

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

На правах рукописи



Варакина Юлия Игоревна

**СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ПРОМЫСЛОВЫХ
РЫБАХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА В АРКТИКЕ НА
ПРИМЕРЕ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

1.5.15 – Экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, доцент
Попова Людмила Федоровна

Архангельск 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	11
1.1 Стойкие органические загрязнители: виды, свойства, источники поступления и распространение в Арктике.....	11
1.2 Биоаккумуляция стойких органических загрязнителей в живых организмах.....	16
1.2.1 СОЗ в водных биологических объектах: токсичность ПХБ и ХОП для рыб Арктики и Дальнего Востока	16
1.2.2 СОЗ в организмах жителей Арктики: накопление и токсический эффект.....	23
1.3 Нормирование содержания СОЗ в местных продуктах питания и сыворотке крови человека в Арктике	29
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	33
2.1 Характеристика района исследования	33
2.2 Анкетирование участников исследования	36
2.3 Характеристика и отбор объектов исследования	36
2.3.1 Характеристика и отбор образцов рыбы.....	37
2.3.2 Характеристика и отбор проб крови.....	39
2.4 Методики пробоподготовки объектов исследования.....	40
2.4.1 Методика пробоподготовки мышц рыб	40
2.4.2 Методика пробоподготовки сыворотки крови.....	42
2.5 Методика определения стойких органических загрязнителей в мышцах рыб и сыворотке крови.....	42
2.6 Камеральные исследования	45
2.7 Статистическая обработка данных	48

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ	49
3.1 Обоснование выбора объектов исследования.....	49
3.2 Стойкие органические загрязнители в рыбах АЗРФ	54
3.2.1 Общее содержание СОЗ в промысловых рыбах Ненецкого АО ..	54
3.2.2 Содержание индивидуальных ПХБ и ХОП в промысловых рыбах Ненецкого АО.....	63
3.2.3 Факторы, влияющие на накоплении СОЗ в мышцах рыб.....	69
3.3 Уровни содержания стойких органических загрязнителей в организме человека АЗРФ	76
3.3.1 Общее содержание ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей Ненецкого АО.....	76
3.3.2 Влияние места проживания на уровень содержания ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей Ненецкого АО	84
3.4 Оценка экологических рисков СОЗ для здоровья жителей Ненецкого АО, связанных с потреблением промысловых видов рыб	89
ВЫВОДЫ	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ А	119
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	125
ПРИЛОЖЕНИЕ В	126

ВВЕДЕНИЕ

Арктический регион считается одной из немногих нетронутых экосистем, однако он также подвержен негативному влиянию стойких органических загрязнителей (СОЗ) за счет трансграничных переносов и в меньшей степени за счет океанских и речных течений (Braune et al., 2005; Daba et al., 2011). СОЗ за счет физико-химических свойств биоаккумулируются и биомагнифицируются в живых организмах, особенно в жировых тканях пищевых цепей Арктики и тем самым поступают в организм человека.

Особую актуальность эта проблема имеет как для коренных народов, так и для населения, значительную часть питания которых составляют мигрирующие виды рыб и птиц, мясо и жир диких наземных и морских животных. Согласно результатам международных исследований, в организм таких категорий населения до 80% высокотоксичных стойких загрязнений поступает в результате употребления именно такой – «традиционной пищи» (Hjermitslev et al., 2019, Long et al., 2015).

В настоящее время недостаточно знаний о СОЗ и связанных с ними рисках в Российской Арктике, что отмечается во многих международных отчетах (АМАР, 2004, АМАР, 2018). В России системы мониторинга загрязнений окружающей природной среды основаны преимущественно на количественных измерениях содержания вредных веществ в ограниченном перечне объектов среды (атмосферный воздух, вода, почва). Такой подход не в полной мере отражает фактическую интенсивность их вредного воздействия на живые организмы, и в первую очередь на человека. Ущерб от воздействия на людей и экосистемы опасных загрязняющих веществ, способных накапливаться в пищевых цепях и распространяться биологическими путями, весьма существенен, но до настоящего времени не оценен и требует проведения специальных научных исследований.

