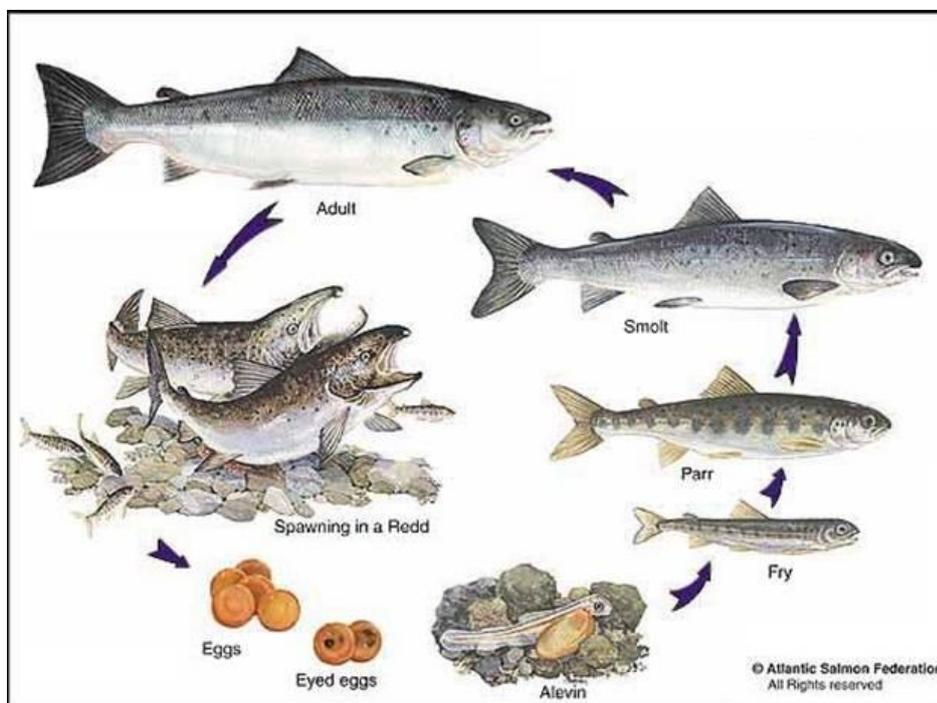


Рисунок 1.2 – Жизненный цикл атлантического лосося [7]

В начале половой зрелости особи из мест нагула возвращаются к родной реке, в которой сами вылупились из икры [2]. Это явление известно как хоминг. Считается, что лососи отыскивают свою реку (или приток) по «запаху», ориентируясь по специфическим соотношениям химических элементов в воде.

Нерест обычно происходит осенью (при температуре воды 6-10 °С) – для большинства популяций в октябре-декабре. Однако, сроки нереста различаются не только для разных широт, но также и между реками в пределах одного географического региона [1]. Как правило, северные популяции нерестятся раньше, чем южные, поскольку им требуется больше времени на развитие яиц в более холодных водах. Например, для высоких широт размножение происходит в сентябре, в то время как для популяций на южной границы ареала может начаться даже в марте [8].

Также стоит учесть, что время нереста зависит от степени развитости половых продуктов. Яровые формы лосося (с развитыми половыми продуктами) подходят к устью реки в летний период и мечут икру этой же осенью, а озимые формы проводят зиму в реке/устье и совершают нерест только на следующий год.

Лососи претерпевают преднерестовый метаморфоз, когда серебристый окрас меняется на яркий, челюсти крючкообразно изгибаются, у самцов образуется горб [9].

Самки создают «гнезда», вырывая их в грунте реки, выметывают икру, после чего находящийся неподалеку самец оплодотворяет ее. С целью сохранения оптимальных условий для созревания, самка движениями хвоста «укрывает» икру песком. В течение инкубационного периода, длящегося около 10 недель, физико-химические условия на нерестилище играют наиболее важную роль [10].

В отличие от тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*), которые после нереста погибают, атлантические лососи могут повторно нереститься (в зарубежной терминологии с такими особями связывают понятие iteroparous –

то есть характеризующийся несколькими репродуктивными циклами в течение жизни), но доля таких особей невелика – около 3% от общей численности популяции.

Отнерестившиеся особи – «черные лососи» («вальчаки», англоязычный вариант «kelt») – сильно исхудавшие, скатываются по течению к морю (такая миграция получила название «покатной»). Оказавшись в морской среде, лососи возобновляют питание, активно набирают вес и восстанавливают серебристую окраску [2].

Вылупившиеся мальки (сроки зависят от широты, условий обитания и питания, а также генетической наследственности) в первые 3-8 недель для питания используют желточный мешочек, после чего переходят на внешнее питание, становясь рагг (американский аналог пестрятки). В этой стадии молодь лосося не похожа на взрослые особи – по бокам его туловища располагаются поперечные полосы с красными вкраплениями (служит своеобразной защитой от хищников); питаются червями, мелкими ракообразными, икрой и молодью других рыб [1, 8, 10].

Они проводят в реке от 1 до 6 лет (чаще 2-3 года), прежде чем подвергаются морфологическим и физиологическим изменениям – смолтификации (smoltification) – процесс подготовки организма лосося к пребыванию в водоемах с повышенной соленостью. С изменением яркой окраски на серебристую и исчезновением пятен смолты, при длине тела 10-20 см., мигрируют в море вниз по течениям. Они стремительно направляются в открытое море, минуя эстуарии и фьорды (зоны повышенного скопления хищников) [1, 8, 10].

Модель анадромной миграции атлантического лосося изучена не достаточно хорошо. Известно, что в море они проводят от 1 до 5 лет. В зависимости от степени развитости половых продуктов, разные особи на нерест идут как в разные сроки, так и в различном возрасте. Если особи нагуливаются в море несколько зим, их называют мультизимними (multi-sea-winter, MSW); если особь проводит в море всего лишь одну зиму – тогда это

1 sea-winter salmon (1SW or grilse), на восточном побережье Северной Атлантики их называют тиндой.

Нагульные области могут меняться в зависимости от сезона, но к настоящему времени имеется четкое представление, что североамериканская группа популяции нагуливается в водах Западной Гренландии, в море Лабрадор и в районе Большой Ньюфаундлендской банки до 44° з.д. (рисунок 1.3) [11]. Кормовую базу в морской стадии составляют креветки и кальмары, некоторые виды рыб (килька, мойва, сельдь).

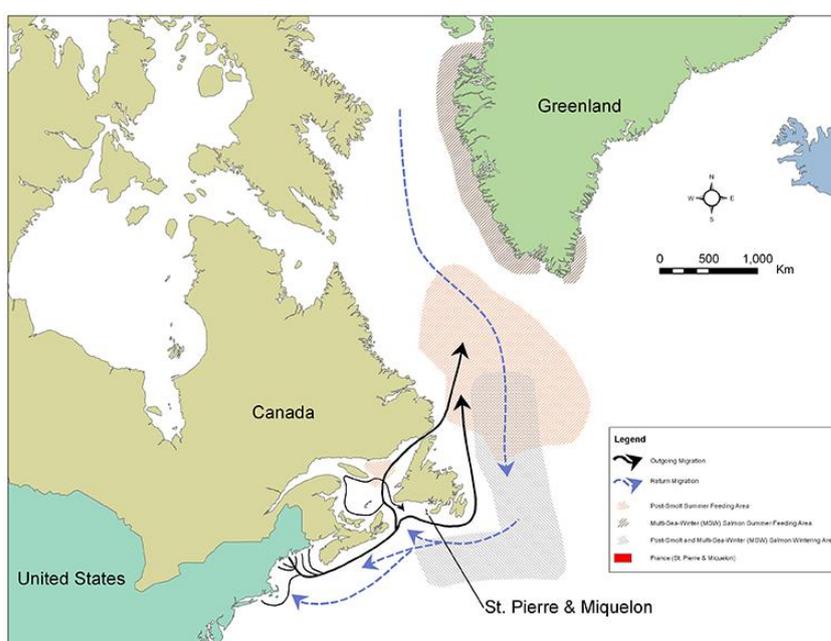


Рисунок 1.3 – Характерные области нагула североамериканской группы атлантического лосося: розовым цветом выделена область нагула тинды (с июля по октябрь), синим – область нагула мультизимних лососей (с ноября по апрель) [по 12]

Необходимо понимать, что климатические условия не являются постоянными. Основные параметры морской среды также претерпевают изменения, и морские гидробионты пытаются под них подстраиваться. В

качестве температурного диапазона, в котором атлантический лосось может комфортно нагуливаться в море, выделяют интервал от 4 °С до 13 °С [2].

В целом, можно сказать, что порог смертности зависит от продолжительности воздействия экстремальных температур (т.е. выход температуры за пределы оптимального диапазона) на особь. Прямое воздействие повышенных температур воды (сверх 13 °С) сказывается на ускорении обмена веществ, что в свою очередь истощает энергетический запас. В пределах же диапазона от 4 °С до 13 °С повышение температуры способствует ускорению темпов роста и может приводить к сокращению продолжительности нагула.

1.2 Физико-географическая характеристика Северо-Западной Атлантики

Северо-Западная Атлантика (СЗА) является рыбопромысловой зоной 21 (согласно делению FAO), ограничена с юга 41° с.ш., с востока – долготой Срединно-Атлантического хребта (САХ) [11], имеет площадь 6.26 млн. км², из которых 1.3 млн. км² представлены континентальным шельфом и склоном менее 1000 метров глубиной [13].

СЗА включает в себя воды срединно-Атлантической бухты (прибрежный район от Массачусетса до Северной Каролины), залив Мэн, Новошотландский шельф, залив Святого Лаврентия, банки Джорджес и Большую Ньюфаундлендскую, шельф Ньюфаундленда и Лабрадора, воды Западной Гренландии (Дэвисов пролив), море Баффина как границу с арктическим бассейном и воды открытой части Атлантики до САХ [11, 13].

На рисунке 1.4 представлена система течений в СЗА. В исследуемом районе наблюдается Субполярный циклонический круговорот (движение вод против часовой стрелки). Круговорот начинается с Лабрадорского течения, которое несет холодные воды вдоль Лабрадорского шельфа в море Лабрадор.

Скорости поверхностных течений этого круговорота различны – от 2 км в день (в заливе Баффина) до 40 км в день, подверженные сезонной и годовой изменчивости.

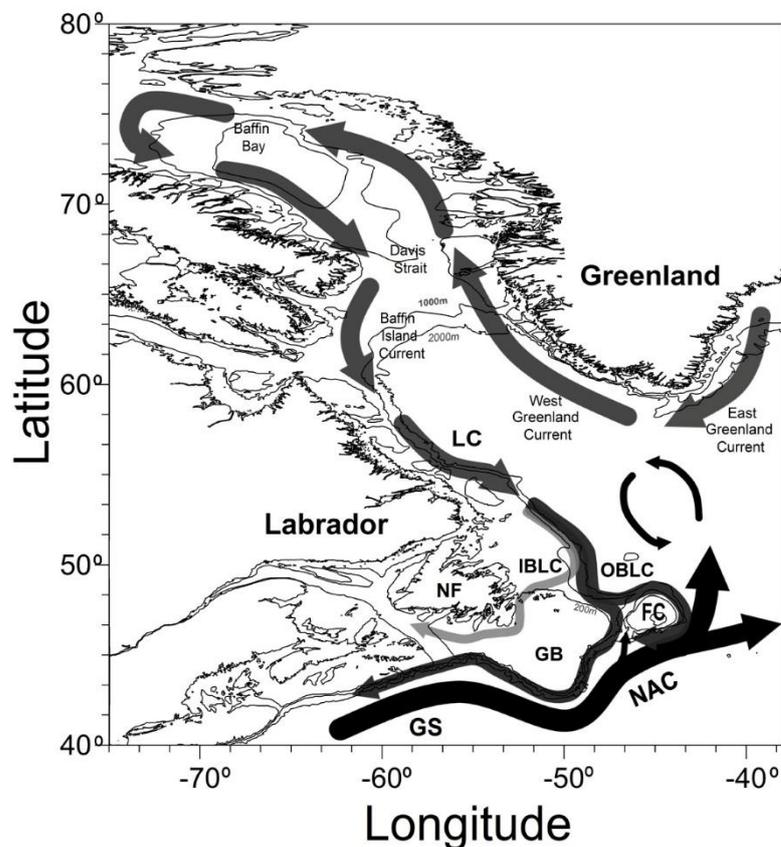


Рисунок 1.4 – Система течений Северо-Западной Атлантики по [14]: LC – Лабрадорское течение (ЛТ), IBLC – внутренняя ветвь ЛТ, OBLC – внешняя ветвь ЛТ, GS – Гольфстрим, NAC – Северо-Атлантическое течение.