Подобные исследования в Российской Арктике были проведены в 2001–2009 гг. на территории Ненецкого автономного округа (Ненецкого АО),

Кольского полуострова, Таймырского (сейчас Красноярский край) и Чукотского автономных округов (Чукотского АО), с небольшими выборками участников исследования и с ограниченным перечнем видов рыб, птиц и млекопитающих, входящих в традиционный рацион жителей Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Полученные данные в проведенных ранее исследованиях не в полной мере отражают фактическую интенсивность вредного воздействия СОЗ на живые организмы и в первую очередь на человека. Для корректной оценки СОЗ в окружающей среде необходимо проведение дополнительных мониторинговых исследований с учетом приоритетных видов продуктов традиционной пищи и расширением территории исследования. За последние 10 лет данные по уровню содержания СОЗ в биоте Российской Арктики ограничены. Учитывая изменения трендов в большинстве арктических стран, как правило, наблюдается снижение уровня ПХБ и ХОП в окружающей среде (Abass et al., 2018; Rigét et al., 2019). Получение актуальных данных по содержанию СОЗ в биоте АЗРФ имеет крайне важное значение для оценки экологических рисков, связанных с поступлением токсикантов в организм человека.

Все вышеперечисленное свидетельствует об актуальности изучения СОЗ в системе «традиционная пища–человек» Арктики.

Цель исследования: оценка экологического риска для человека в Арктической зоне РФ, связанного с поступлением в организм стойких органических загрязнителей с промысловыми видами рыб.

Задачи исследования:

1. Определить содержание и установить видовые различия в накоплении полихлорированных бифенилов и хлорорганических пестицидов у морских, пресноводных и проходных рыб, потребляемых жителями Ненецкого АО.

2. Оценить уровень и географические различия содержания маркерных и диоксиноподобных полихлорированных бифенилов, гексахлорбензола, метаболитов ДДТ и других СОЗ в сыворотке крови мужчин и женщин семи поселков Ненецкого АО.

3. Проанализировать уровень содержания СОЗ в пищевой цепи «рыба-человек» на примере арктического региона.

4. Рассчитать экологический риск от СОЗ для человека при использовании промысловых видов рыб в рационе питания жителей Ненецкого АО.

Положения, выносимые на защиту:

1. В промысловых видах рыб Ненецкого автономного округа уровень содержания стойких органических загрязнителей находится в интервале 0,6...14,8 нг/г сырой массы и зависит от линейно-весовых показателей гидробионтов, их возраста, содержания липидов в мышечной ткани и местообитания популяций.

2. Содержание ряда полихлорированных бифенилов и хлорорганических загрязнителей в биологических жидкостях населения, проживающего в островных и прибрежных населенных пунктах Ненецкого автономного округа, зависит как от количества потребляемой рыбы, так и ее принадлежности к соответствующей экологической группе (морская, пресноводная, анадромная и полуанадромная).

3. Потребление промысловых видов рыб жителями Арктической зоны Российской Федерации исключает риск опасности для здоровья человека в связи с поступлением в организм стойких органических загрязнителей (ДДТ и ГХБ) по пищевой цепи.

Научная новизна. Установлены видовые различия в накоплении СОЗ промысловыми рыбами Ненецкого АО: наибольший уровень ПХБ и ХОП обнаружен у сёмги (*Salmo salar*) и сельди (*Clupea sp.*) – 14,8 и 8,0 нг/г сырой массы, соответственно). Показано, что горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*) отличается максимальной долей *p,p'*-ДДЕ от общего содержания ксенобиотиков (41 %).

Впервые получены данные об уровнях содержания ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей (мужчин и женщин) семи поселков Ненецкого АО с учетом влияния возрастной группы и локализации населенного пункта.

В ходе работы впервые рассчитан и оценен экологический риск при употреблении промысловых видов рыб для жителей западного сектора Российской Арктики.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные данные являются фундаментальной основой для проведения многолетних мониторинговых исследований на территории Российской Арктики. Результаты по оценке содержания СОЗ в гидробионтах и сыворотке крови человека Арктики дополняют базу данных об уровнях СОЗ в биологических образцах АЗРФ и являются основанием для принятия мер по обеспечению охраны окружающей среды и здоровья человека от воздействия органических токсикантов.