Система течений Гольфстрим переносит теплые воды в северо-восточном направлении от Флоридского пролива до места разветвления на входе в Северный Ледовитый океан (СЛО). Собственно Гольфстримом называется ветвь от м. Хаттерас до района Большой Ньюфаундлендской банки, характерной особенностью которого является меандрирование – волнообразные изгибы основного потока. Течение проходит вдоль гидрофронта – границы раздела холодной (и менее соленой) склоновой воды

на западе и севере и теплой (и более соленой) воды Саргассова моря на востоке и юге. Далее у Ньюфаундлендской банки оно переходит в Северо-Атлантическое течение, часть которого в качестве Канарского течения уходит на юг к африканскому побережью, а другая ветвь следует на север, где часть перемешивается с водами ЛТ, а в районе Исландии к северо-западу ответвляется течение Ирмингера.

В Норвежском и Гренландском морях воды системы Гольфстрим смешиваются с водами Восточно-Гренландского течения, которое выносит льды из СЛО. Лабрадорское течение (ЛТ) берет начало в Баффиновом море, несет холодные распресненные воды в южном направлении к Ньюфаундлендской банке. В проливе Дэвиса и у мыса Фэрзуэлл (южная оконечность Гренландии) примыкают Западно-Гренландское и Восточно-Гренландское течения. [15].

При взаимодействии холодных вод Лабрадорского течения и теплых вод Гольфстрима в районе о. Ньюфаундленд образуется фронт с резкими градиентами всех характеристик, создавая благоприятные условия для развития первичной продукции и скопления промысловых гидробионтов. Именно за счет обеспечения хорошей кормовой базы район Большой Ньюфаундлендской банки является одним из мест нагула атлантического лосося североамериканской группы популяции [16].

Также зона фронта выступает в качестве южной границы ареала атлантического лосося, где проходит лимитирующая изотерма 13 °С.

1.3 Влияние антропогенных факторов на состояние популяции

Поскольку жизненный цикл атлантического лосося делится на 2 стадии, которые определены специфическими изменениями в поведении, физиологическом строении и требованиями относительно среды обитания [17], лосось подвергается воздействию широкого спектра угроз, причем не только естественного происхождения, но и антропогенного (в

большинстве случаев ведет к негативным последствиям). С конца 1970-80-х годов численность популяции атлантического лосося значительно сократилась, что вызвало многочисленные беспокойства.

В 1984 году свою деятельность начала международная организация НАСКО (NASCO – North Atlantic Salmon Conservation Organization), целью которой является сохранение, восстановление и рациональное использование атлантического лосося путем международного сотрудничества стран, расположенных по обе стороны Северной Атлантики [18].

За 150 лет среда обитания атлантического лосося претерпела множество изменений, что стало основной причиной снижения запасов дикого лосося. Воздействие на среду обитания носит характер как непосредственного вмешательства (строительство гидроэлектростанций, плотин), так и опосредованного (например, кислотные дожди). Таким образом, воздействие на популяцию североатлантического лосося можно разделить на физическое, химическое и биологическое.

Под средой обитания понимаются нерестилища, места нагула и миграционные пути, от состояния которых прямо или косвенно зависит протекание жизненных процессов и состояние запасов атлантического лосося. Проблемы среды обитания вызывают беспокойство как в пресноводной, так и в морской среде, однако в центре внимания с точки зрения возможности контроля человека все же находятся устьевые и прибрежные районы, непосредственно затронутые антропогенной деятельностью.

Как уже говорилось ранее, трофический ареал атлантического лосося изучен слабо, но под эгидой НАСКО страны Северной Атлантики, в том числе и Россия, ежегодно запускают новые проекты, направленные на установление истинных причин смертности атлантического лосося в море.

Ниже схематически представлены основные группы факторов, влияющих на состояние популяции атлантического лосося и направления исследований, проводимые НАСКО (рисунок 1.5). В Приложении А дается

расшифровка некоторых проектов с указанием целей и полученных результатов.

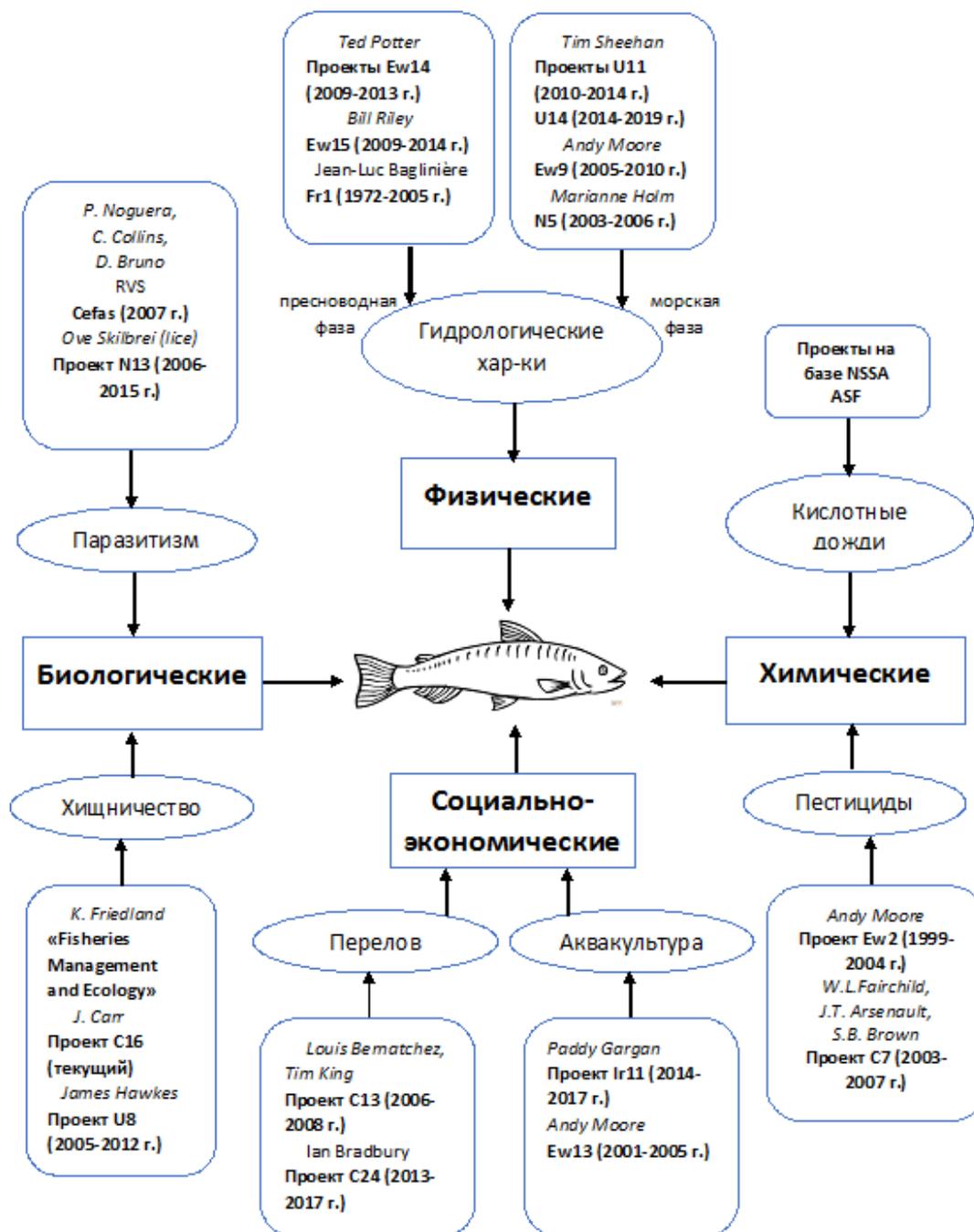


Рисунок 1.5 – Основные направления исследований НАСКО с 2000 по 2017 годы [на основе данных 18].

Рассмотрим подробнее антропогенное воздействие на состояние популяции атлантического лосося.

1) Интенсивное освоение основных стад атлантического лосося в середине прошлого века привело к его перелому, в результате чего к настоящему моменту запасы сильно подорваны. Также сталкиваются с проблемой прилова. Например, в Норвежском море распределение пост-смолтов частично совпадало с ареалом скумбрии, в результате чего нагуливающиеся лососи были также выловлены по ошибке.

2) Аквакультура. С одной стороны, аквакультурные хозяйства, размещенные в прибрежных провинциях Канады в начале 1970-х годов, были привлечены с целью восполнения подорванных запасов популяций. Успех искусственного воспроизводства стал очевиден уже к началу 90-х годов прошлого столетия, когда около 25 % запасов атлантического лосося приходилось на аквакультуру. Однако многочисленные инвазии выращенных в условиях аквакультуры лососей нарушают способность адаптироваться к условиям окружающей среды и снижают генетическое разнообразие диких популяций [17].

3) С активным ведением сельского хозяйства с материковым стоком в лососевые реки поступает большое количество пестицидов и гербицидов, особенно сильно негативно влияющих на начальные стадии лосося.

4) Одной из наиболее распространенных мер в рекреационном рыболовстве по сохранению запасов атлантического лосося становится практика вылова и выпуска (catch-and-release, C&R). Впервые эта мера была введена в некоторых районах Канады и США, а позднее стала широко использоваться и в европейских странах. По мнению ICES, практика C&R является промежуточным стратегическим шагом между сохранением промысла и его полным закрытием [18].

5) Изменение прибрежного и речного облика США, Канады и европейских стран. Дноуглубительные работы, сброс вод с заводов влечет изменения в речной морфологии, режиме течения и температуре воды в реке. Строительство дамб и плотин блокирует доступ к нерестилищам, что

приводит к сокращению отдельных популяций, поскольку, как уже говорилось ранее, атлантический лосось нерестится лишь в родной реке.

б) Самым сложно учитываемым фактором воздействия на популяции атлантического лосося является браконьерство. По некоторым оценкам на его долю для отдельных популяций приходится более 50 % вылова [1, 7, 9, 18].

Как видно из приведенных выше пунктов, антропогенное влияние на атлантического лосося приводит в большей степени к негативным последствиям.

Рассмотрим современный статус лососевых рек Канады. На рисунке 1.6 отражено состояние рек Канады на 2001 год [согласно 1] и на 2016 год [по 18].

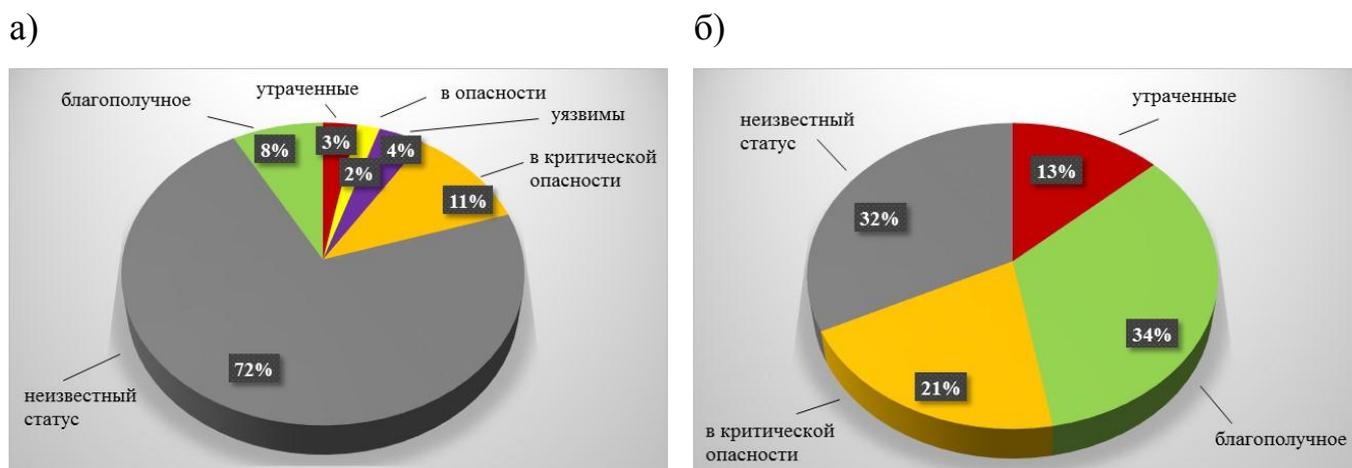
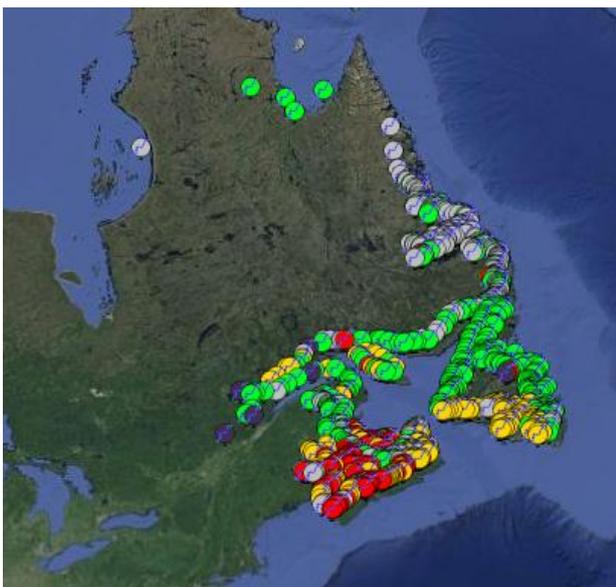


Рисунок 1.6 – Состояние лососевых рек Канады: а) на 2001 год; б) на 2016 год [на основе данных 1 и 18]

Очевидно, что статусы многих рек за 15 лет прояснились. Если раньше 72 % рек Канады носили неизвестный статус (в основном на севере страны, в труднодоступных местах), то к 2016 году эта доля сократилась до 32 %. К настоящему времени число рек с благополучным состоянием увеличилось в 4 раза (8 % против 34 %), причем в их число входят и восстановленные

реки. Однако также возросла доля рек, в которых на сегодняшний день лосось не водится. Эти реки приходятся в основном на территорию Новой Шотландии (рисунок 1.7а). Схожая ситуация характерна и для США, где лососевые реки расположены непосредственно в промышленных городах Новой Англии (рисунок 1.7б).