Результаты работы могут найти применение при разработке рекомендаций по химической безопасности и профилактике загрязнения среды обитания коренных жителей стойкими токсичными веществами, снижению экспозиции и, соответственно, риска их вредного воздействия на здоровье, при этом не нарушая образ жизни и культурные традиции жителей Арктики. Данный подход изучения токсикантов в системе «традиционная пища-человек» является универсальным для оценки экологических рисков, связанных с поступлением различных антропогенных веществ в окружающую среду и организм человека и может быть применен для любого региона нашей страны.

Методология и методы исследований. В основу методологии эколого-биологического исследования положены работы Дударева А. А. (2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2016, 2019, 2022), Хурцилава, О.Г. (2017), Цыганкова В. Ю. (2015, 2016, 2017, 2019, 2022), Лукьяновой О. Н. (2016, 2018), Чащина В. П. (2017), Abass (2018), АМАР (2004, 2009, 2015, 2018), Bravo (2019), Deutch (2002, 2007), Long (2015, 2020), Muir (2003), Odland (2003), Petrenya (2011, 2012), Pavuk (2014), Polder (2010), Rylander (2011), Sandanger (2009).

При проведении работы были использованы три основные группы методов исследований: полевые – отбор образцов рыб, биоматериала человека и их пробоподготовка; лабораторные – химико-аналитические исследования проб мышечной ткани рыб, биоматериала человека; камеральные – обработка

результатов анализов с применением статистического пакета обработки данных SPSS Statistics 21.

Личный вклад автора. Результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии в период с 2017 по 2021 гг. Автор участвовал в планировании и реализации экспедиционных работ, осуществлял отбор проб, разрабатывал и валидировал методики анализа, выполнял количественный анализ проб на современном химико-аналитическом оборудовании, а также принимал участие в постановке цели и задач исследования, обработке и интерпретировании полученных результатов исследования, подготовке научных публикаций.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов обеспечена применением современного, высокоточного физико-химического метода анализа – газовой хромато-масс-спектрометрии, обладающей хорошей воспроизводимостью и прослеживаемостью полученных экспериментальных данных относительно сертифицированных стандартных образцов исследуемых матриц в статистически значимых выборках. Работа выполнена на базе аккредитованных в национальной системе аккредитации испытательных лабораторий: лаборатории арктического биомониторинга (Аттестат аккредитации RA.RU.21HE19); центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» (ЦКП НО «Арктика») (Аттестат аккредитации РОСС RU.0001.21АЛ65) САФУ имени М. В. Ломоносова. В исследовании использованы общепринятые методы отбора, обработки и анализа проб мышечной ткани рыб и сыворотки крови человека, все данные подверглись статистическому анализу, результаты исследования нашли отражение в статьях, прошедших рецензирование специалистами в области экологии.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались на международной конференции «Биомониторинг в Арктике» (г. Архангельск, в 2018 г., 2020 г., 2022 г.), международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (г. Севастополь в 2019 г. и 2021 г.), региональной научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам (г. Владивосток, 2021 г.) и на ежегодных конференциях САФУ им. М.В. Ломоносова в 2018-2021 гг.

Работа проведена **при финансовой поддержке** Правительства Российской Федерации в соответствии с постановлением №220 от 09.04.2010 (*договор №14.У26.31.0009 от 14.03.2017*), Фонда содействия инновациям по программе «Умник» (*договор №15432ГУ/2020 от 22.06.2020*), Российского научного фонда (*договор № 22-15-20076 от 22.03.2022*) и при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSRU-2023-004".

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и рекомендуемых ВАК России для опубликования научных результатов, 1 патент и 9 материалов конференций и тезисов докладов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.5.15. Экология (биологические науки). Полученные результаты и выводы в рамках диссертационного исследования соответствуют п. 10 «Антропогенное воздействие на популяции, сообщества и экосистемы; загрязнения среды токсичными веществами; биомониторинг» и п. 13 «Экология человека – биологические аспекты воздействия окружающей среды на человека (на уровне индивидуума и популяции)».

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста, состоит из введения, трёх глав, заключения, выводов, списка 163 использованных литературных источников, включая 104 – иностранных и трёх приложений. Работа проиллюстрирована 21 рисунком, данные представлены в 14 таблицах.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.б.н., доценту кафедры химии и химической экологии САФУ Л.Ф. Поповой за участие в подготовке работы, всестороннюю поддержку и

помощь на всех этапах работы; к.т.н., профессору кафедры биологии, экологии и биотехнологии САФУ А.С. Аксёнову за помощь при выполнении работы и обсуждении результатов. Автор выражает благодарность коллективу лаборатории арктического биомониторинга САФУ, к.х.н. Д.Е. Лахманову, доктору медицины (PhD) А.М. Гржибовскому, к.ю.н. Т.Ю. Сорокиной за помощь в сборе первичного материала, определении и анализе ряда физико-химических параметров, токсических соединений, консультации по статистической обработке и обсуждению результатов.

ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Стойкие органические загрязнители: виды, свойства, источники поступления и распространение в Арктике

Глобальная интенсификация промышленной деятельности и сельского хозяйства привела к появлению в среде обитания человека качественно новых высокотоксичных веществ и соединений, ксенобиотиков, многие из которых чрезвычайно устойчивы во внешней среде и способны в избыточных количествах накапливаться в жировой ткани и внутренних органах человека и животных. К таким веществам относятся стойкие органические загрязнители.

Стойкие органические загрязнители – это галогенопроизводные углеводороды, представленные алициклическими и ароматическими соединениями, природного или антропогенного происхождения (Mouly et al., 2016). Согласно Стокгольмской конвенции о СОЗ, вступившей в силу в 2004 году, в настоящее время к числу наиболее вредных веществ отнесены 35 соединений (Stockholm Convention, 2001). К ним относятся: полициклические полигалогенированные углеводороды (полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны, полихлорированные бифенилы (ПХБ), полибромированные бифенилы), а также хлорорганические пестициды (ХОП) (ДДТ, хлорданы, токсафены и др.). Данные ксенобиотики могут десятилетиями сохраняться в объектах окружающей среды, они устойчивы к биодеградации, обладают высокой термостабильностью, плохой растворимостью в воде, но хорошей растворимостью в липидах. Одними из главных свойств СОЗ являются высокий уровень биоаккумуляции и биомагнификации в объектах окружающей среды. В результате данные вещества, имея концентрацию у первого звена цепи незначительную, могут наносить серьезный вред хищникам, за счет увеличения уровня содержания в каждом новом звене пищевой цепи.

В природную среду эти антропогенные вещества попадают различными путями:

1) за счет трансграничных переносов при осуществлении некоторых видов промышленной и хозяйственной деятельности, в результате чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий и т. п;

2) за счет процессов биомагнификации аккумулируются в организме человека, приводя к необратимым последствиям для здоровья как индивидуума, так и населения в целом (Дударев и др., 2012).

Актуальность изучения этих соединений подтверждается резким увеличением публикаций, посвященных накоплению СОЗ в биоте за последние 20 лет, в соответствии с рисунком 1.