а)



б)

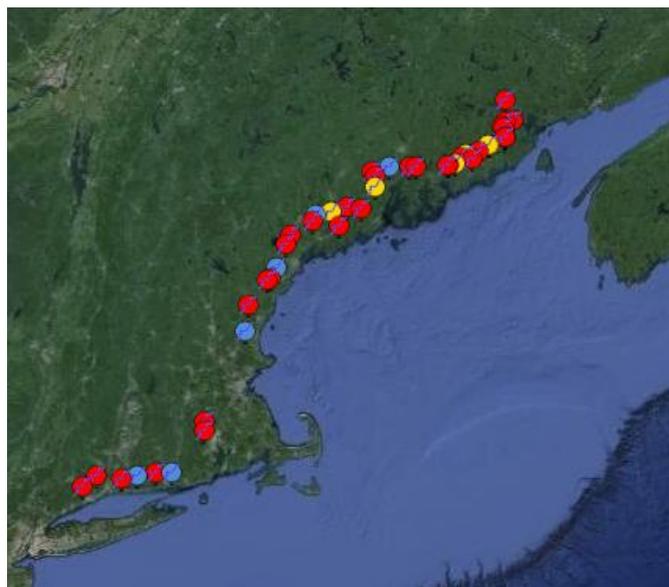


Рисунок 1.7 – Состояние лососевых рек: а) реки Канады; б) реки США [на основе данных 1 и 18]. Зеленый цвет – благополучное состояние, серый – неизвестное, красный – утраченные, желтый – под угрозой потери, фиолетовый – восстановленные, голубой – искусственное воспроизводство

Наряду с антропогенным воздействием на уловы (численность) атлантического лосося оказывают влияние естественные изменения абиотических характеристик среды обитания. Возможным откликом на воздействие всех абиотических факторов являются изменения в структуре популяции (уловов) атлантического лосося. Схема возможных направлений влияния различных факторов на соотношение количества тинды и

мультизимних особей в уловах атлантического лосося представлена на рисунке 1.8.

Влияние изменения температуры в зоне нагула на наблюдаемую тенденцию сокращения мультизимных особей в настоящее время является дискуссионным вопросом. Проанализируем взаимосвязь между рядами уловов атлантического лосося в СЗА и ТПО в нагульных ареалах североамериканских популяций.



Рисунок 1.8 – Факторы, влияющие на изменение структуры уловов атлантического лосося. MSW – мультизимные лососи, 1SW – тинда.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Характеристика исходных данных

Для исследования влияния температурного режима на состояние североамериканской группы популяции атлантического лосося во время нагула в море был выбран район, ограниченный координатами 42° с.ш. – 64° с.ш., 44° з.д. – 64° з.д. (рисунок 2.1)

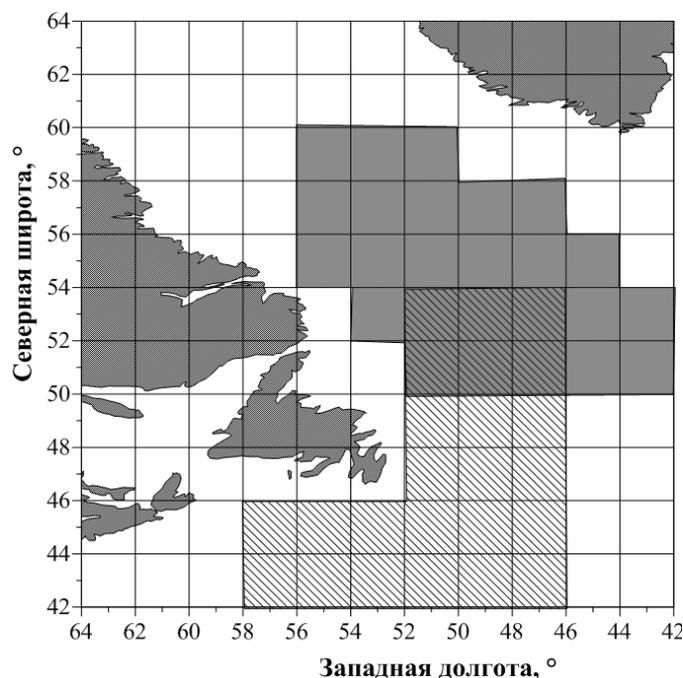


Рисунок 2.1 – Район исследования в СЗА

Чтобы проследить межгодовую изменчивость в температурном режиме вод северо-западной Атлантики, из архива NOAA [19] был выбран массив данных реконструированных среднемесячных значений температуры поверхности океана для выбранного района исследования в узлах сетки квадратов 2°x2° в период с января 1854 по май 2016 года. Всего в область попало 132 узла, из них 25 приходится на участки земли.

Поскольку в Северо-Западной Атлантике именно на территории Канады сконцентрированы наибольшие запасы атлантического лосося и, соответственно, эта страна ведет (вела до запрета) наиболее интенсивный промысел данного гидробионта, для анализа влияния температурного режима на состояние североамериканской группы популяции была выбрана именно Канада.

Данные об уловах были взяты из нескольких источников, что позволило сформировать единый ряд (рисунок 2.2) с 1870 по 2015 годы. Использовались следующие источники:

- материалы Л.С. Берга (уловы Канады) за период с 1870 по 1930 годы [3];
- данные FAO (Food and Agriculture Organization) с 1950 по 2011 годы [20];
- данные ICES (International Council for the Exploration of the Sea, Международный совет по исследованию моря) о номинальных уловах Канады в целом (далее общий улов) с 1970 по 2015 годы [21].

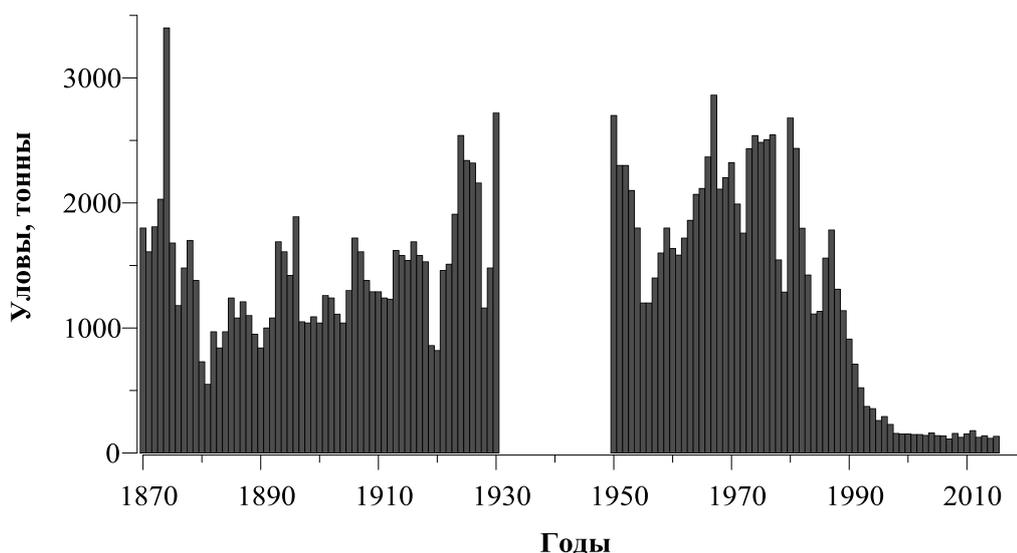


Рисунок 2.2 – Изменение уловов атлантического лосося в период с 1870 по 2015 год [по данным 3, 20-21]

Из-за отсутствия сведений об уловах в сформированном ряду в период с 1930 по 1950 годы имеется пропуск, поэтому периоды 1870-1930 годы и 1950-2015 годы рассматривались как 2 самостоятельных ряда.

Для изучения структуры уловов и структуры популяции лосося ряд общих уловов был дополнен двумя рядами:

- данные ICES о номинальных уловах мультизимних лососей (MSW, large) Канадой с 1970 по 2015 годы [22];
- данные ICES о номинальных уловах тинды (grilse, 1SW, small) Канадой с 1970 по 2015 годы [22].

Чтобы проследить влияние температуры воды на изменения в структуре уловов атлантического лосося, были сформированы новые ряды ТПО отдельно для летней и отдельно для зимней нагульных зон. Для каждого месяца с ноября по апрель в пределах зимней области (рисунок 2.1 косая штриховка) и с июля по октябрь в пределах летней области (рисунок 2.1 темная штриховка) рассчитывались средние по площади ТПО. Таким образом было подготовлено 10 рядов. Далее формировались ряды, отражающие среднюю за весь период ТПО по каждой из областей (2 самостоятельных ряда). Также, для дополнительного анализа, аналогичным образом был сформирован ряд средних ТПО для урезанного зимнего ареала (прямоугольная область с границами от 46° до 52° з.д. и от 44° до 54° с.ш.).

Для более детального изучения структуры современных уловов были сформированы процентные ряды, представляющие собой долю мультизимних особей (долю тинды) в общих уловах.

Южная граница зимнего ареала нагула атлантического лосося располагается ориентировочно вдоль 42° с.ш. Ее смещение к югу или северу может быть вызвано изменениями характеристик системы Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение. Поэтому дополнительно для оценки связи уловов в зависимости от смещения либо изменения площади нагула были взяты среднемесячные значения индекса северной стены Гольфстрима (Gulfstream North Wall, GSNW) [23]. Индекс служит индикатором

климатических колебаний в Северной Атлантике. Для определения GSNW с карт на шести долготах: 79°, 75°, 72°, 70°, 67° и 65° з.д. снимается широта положения «северной стены» Гольфстрима по разным источникам. Картина изменчивости мощности течения определяется по всем шести широтам с использованием метода главных компонент (ГК), для индекса GSNW выбирают первую ГК. Положительные значения показывают, что течение сместилось на север относительно среднего многолетнего положения, а отрицательные – на юг [24].

2.2 Методы статистического анализа: оценка первичных статистик, тренд-анализ, корреляционный анализ

Для рядов ТПО, осредненных по площади летнего, зимнего и усеченного зимнего нагулов лосося, для рядов уловов конца 19-начала 20 века и настоящего времени рассчитывались первичные статистики, такие как среднее значение и среднее квадратическое отклонение (СКО) рядов, проверялось соответствие рядов нормальному распределению, выполнялись тренд-анализ, взаимнокорреляционный и спектральный анализы.

Среднее арифметическое, характеризующее центр тяжести ряда, рассчитывалось по формуле (1) [25]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1)$$

где N – длина ряда.

Чтобы показать, насколько велики отклонения отдельных значений внутри ряда было удобно определить среднее квадратическое отклонение

(СКО) и коэффициент вариации. СКО находили путем извлечения квадратного корня из дисперсии [25, 26]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}, \quad (2)$$

коэффициент вариации рассчитывался по формуле (3) и использовался для оценки степени изменчивости характеристики в выборке:

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

где σ – СКО;

\bar{x} – среднее значение исходного ряда

Если $C > 33\%$ – степень изменчивости велика, $C < 33\%$ – выборка однородна.

Также определялись максимальные и минимальные значения анализируемых характеристик. Расчеты выполнялись в пакете «Анализ данных» в среде Excel.

Соответствие распределения ТПО нормальному закону (НЗ) выполнялось путем построения *эмпирической функции распределения* (ЭФР) и сравнения ее с функцией плотности вероятности НЗ распределения.

Для построения ЭФР сперва определяется число интервалов изменчивости характеристики и вычисляется их ширина как отношение амплитуды значений к числу интервалов. Затем определяются границы и середина каждого интервала, рассчитываются повторяемости и их вероятности. Гистограмма повторяемостей и является ЭФР. Плотность вероятности НЗ распределения задается формулой [25]:

$$f(\bar{x}_k, \bar{x}, \sigma) = \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2 \times \pi}} \times \exp\left(-\frac{(\bar{x}_k - \bar{x})^2}{2 \times \sigma^2}\right), \quad (4)$$

где \bar{x}_k – значение характеристики;
 \bar{x} – среднее значение исходного ряда;
 σ – СКО исходного ряда

для которой также были определены частоты НЗ. В соответствии с критерием Пирсона величина, вычисленная по формуле (5) сравнивалась с критическим значением хи-квадрат.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k_{max}} \frac{(m_k - n_k)^2}{n_k}, \quad (5)$$

где m_k – повторяемость ЭФР в k-том интервале;
 k_{max} – число интервалов;
 n_k – частота нормального закона в k-том интервале

Если условие $\chi^2 < \chi_{кр}^2(\alpha, \nu)$ выполняется, тогда эмпирическое распределение соответствует теоретическому; α – уровень значимости (обычно задается как 0.05), ν – число степеней свободы, в данном случае $\nu = k-3$, где k – количество интервалов [25, 26].

На начальном этапе исследования внутренней структуры временных рядов требуется выявить его стационарность или нестационарность, для чего используется *тренд-анализ* [25]. Под трендовой составляющей понимают некоторое медленное изменение процесса с периодом, превышающим длину выборки [26].

Тренд может быть линейным и задаваться формулой [25, 26]:

$$T(t) = a_1 \times t + a_0 \quad , \quad (6)$$

а может быть нелинейным и аппроксимирован полиномом второй степени:

$$T(t) = a_2 \times t^2 + a_1 \times t + a_0 \quad . \quad (7)$$

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). Причем целесообразно сразу найти критическое значение коэффициента корреляции $R_{кр}$, которое соответствует критическому значению критерия Стьюдента $t_{кр}$ [25]:

$$R_{кр} = \frac{-\sqrt{(N-2)} + \sqrt{(N-2) + 4 \times t_{кр}^2}}{2 \times t_{кр}} \quad , \quad (8)$$

где N – длина реализации;
 $t_{кр}(\alpha, \nu)$ – критерий Стьюдента;
 $\alpha = 0.05$, уровень значимости;
 $\nu = N - 2$, число степеней свободы

Если выполняется условие, что $R > R_{кр}$ – тренд значим и его следует удалить путем вычета аппроксимированного ряда, восстановленного по формуле (6) или (7). Если имеется и линейный, и нелинейный тренд, то предпочтителен последний, если он вносит более чем на 5 % больший вклад

в дисперсию временного ряда, и наоборот. Если тренд незначим – из ряда удаляют среднее арифметическое.

Также можно оценить его величину, которая для линейного тренда является коэффициентом регрессии, а в случае нелинейного тренда величина его определяется половиной разности первого и последнего члена в формуле (7) [26].

Взаимнокорреляционный анализ применяется для того, чтобы выявить взаимосвязь между двумя характеристиками (в нашем случае между уловами и температурой поверхности океана) при асинхронном взаимодействии и представляет собой расчет коэффициентов корреляции на различных сдвигах времени.

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N-|\tau|} [(x_i - \bar{x}) \times (y_{i\pm\tau} - \bar{y})]}{\sigma_x \times \sigma_y \times (N - 1 - |\tau|)}, \quad (9)$$

- где N – длина реализации;
 τ – сдвиг, изменяющийся от $-\tau_{\max}$ до τ_{\max} ;
 \bar{x} и \bar{y} – средние значения рядов;
 σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения выборок

Причем количество сдвигов определяется длиной ряда (для коротких выборок τ_{\max} составляет треть длины ряда, для длинных – десятую часть) [25].

Совокупность коэффициентов взаимнокорреляционной функции (ВКФ) необходимо проверить на статистическую значимость, которая выполняется на основании формулы (8) с разницей лишь с том, что скобка $(N - 2)$ заменяется на выражение $(N - 1 - \tau)$, где τ – сдвиг.

Спектральный анализ применяется для выявления циклических составляющих в изучаемом процессе.

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2 \times \pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) \times e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (10)$$

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) \times e^{i\omega\tau} d\omega, \quad (11)$$

где $S_x(\omega)$ – спектральная плотность;
 $e^{-i\omega\tau}$ – показательная функция мнимого аргумента;

Спектральная плотность представляет собой плотность дисперсии стационарной случайной величины на определенной частоте. С помощью полосовой фильтрации [26].

Расчет спектров для рядов уловов и ТПО средних по площади нагула производился в пакете «ПРИЗМА Lite». Предварительно их всех анализируемых рядов была исключена трендовая составляющая. Программа в режиме «Спектр» позволяет производить расчет функции спектральной плотности с учетом доверительных интервалов. В качестве выходной информации выдаются: график спектральной плотности с указанием периодов в реперных точках, таблица значений локальных максимумов и минимумов спектральной плотности. В режиме «Фильтрация» можно получить аппроксимации интересующих квазигармонических составляющих и оценку их вклада в общую дисперсию исходного ряда.

3 ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ И ДИНАМИКА УЛОВОВ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ

3.1 Результаты оценки первичных статистик, тренд-анализа и спектрального анализа рядов ТПО нагульных областей и улов лосося

В качестве общего представления о структуре временных рядов средней ТПО по площади нагула (зимней, усеченной зимней и летней) были рассчитаны первичные статистики, результаты которых представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Описательные статистики средних ТПО по зимней, зимней усеченной и летней площадям нагула атлантического лосося в СЗА

| Характеристика | Средняя ТПО по урезанной площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади летнего нагула |
|-------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Среднее значение, °С | 5.37 | 5.76 | 7.67 |
| СКО, °С | 0.47 | 0.46 | 0.59 |
| Коэффициент вариации, % | 8.75 | 7.99 | 7.69 |
| Минимум, °С | 4.01 | 4.46 | 6.41 |
| Максимум, °С | 6.26 | 7.07 | 9.35 |
| Длина выборки | 162 | | |

Как видим из приведенной выше таблицы, более высокие средние значения температуры воды наблюдаются в области, характерной для летнего нагула североамериканского атлантического лосося, что естественно. Средние значения ТПО, осредненные по площади для зимнего нагула, меняются в зависимости от структуры выбранной площади ареала. Так, для

урезанной области средние значения ниже, поскольку эта область более подвержена влиянию Лабрадорского течения, нежели целая область, в изменение ТПО которой определенный вклад вносит дополнительный южный участок ареала, находящийся под влиянием вод Северо-Атлантического течения.

Размах вариации для средней ТПО по площади летнего нагула составляет 2.94 °С и является максимальным.

Отметим, что минимальная температура воды варьируется в пределах 4 °С и не опускается ниже этого лимитирующего ареал атлантического лосося значения. При этом максимальные ТПО не достигают верхней границы температурного диапазона (13 °С) комфортного существования лосося.

Поскольку значения коэффициентов вариации для всех рядов средних ТПО по площади нагульных ареалов не превышают 33 %, выборки являются однородными, т.е. нет существенных выбросов значений.

Также для рядов средних по площадям ТПО были произведены построения эмпирических функций распределения (ЭФР), позволяющих определить повторяемость его характерных и критических значений, и проверка на соответствие нормальному закону распределения (рисунки 3.1-3.3).

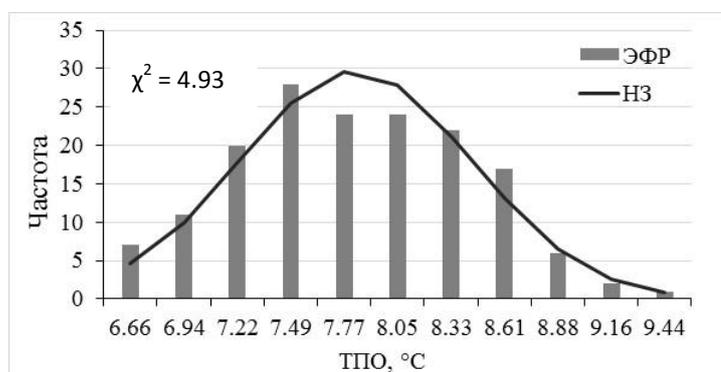


Рисунок 3.1 – ЭФР для средней ТПО по площади летнего нагула

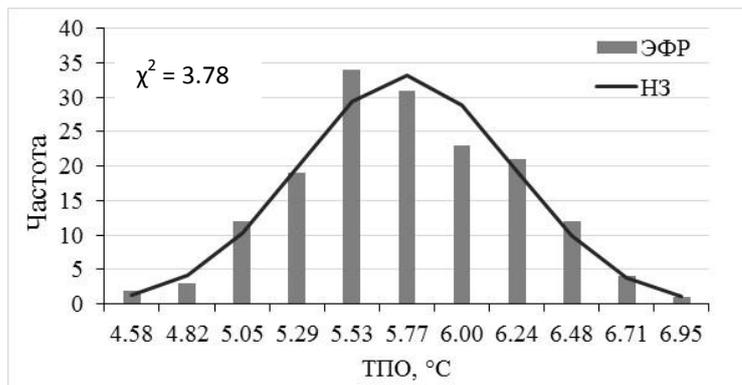


Рисунок 3.2 – ЭФР для средней ТПО по площади зимнего нагула

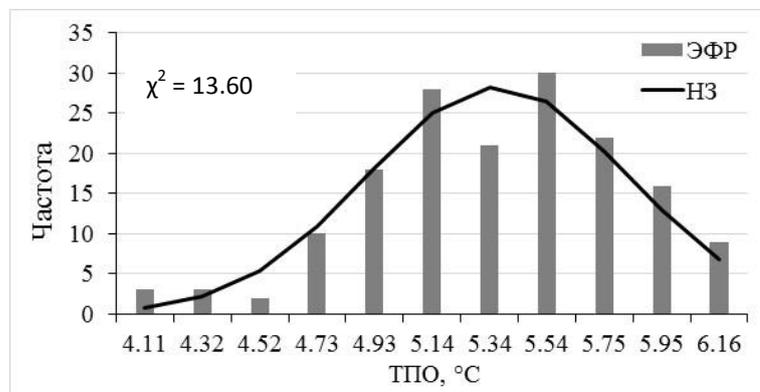


Рисунок 3.3 – ЭФР для средней ТПО по усеченной площади зимнего нагула

Для этого был рассчитан критерий Пирсона. При уровне значимости 5% рассчитанные критерии для трех рядов не превышают критическое значение критерия ($\chi^2_{кр} = 15.51$), следовательно, средние ТПО по площадям нагула статистически соответствуют нормальному закону.

Для рядов уловов также были рассчитаны первичные статистики (таблица 3.2). Дополнительно была рассмотрена часть ряда современных уловов с 1950 по 1991 год, т.е. до момента, когда промысел лосося стал квотированным.

Таблица 3.2 – Описательные статистики рядов уловов атлантического лосося Канады

| Характеристика | Уловы Канады по Бергу [22] с 1870 по 1930 годы | Современные уловы Канады с 1950 по 2015 годы | Современные уловы Канады с 1950 по 1991 годы (до полного запрета промысла) |
|-------------------------|--|--|--|
| Среднее значение, т | 1442 | 1257 | 1865 |
| СКО, т | 511 | 921 | 545 |
| Коэффициент вариации, % | 35.42 | 73.30 | 29.21 |
| Минимум, т | 550 | 112 | 711 |
| Максимум, т | 3400 | 2863 | 2863 |
| Длина выборки | 61 | 66 | 42 |

Очевидно, что максимальное число выловленного лосося отмечается для ряда уловов, составленного на основе материалов Л.С. Берга [3], и приходится на 1876 год. Минимальное количество лосося для того времени отмечается в 1881 году. При этом выборка не является однородной: имеется довольно значительный разброс в уловах. Но поскольку мы понимаем, что в конце 19-начале 20 века велся исключительно свободный промысел, можно предположить, что эти годы были хорошим и плохим по урожайности лосося соответственно.

Для современного времени максимальный улов зарегистрирован в 1967 году и составил 2863 тонны, что в 1.2 раза меньше максимального улова в конце 19-начале 20 века. Минимальное количество лосося выловлено в 2007 году (всего 112 т.). Однако это абсолютное значение не позволяет нам судить о реальных запасах атлантического лосося в тот год, т.к. начиная с 1990-х годов лов лосося осуществляется только для воспроизводства в искусственных условиях, хотя вылов даже в этих условиях ведется пропорционально запасам.

После проведения первичного статистического анализа, для дальнейшей работы с рядами необходимо оценить трендовую компоненту и исключить ее из выборок. В таблицах 3.3 и 3.4 приведены коэффициенты корреляции исходных рядов и трендовой составляющей и их значения, соответствующие критическому значению критерия Стьюдента для линейного и нелинейного трендов соответственно, а также величина линейного тренда для средних ТПО по площадям нагулов.

При уровне значимости 0.05 трендовая составляющая является значимой только для ТПО по зимней целой и летней площадям нагула. Значимы как линейные, так и нелинейные тренды.

Таблица 3.3 – Оценка значимости линейного тренда для осредненных по площадям рядов ТПО

| Характеристика | Средняя ТПО по урезанной площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади летнего нагула |
|----------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| R | 0.0017 | 0.0319 | 0.0279 |
| a | 0.0004 | 0.0018 | 0.0022 |
| $t_{кр}$ | 1.975 | | |
| $R_{кр}$ | 0.023 | | |

Таблица 3.4 – Оценка значимости нелинейного тренда для осредненных по площадям рядов ТПО

| Характеристика | Средняя ТПО по урезанной площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади зимнего нагула | Средняя ТПО по площади летнего нагула |
|----------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| η | 0.0134 | 0.0324 | 0.0679 |
| $t_{кр}$ | 1.975 | | |
| $\eta_{кр}$ | 0.023 | | |

Для дальнейшей работы трендовая компонента из рядов была исключена, причем для ТПО по летней области нагула предпочтение было отдано в пользу нелинейного, т.к. он вносит более чем на 5 % существенное вклад в общую дисперсию ряда, нежели линейный тренд. Для зимней ТПО целой области нагула предпочтительнее линейный тренд.

Для рядов уловов были проведены аналогичные вычисления, результаты сведены в таблицу 3.5. На рисунке 3.4 приведены уравнения для значимых трендов рядов уловов. Также дополнительно был рассмотрен усеченный ряд современных уловов (до 1991 года), поскольку мы понимаем, что с введением квотирования на вылов лосося оценка тренда не достаточно репрезентативна.

Таблица 3.5 – Оценка значимости трендовой составляющей в уловах Канады

| | Линейный тренд | | Нелинейный тренд | |
|--|----------------|----------|------------------|-------------|
| | R^2 | $R_{кр}$ | η | $\eta_{кр}$ |
| Уловы Канады по Бергу с 1870 по 1930 годы | 0.0389 | 0.060 | 0.3054 | 0.060 |
| Современные уловы Канады с 1950 по 2015 годы | 0.6728 | 0.056 | 0.7311 | 0.056 |
| Современные уловы Канады с 1950 по 1991 годы (до полного запрета промысла) | 0.1021 | 0.082 | 0.2993 | 0.082 |
| Ряд современных уловов мультизимних лососей с 1980 по 2015 гг. | 0.7934 | 0.078 | 0.8689 | 0.078 |
| Ряд современных уловов тинды с 1980 по 2015 гг. | 0.7262 | 0.078 | 0.7346 | 0.078 |

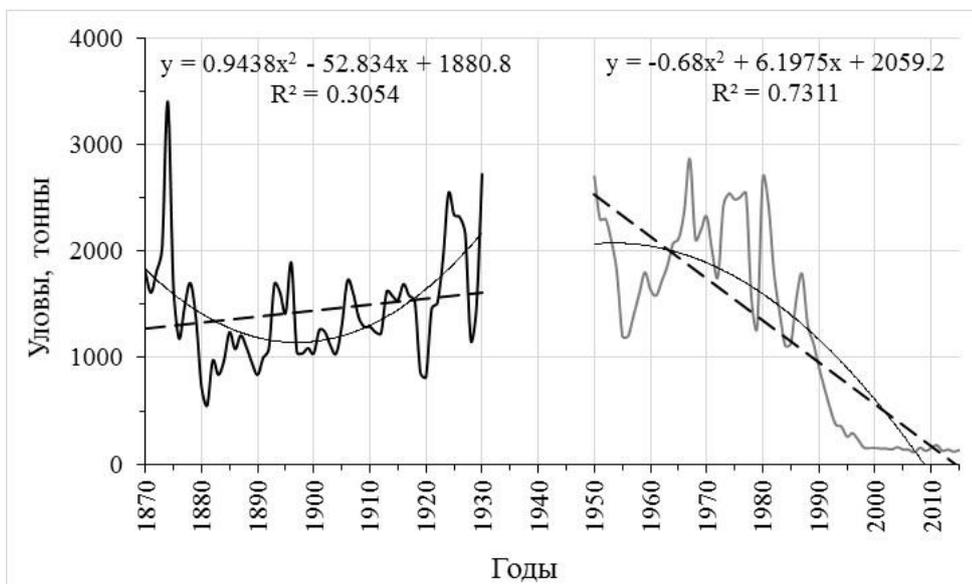


Рисунок 3.4 – Тренд-анализ уловов атлантического лосося (Канада)

Чтобы после исключения тренда (или среднего значения при незначимости тренда) произвести более детальный анализ временных рядов с целью выявления квазипериодических колебаний, был произведен спектральный анализ средних ТПО по зимней, зимней усеченной и летней площадям нагула, уловов конца 19-начала 20 века и уловов настоящего времени в пакете «Призма Лайт».

В спектре ряда средних ТПО по площади летнего нагула атлантического лосося (рисунок 3.5) мы наблюдаем долгопериодное 60-70-летнее изменение, а также хорошо прослеживающиеся колебания с периодом около 3 лет и менее выраженные с периодами ~ 6 и ~ 9 лет.

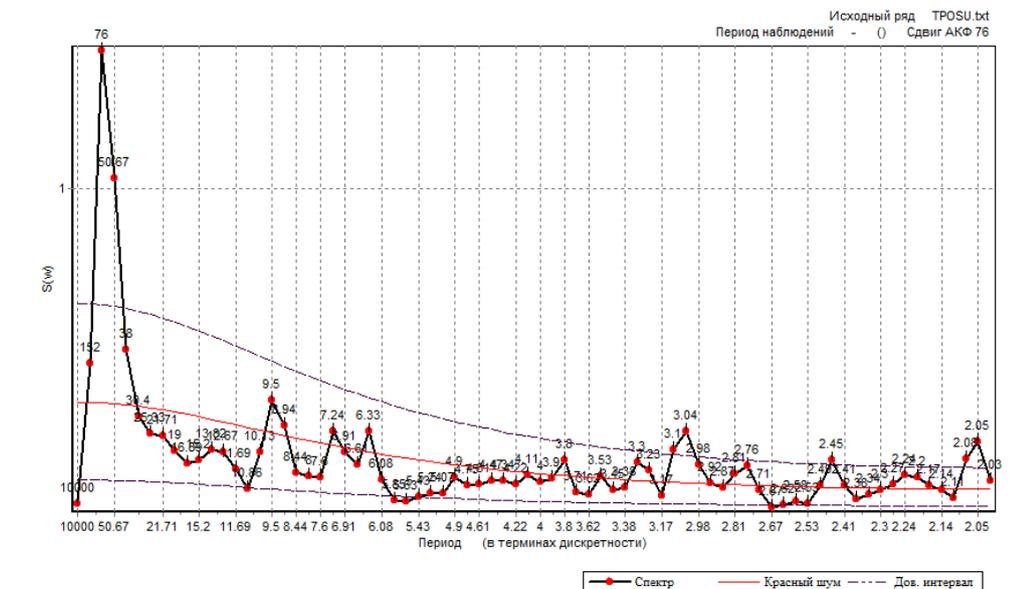


Рисунок 3.5 – Спектр ряда аномалий средних ТПО по площади летнего нагула атлантического лосося: линия с маркерами – спектр, сплошная тонкая линия – красный шум, прерывная линия – доверительный интервал

При проведении процедуры фильтрации было выявлено, что долгопериодные колебания вносят в дисперсию аномалий средних ТПО порядка 30 %. Аппроксимация данной составляющей представлена на рисунке 3.6.

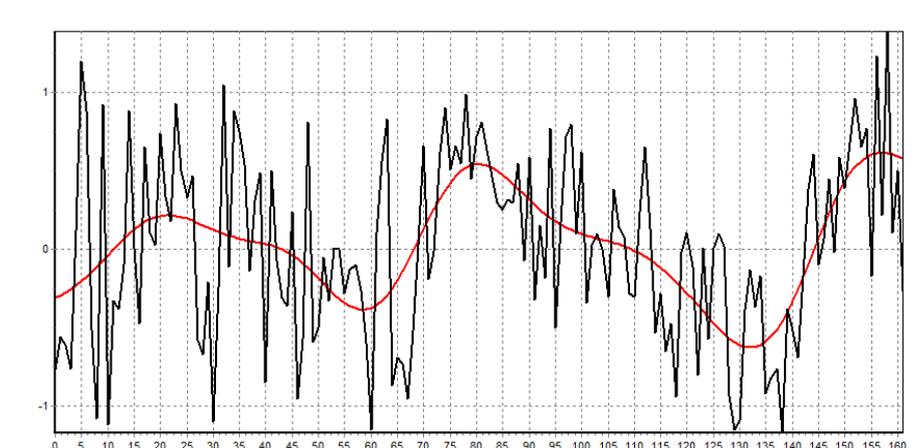


Рисунок 3.6 – Совмещенный график аномалий средних ТПО по площади летнего нагула и 60-70-летнее долгопериодной компоненты (тонкая гладкая линия)

Следующая значимая компонента – 9-летний цикл, причем стоит отметить, что его амплитуда начинает затухать к концу временного отрезка. Аналогичная тенденция характерна и для квази 3-х летнего цикла (рисунок 3.7). Вклад этих составляющих варьируется в диапазоне от 5 % до 8 %.

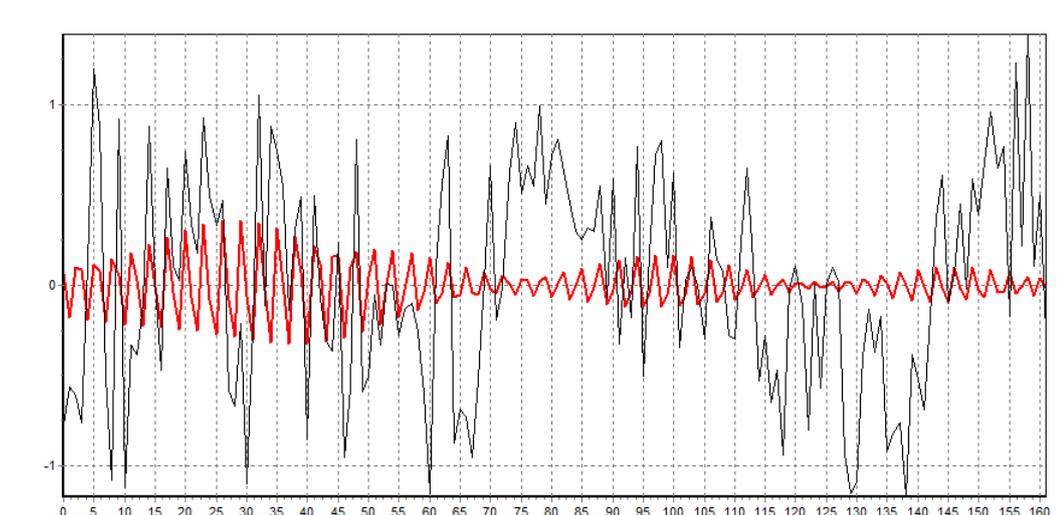


Рисунок 3.7 – Аппроксимация квазитрехлетней составляющей ряда аномалий средней ТПО по площади летнего нагула

Согласно модели автоколебания, предложенной В.В. Шулейкиным [27], из-за повышения ТПО в системе Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение арктические льды будут более интенсивно таять и выноситься Восточно-Гренландским и Лабрадорским течениями в СЗА, т.е. происходит поступление дополнительного количества холодных вод. В результате этого снижается ТПО в системе Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение, что, в свою очередь, приводит к увеличению площади и толщины арктических льдов и сокращению выноса холодной воды в зону взаимодействия Лабрадорского течения и Гольфстрима в районе о. Ньюфаундленд. Все обращение вод составляет около 3.5 лет. И именно этими процессами можно объяснить наличие квазитрехлетней цикличности в рядах ТПО в пределах Лабрадорского моря.

Отмеченное затухание 3-летнего квазипериода для аномалий средней ТПО летней площади нагула (рисунок 3.7), возможно, связано с сокращением общего количества льдов в Арктическом бассейне на фоне глобального потепления, заметно выраженного в последние два десятилетия, в результате чего нарушается механизм автоколебаний, описанный Шулейкиным.

Для аномалий средних ТПО по площади зимнего нагула также основной вклад (более 30%) вносит 60-70-летняя долгопериодная компонента (рисунки 3.8, Б.1). Для более короткопериодных составляющих значения спектральной плотности для квазипериодов 6, 7, 9 и 20 лет превышают уровень красного шума, но не выходят за доверительный интервал (рисунок Б.1). Сохраняется значимый вклад квазитрехлетней гармоник (более 5%), колебания с квазипериодами 6, 7 и 9 лет вместе описывают порядка 15% дисперсии.

Следует отметить, что гармоника с периодом 20 лет прослеживается только для ряда аномалий средних ТПО по площади зимнего нагула атлантического лосося. Амплитуда колебаний для квазитрехлетнего цикла к концу исследуемого периода затухает, как и для аномалий средних ТПО летней области нагула.

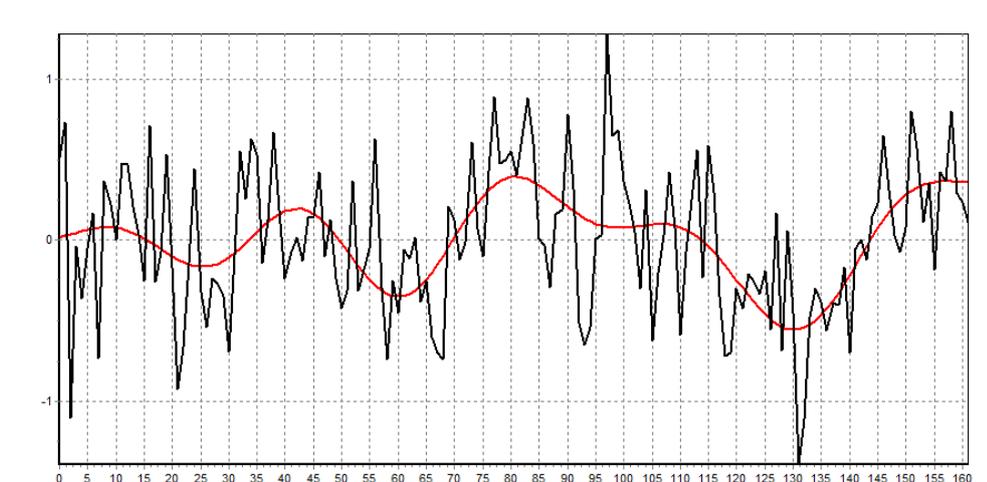


Рисунок 3.8 – Совмещенный график аномалий средних ТПО по площади зимнего нагула и 60-70-летнее долгопериодной компоненты

В спектре аномалий средних ТПО по усеченной зимней площади (рисунок Б.2) также выявлен 60-70-летний долгопериодный цикл, причем его вклад становится еще более значимым – 42 %. На долю 9-летнего квазипериода приходится 7 % изменчивости, и соответствующая ему спектральная плотность превышает доверительный уровень. Другая особенность – в усеченной области квазитрехлетний цикл становится менее выражен, по сравнению с целой зимней и летней областями нагула. Это может быть связано с сокращением в пределах анализируемой области площади акватории, куда происходит основной вынос холодных вод.

В спектре ряда аномалий современных (до 1991 года) уловов атлантического лосося Канады наблюдаются хорошо выраженные 3-, 6- и 20-летние периодичности (рисунок 3.9), однако наиболее значимым является 6-летний квазипериод – его вклад составляет свыше 31 %. Причем, это колебание усиливается именно к концу рассматриваемого периода, т.е. менее выражено в 50-60-е годы 20 века и отчетливо проявляется в 80-90-е годы этого же столетия.

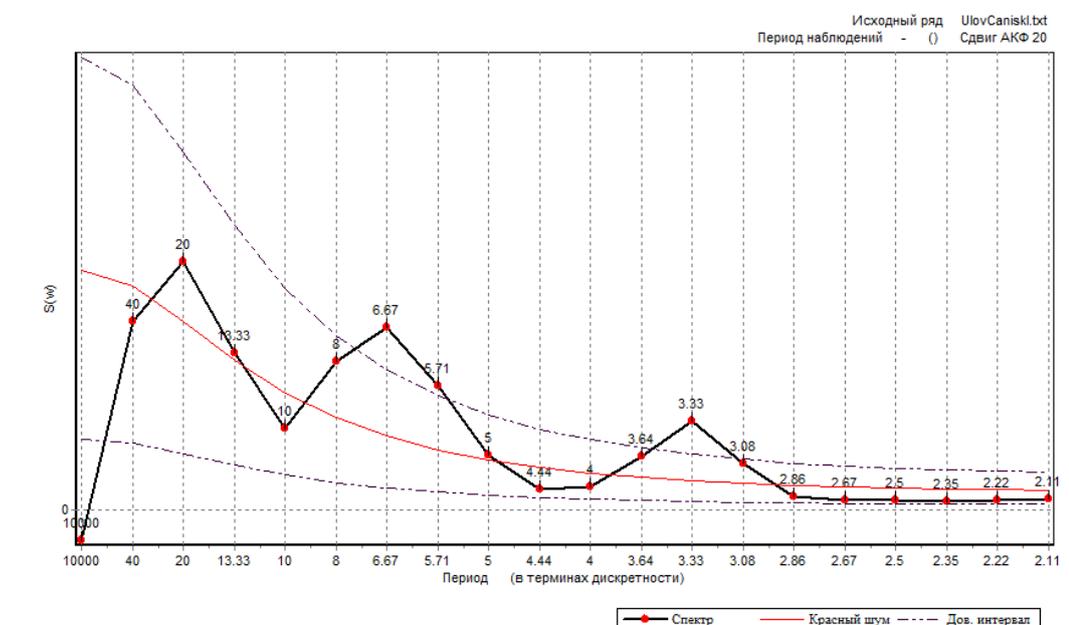


Рисунок 3.9 – Спектр ряда аномалий уловов Канады в период с 1950 по 1991 год

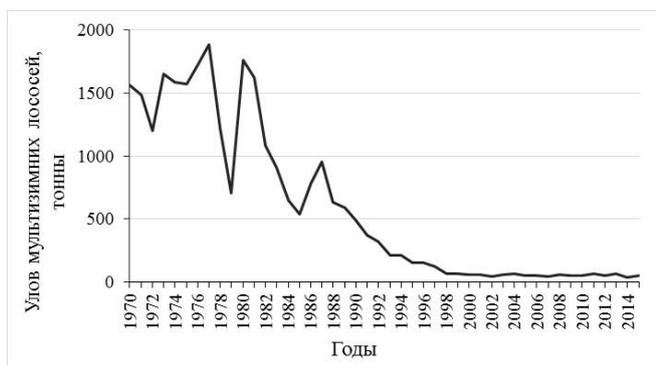
Для аномалий уловов атлантического лосося 19 века (рисунок Б.3) характерно квазигармоническое колебание с периодом 9-11 лет, описывающее свыше 30% изменчивости. О такой же периодичности говорилось в материалах Л. Берга [3], но к 1930-м годам оно затухает. Также имеются другие периоды (~ 3, ~ 5 и ~ 20 лет), превышающие красный шум, но не выходящие за пределы доверительного интервала.

Таким образом, несмотря на ярко выраженный тренд к сокращению численности атлантического лосося, квазипериодичности, отмеченные для уловов 19 века, сохраняются и в настоящее время.

3.2 Оценка влияния температуры вод нагульных ареалов на уловы атлантического лосося из североамериканских популяций

При визуальном сравнении временных рядов уловов мультизимних лососей и тинды наблюдаются общие колебания и тенденция к снижению уловов (рисунок 3.10). Еще раз повторим, что уловы снизились из-за сокращения именно запасов атлантического лосося, а не в результате введения запрета на вылов, что являлось мерой по сохранению данного вида.

а)



б)

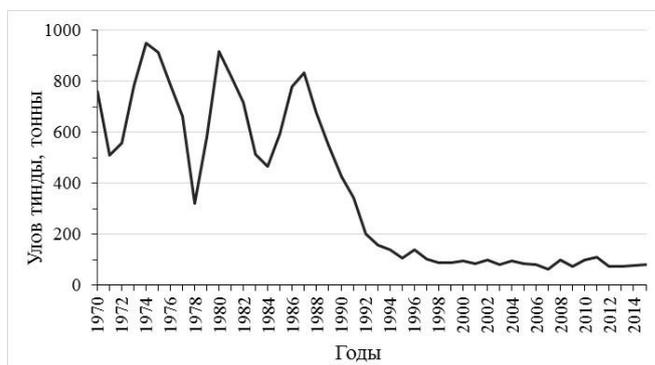


Рисунок 3.10 – Современные уловы Канады: а) – уловы мультизимних лососей, б) – уловы тинды

Учет с 1970 года не только общего вылова, но и отдельно массы мультизимних особей и тинды в составе улова, позволяет перейти к процентному соотношению данных особей в общем улове (рисунок 3.11).

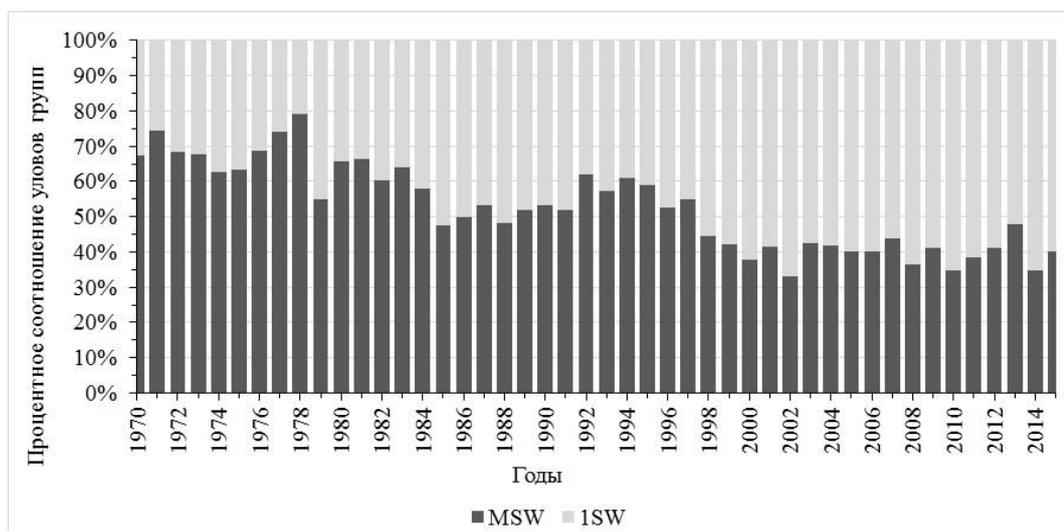


Рисунок 3.11 – Процентное соотношение уловов мультизимних лососей и тинды

Очевидно, что на фоне общего снижения уловов мы наблюдаем также уменьшение доли мультизимних лососей. Мы предполагаем, что одной из возможных причин такой тенденции может выступать именно изменение в температурном режиме вод Северной Атлантики.

При визуальном сравнении хода средних ТПО по площадям нагула и уловов атлантического лосося (рисунки 3.12 и 3.13) можно отметить, что прослеживаются определенные асинхронные связи – пики в кривых ТПО идут в противофазе с пиками гистограммы уловов.

Чтобы доказать наше предположение, мы провели взаимнокорреляционный анализ средних ТПО по площади нагула и уловов. Как было указано ранее (рисунок 1.4), для нагула тинды и мультизимних лососей выделяют разные характерные области СЗА, поэтому для верной

интерпретации полученных результатов необходимо учитывать специфику распределения лососей в море.

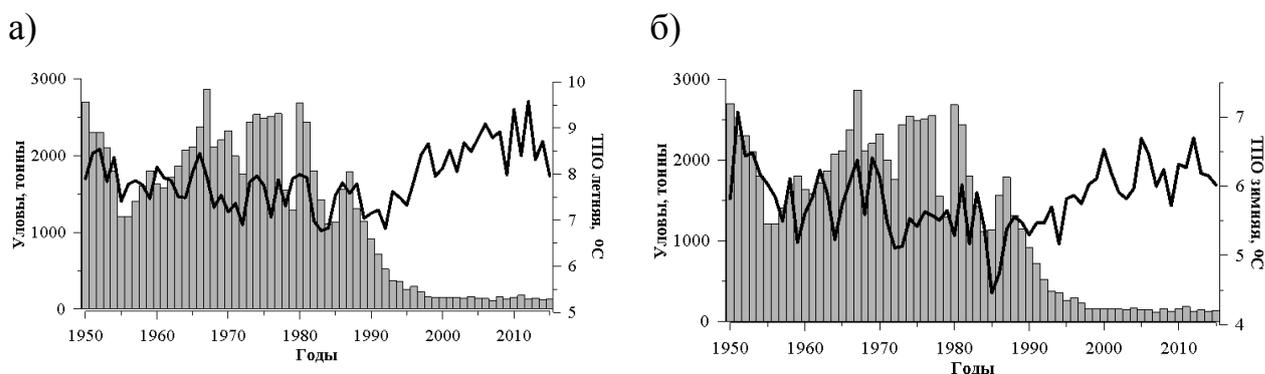


Рисунок 3.12 – Совмещенный график современных уловов Канады и ход средней ТПО по площади: а) летнего нагула и б) зимнего нагула. Гистограмма отображает динамику уловов, черная кривая – динамику температуры.

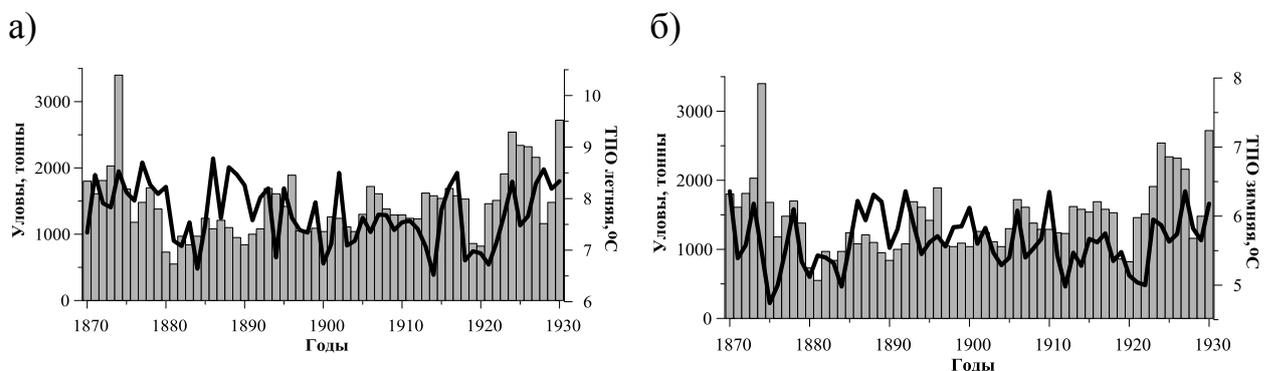


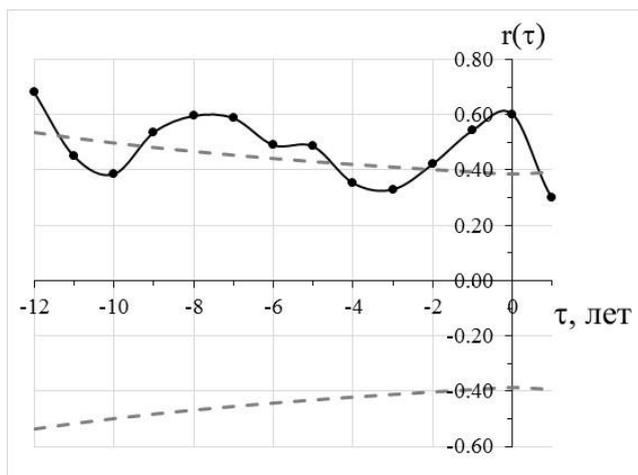
Рисунок 3.13 – Совмещенный график уловов Канады в конце 19-начале 20 века и ход средней ТПО по площади: а) летнего нагула и б) зимнего нагула

Взаимнокорреляционная функция (ВКФ) построена так (рисунки 3.14-3.15), что положительное направление сдвигов соответствует связи $ТПО=f(\text{уловы})$, а отрицательное направление – связи $\text{уловы}=f(ТПО)$. Более

информативно для нас естественно отрицательное направление, соответственно положительное направление не рассматривается при анализе.

Первоначально была проверена связь абсолютных значений уловов тинды и мультизимных лососей со средними ТПО по площади нагулов с 1970 по 1991 год (рисунок 3.11).

а)



б)

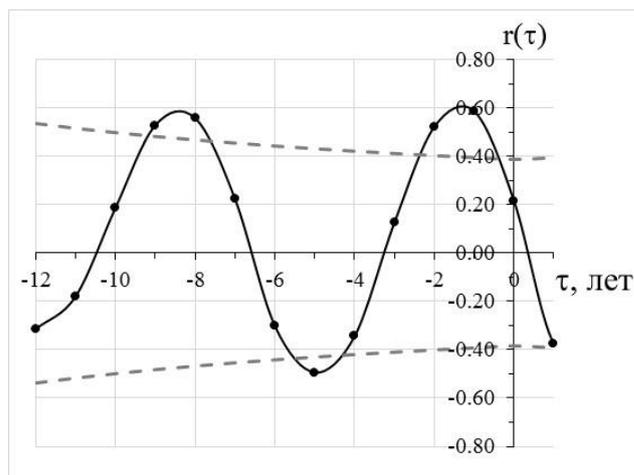


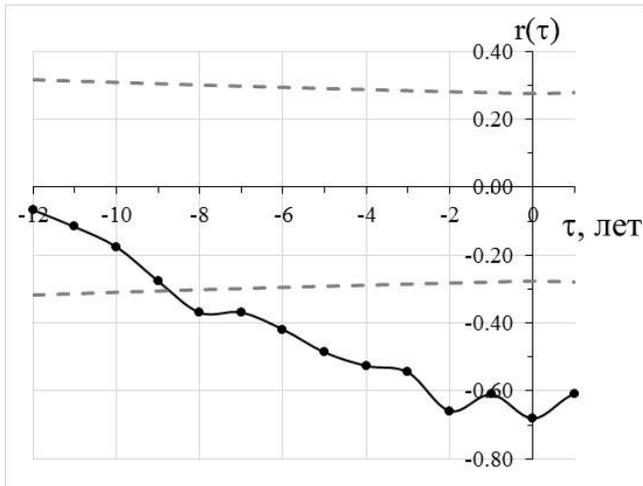
Рисунок 3.14 – ВКФ: а) абсолютных значений уловов мультизимных особей и средней ТПО по площади зимнего нагула; б) абсолютных значений уловов тинды и средней ТПО по площади летнего нагула. Маркированная линия соответствует ВКФ, штрихованные серые линии – доверительный интервал

Сохраняются определенные закономерные колебания – 9-летние квазипериоды. Прямая связь является значимой на первом сдвиге и для мультизимных особей (значения коэффициента корреляции при нулевом сдвиге не является физически обусловленным, т.к. вылов происходит в осенний период, а имеющиеся значения средней ТПО по зимней области нагула относятся к более позднему периоду), и для тинды. Таким образом, снижение и повышение температуры в 70-х - 90-х годах напрямую отражалось на колебаниях уловов (численности) лосося в первый и второй год после воздействия ТПО.

Предполагая, что соотношения доли тинды и мультизимних особей в уловах потенциально будет зависеть от температуры моря в период нагула, что определяется увеличением скорости роста при оптимальных температурах и отражается на сроках начала нерестовой миграции, целесообразно перейти к анализу ряда доли мультизимних особей в общем улове (рисунок 3.11).

На рисунке 3.15 представлены результаты расчета ВКФ между рядом доли уловов мультизимних лососей и средней ТПО по летней (рисунок 3.15а) и зимней (рисунок 3.15б) площадям нагула за период 1970 – 2015 годы. Для доли мультизимних особей в общем улове отмечается обратная связь со средними ТПО по площади летнего и зимнего нагулов. Значимыми являются коэффициенты корреляции на сдвигах $\tau = 0 \div -8$ и $\tau = 0 \div -6$ для средних летней и зимней ТПО соответственно. Длина ряда позволяет говорить о действительно сильной связи, причем в наибольшей степени число (улов) мультизимных лососей определяется летними условиями в области нагула. Повышение летних температур будет негативно сказываться на мультизимных особях как непосредственно в год воздействия положительных аномалий ТПО ($\tau = 0$, $r = -0.6$), так и на последующих поколениях лососей ($\tau = -1$, $r = -0.7$). Увеличение ТПО будет способствовать более раннему созреванию особей, вследствие чего они будут стремиться раньше обычного срока покинуть область своего нагула. И таким образом, лососи, потенциально проводящие в местах нагула 3 года, в условиях глобального потепления будут возвращаться на нерест после 2-х проведенных в море лет; у особей, потенциально нагуливающих 2 года в море, нерестовая миграция начнется после первого года нагула в море.

а)



б)

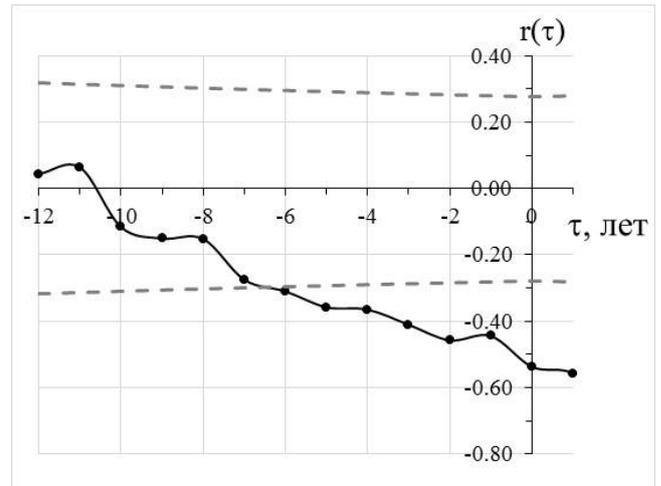


Рисунок 3.15 – Взаимнокорреляционная функция доли мультизимних особей в общих уловах и средней ТПО по площади летнего (а) и зимнего (б) нагулов

Для доли тинды в общих уловах функция кросс-корреляции будет зеркальна относительно оси τ . Потепление климата вносит значимый вклад в изменение структуры уловов атлантического лосося, начиная с 1990-х годов.

Таким образом, при сохранении нынешней тенденции к повышению ТПО будет происходить сокращение доли мультизимних особей атлантического лосося в общих уловах, и можно предположить, что измельчение особей данного вида будет характерно и в будущем, вплоть до возможного закрепления этого механизма на генетическом уровне.

Также значительный вклад в усиление данной тенденции, помимо глобального потепления, может вносить сокращение нерестилищ в наиболее урбанизированных территориях США и Канады, вследствие чего особям не требуется проводить в нагульной зоне длительное время (фаза интенсивного питания), чтобы добраться до удаленных и протяженных рек, не истощив полностью свои запасы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие основные выводы:

- на основании изученных материалов по биологии атлантического лосося было установлено, что морская фаза его жизненного цикла до сих пор является наименее изученным аспектом, несмотря на проводящиеся в последнее время исследования;
- ареал нагула североамериканских популяций атлантического лосося можно разделить на характерные области нагула мультизимных особей и тинды;
- в рядах осредненных по площади ТПО в пределах ареалов нагула и уловов, помимо значимой трендовой составляющей, было обнаружено долгопериодное 60-70-летнее колебание, а также квази 9-, 6- и 3-летние периоды;
- возможной причиной наличия квазитрехлетнего периода в средних ТПО по площадям нагульных ареалов можно назвать взаимодействие вод системы Гольфстрим – Северо-Атлантическое течение и Арктического бассейна, уменьшение выраженности данного цикла связывают с сокращением общего количества льда к 2000-м годам;
- на фоне общего снижения уловов с конца 20 века наблюдается тенденция к уменьшению доли мультизимных лососей;
- проведенный кросс-корреляционный анализ рядов средних ТПО по площадям нагула и доли мультизимных особей в уловах показал, что выраженное потепление вод в летней области нагула имеет значимую связь с уменьшением доли мультизимных лососей.

Таким образом, при сохраняющейся тенденции потепления климата можно ожидать дальнейшее измельчение особей атлантического лосося, что может закрепиться на генетическом уровне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 The Status of Wild Atlantic Salmon: A River by River Assessment [Текст] / Edited by H. Røed // World Wildlife Fund. – 2001. – 184

2 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>

3 Берг, Л.С. Материалы по биологии семги [Текст] / Обзор работ по исследованию семги, проведенных в 1930–1934 гг. // Известия ВНИОРХ. – 1935. – Т.20. – С.4 – 17.

4 Мартынов, В.Г. Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на Севере России [Текст] / В.Г. Мартынов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – С.4 – 7.

5 Hansen, L. Temporal and Spatial Migration and Distribution of Atlantic Salmon, *Salmo salar* L., in the Northeast Atlantic Ocean [Текст] / L. Hansen, K. Friedland, M. Holm, J. Holst and J. Jacobsen // NPAFC Technical Report № 4. – 2002.

6 Godwin, M. Restoring Atlantic salmon (*Salmo salar*) in northern New York [Текст] / M. Godwin, K. Koncewicz // Biology Department St. Lawrence University. – 2015. – С.5 – 12.

7 Atlantic Salmon Federation [Электронный ресурс] / Life cycle. – 2012. Режим доступа: <http://www.asf.ca/life-cycle.html>

8 Atlantic Salmon Ecology [Текст] / Edited by Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen, J. Skurdal // Blackwell Publishing Ltd, 2011. – 497 с.

9 Берг, Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран [Текст] / Л.С. Берг // М.-Л.: Издательство Академии Наук СССР. – 1948. – Часть 1. – 468.

10 The Atlantic Salmon Genetics, Conservation and Management [Текст] / Edited by E. Verspoor, L. Stradmeyer, J. Nielsen // Blackwell Publishing Ltd, 2007. – 522.

11 Саускан, В.И. Экология и биологическая продуктивность [текст] / Калининград, 1996 г. – 74 с.

12 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

13 Review of the state of world marine fishery resources / FAO fisheries and aquaculture technical paper № 569. – Rome. – 2011. – Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/015/i2389e/i2389e.pdf>

14 Working Group on Ecosystem Studies and Assessment [Текст] / NAFO, 7th meeting, Canada, Halifax, 18 – 27 Nov. 2014. – Режим доступа: <https://gadcap.wordpress.com/gadcap-project/introduction/>

15 Жуков, Л.А. Общая океанология [Текст] / Под редакцией проф., д-ра физ.-мат. наук Ю. П. ДОРОНИНА, Гидрометиздат, Ленинград, 1976 г. – С. 220 – 224.

16 Саускан, В.И. Экология и биологическая продуктивность океана: Учебное пособие [Текст] / Калининград, изд. Калинингр. ун-т, 1996. – с. 48.

17 C. Fay. Status Review for Anadromous Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in the United States [Текст] / M. Bartron, S. Craig, A. Hecht // Report to the National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service. 2006. – 294 с.

18 North Atlantic Salmon Conservation Organization Conserving [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.nasco.int/>

19 Extended reconstructed sea surface temperature [Электронный ресурс] / NOAA National Climatic Data Center. – Режим доступа: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version3b/.sst/>

20 Статистика по номинальным уловам атлантического лосося в СЗА [Электронный ресурс] / FAO Департамент рыбного хозяйства и аквакультуры. – Режим доступа: <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>

21 Report of Working Group on North Atlantic Salmon [Электронный ресурс] / ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort North American North Atlantic, May 2016. – Режим доступа: http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2016/2016/Salmon_NAC_2016.pdf

22 North Atlantic Salmon Stocks [Электронный ресурс] / ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort North American North Atlantic, May 2016. – Режим доступа: http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2016/2016/Salmon_Introduction_Other_Questions_2016.pdf

23 Индекс Северной стены Гольфстрима [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pml-gulfstream.org.uk/Data%20Web2014.pdf>

24 Карлин, Л.Н. О влиянии температуры поверхности океана на обмен углекислым газом с атмосферой [Текст] / Л.Н. Карлин, В.Н. Малинин, С.М. Гордеева // ОКЕАНОЛОГИЯ, 2015, том 55, № 1, С. 16 – 25.

25 Гордеева, С.М. Практикум по курсу Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 70 с.

26 Малинин, В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.

27 Абузьярок, К.З. Морские прогнозы [Текст] / З.К. Абузьяров, К.И. Кудрявая, Е.И. Серяков, Л.И. Скриптунова / Ленинград, Гидрометиздат, 1988. – С. 215 – 216.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ NASCO ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ

Таблица А.1 – Расшифровка основных проектов NASCO по исследованию различных абиотических факторов, влияющих на состояние атлантического лосося

| Проект | Период/статус | Предмет | Результат |
|---------------|------------------------------|--|---|
| На базе CEFAS | с 2006 г. по настоящее время | Паразит <i>Anisakis simplex sensu stricto</i> , вызывающий Red Vent Syndrome (RVS) | Зафиксировано огромное число рыб в различных реках с наличием паразита в полости тела, в частности в вентиляционном отверстии. Окончательно влияние паразита на лосося не доказано – каких-либо отклонений в здоровье, препятствий нересту и смертности за период наблюдений не обнаружено. Однако паразит снижает качество рыбы и может оказывать влияние на здоровье человека. Одной из возможных причин развития RVS у атлантического лосося является потепление в Северной Атлантике. |
| N13, Norway | с 2005 по 2013 г. | Лососевая вошь | Выживаемость лосося за рассматриваемый период заметно снизилась. Поражает жабры, нарушает солевой баланс, вследствие чего лосось погибает. В 2011 г. была проведена обработка против вшей. |
| Ew14, England | с 2009 по 2014 г. | Воздействие загрязняющих | На основе климатических проектов UKCP09 было показано, что |

| Проект | Период/статус | Предмет | Результат |
|---------------------------------|----------------------|--|--|
| and Wales | | веществ и температуры на пресноводные популяции | увеличение температуры воды на 4-5 °С и конкретное загрязняющее вещество в значимых концентрациях по-разному влияют на лосося в зависимости от стадии жизненного цикла. |
| C7, Canada | с 2003 по 2007 г. | Оценка веществ, разрушающих эндокринную систему смолтов. | 4-нонилфенол, входящий в состав пестицидов, угнетает вес пестряток из-за низкого содержания ИФР-1 в период смолтификации, что влияет на раннее морское выживание и последующее возвращение взрослой особи на нерест. |
| Ew2, England and Wales | с 1999 по 2004 г. | Воздействие сельскохозяйственных загрязнителей на дикого лосося | Было показано, что различные сельскохозяйственные удобрения замедляют процесс смолтификации и адаптацию рыб к соленой воде, вследствие чего снижается выживаемость при переходе к морской фазе. |
| На базе ASF | с 1998 по 2002 г. | Воздействие кислотных дождей | Лосось исчез из 14 рек Новой Шотландии, в других 20 реках популяция сократилась на 90%. Выживаемость в море сокращается. |
| Ew1, England and Wales | с 1999 по 2001 г. | Изменение климата и миграция лососевых | Уменьшение скорости течения рек и более низкие температуры воды задерживают миграцию смолтов и их вступление в прибрежные воды, что, в свою очередь, влияет на выживание и возвращение взрослых особей на нерест. |

| Проект | Период/статус | Предмет | Результат |
|----------|-------------------|---|---|
| | | | <p>Повышенные значения температуры воды сокращают подходящую область обитания для идущих на нерест особей.</p> <p>Из-за увеличение ТПО также сокращается подходящая область обитания, необходимая для роста и развития лосося в море.</p> <p>Потепление воды в реках на 1-2 °C ускоряет эмбриональное развитие в течение зимы, что приводит к раннему появлению мальков.</p> |
| U8, USA | с 2005 по 2012 г. | <p>Хищничество со стороны больших бакланов в реке Наррагуагус/заливе Наррагуагус (штат Мэн)</p> | <p>По данным ультразвуковой телеметрии, как только смолты входят в устье реки, показатель смертности от выедания бакланом увеличивается, особенно в дневное время.</p> |
| U14, USA | с 2010 по 2014 г. | <p>Изучение влияния климатических факторов на морскую смертность атлантического лосося</p> | <p>Основной спад численности лосося в 1990 г., а также в 1997 г., связывают с наиболее сильной отрицательной фазой САК в эти годы. Парная корреляция показала, что климатические и физические условия оказывают влияние на наличие добычи. Состояние предшествующего трофического уровня, обусловленное факторами внешней среды, повышенные температуры океана угнетают популяцию лосося.</p> |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ГРАФИКИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ АНОМАЛИЙ СРЕДНИХ ТПО ПО ПЛОЩАДЯМ НАГУЛА И АНОМАЛИЯМ УЛОВОВ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ

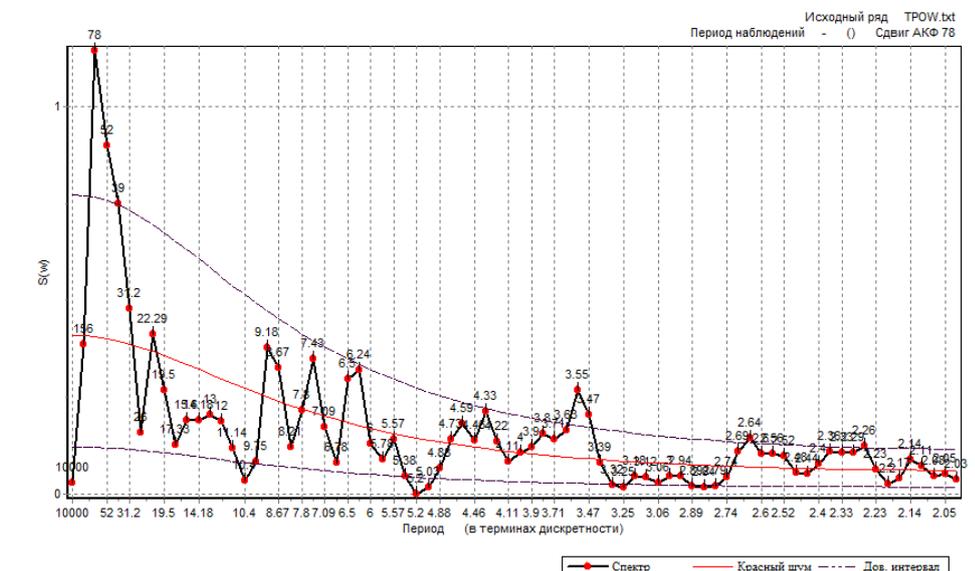


Рисунок Б.1 – Спектр ряда аномалий средних ТПО по площади зимнего нагула атлантического лосося

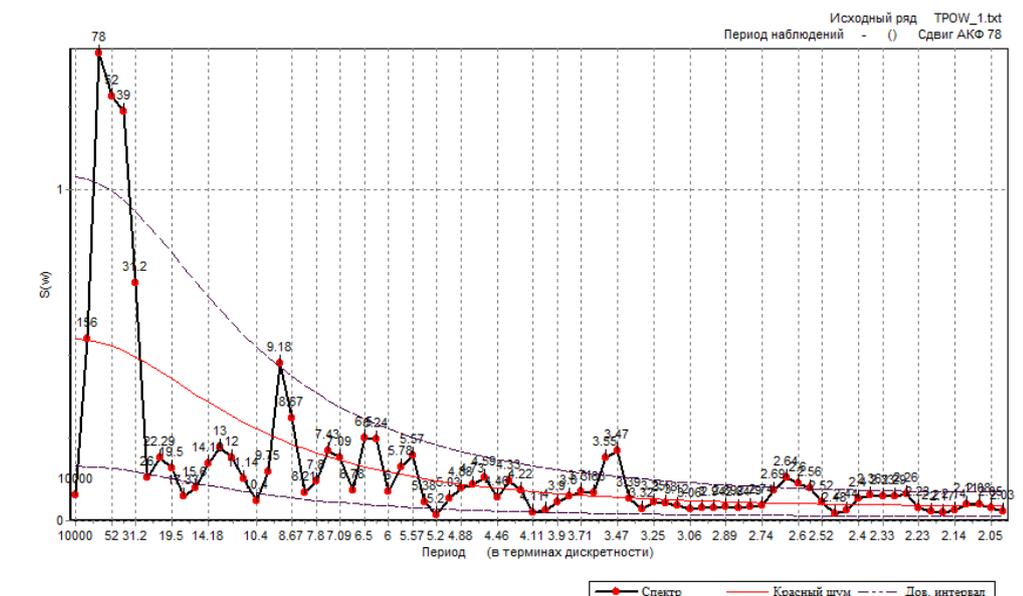


Рисунок Б.2 – Спектр ряда аномалий средних ТПО по усеченной площади зимнего нагула атлантического лосося

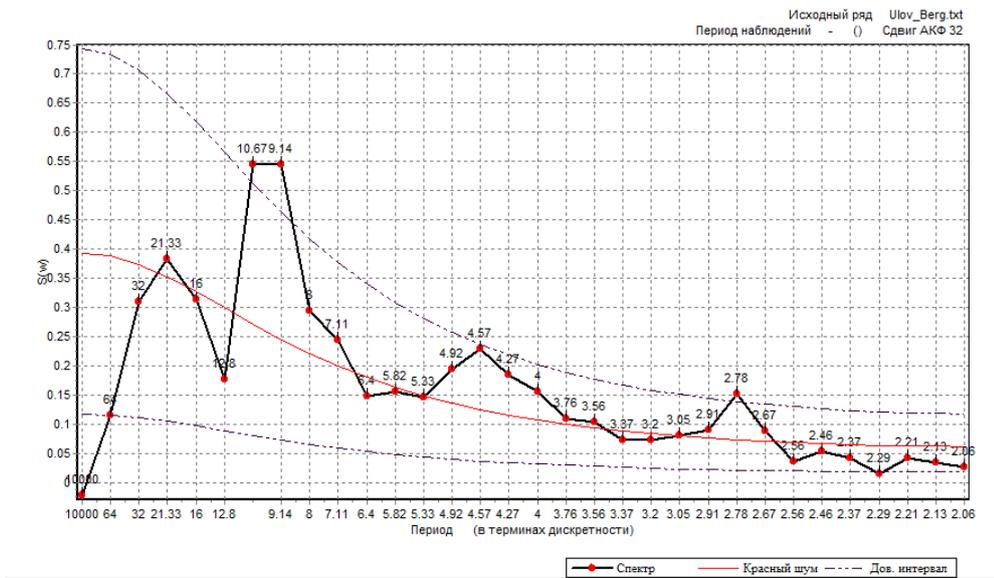


Рисунок Б.3 – Спектр ряда аномалий уловов атлантического лосося Канады в период с 1870 по 1930 год