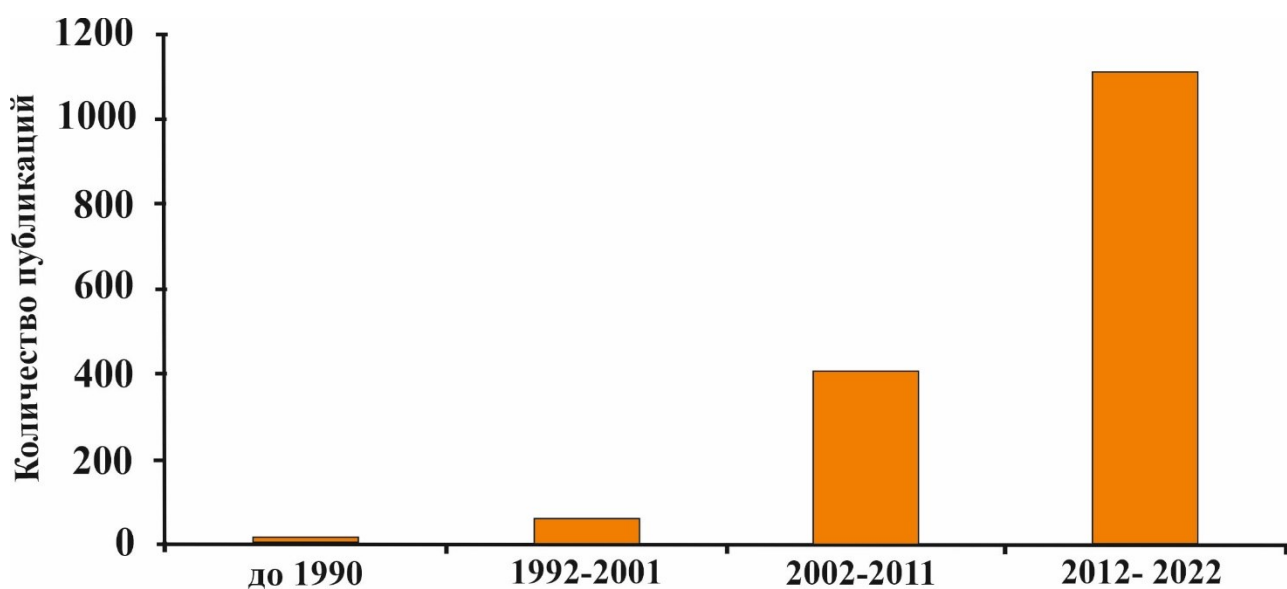


Рисунок 1 – Количество публикаций, посвященных СОЗ в базе данных Scopus, найденных по запросу: «Persistent organic pollutant/POPs and animal and human» (дата обращения 25.09.2023)

В результате специфических климатогеографических особенностей атмосферной циркуляции в Северном полушарии СОЗ переносятся воздушными потоками в Арктику из средних широт и интенсивно накапливаются в объектах окружающей среды (АМАР, 1998; Hung et al., 2016). Арктические территории, являются «холодными ловушками» для различных стойких токсических веществ. Например, в теплое время года концентрация СОЗ в атмосфере выше, чем в холодное (Zarevalov et al., 2022). Однако некоторые из этих соединений,

например гексахлорбензол (ГХБ) или β -гексахлорциклогексан (β -ГХЦГ), преимущественно конденсируются при температурах около - 30 °С (Wania F., MacKay D., 1996).

Согласно литературным данным (Чащин, 2010), за счет трансграничного атмосферного переноса выпадает примерно 1 т. ГХБ; 1,1 т. γ -ГХЦГ и 3,2 т. ПХБ в год на территориях Мурманской области, Ненецкого, Ямало-Ненецкого округов и Красноярского края (ранее Таймырский автономный округ). Еще одним источником поступления СОЗ в Арктику являются основные субтропические и среднеширотные океанические течения Атлантики и Тихого океана, принимающие сильно загрязненные речные стоки (Плотицына, 2004).

Помимо интенсивного переноса и аккумуляции загрязняющих веществ в объектах окружающей природной среды, в арктических районах существует ряд других специфических особенностей, увеличивающих риск вредного воздействия этих загрязнений на здоровье населения. Экстремально низкие температуры воздуха и поверхности земли, длительный период снежного покрова существенно ограничивают подвижность почвенных растворов и циркуляцию поверхностных вод, снижают скорость физико-химических реакций в окружающей среде и потенциал самоочищения биоты, в частности, резко замедляют интенсивность биологической (микробной) деградации и ассимиляции загрязняющих веществ (Чащин, 2010).

Кроме того, поступление СОЗ в арктическую биоту осуществляется биологическими путями, за счет мигрирующих видов рыб, птиц и морских млекопитающих. Для живых организмов главным процессом является биомагнификация – увеличение уровня содержания СОЗ в пищевой цепи. Так высокое потребление жирной пищи в структуре традиционного питания коренных народов Севера, способствует избыточному поступлению СОЗ в организм человека (как высшего звена пищевой цепи), поскольку подавляющее большинство из них липофильны. Более подробно процессы биоаккумуляции и биомагнификации СОЗ в системе «традиционное питание-человек» представлены на рисунке 2.

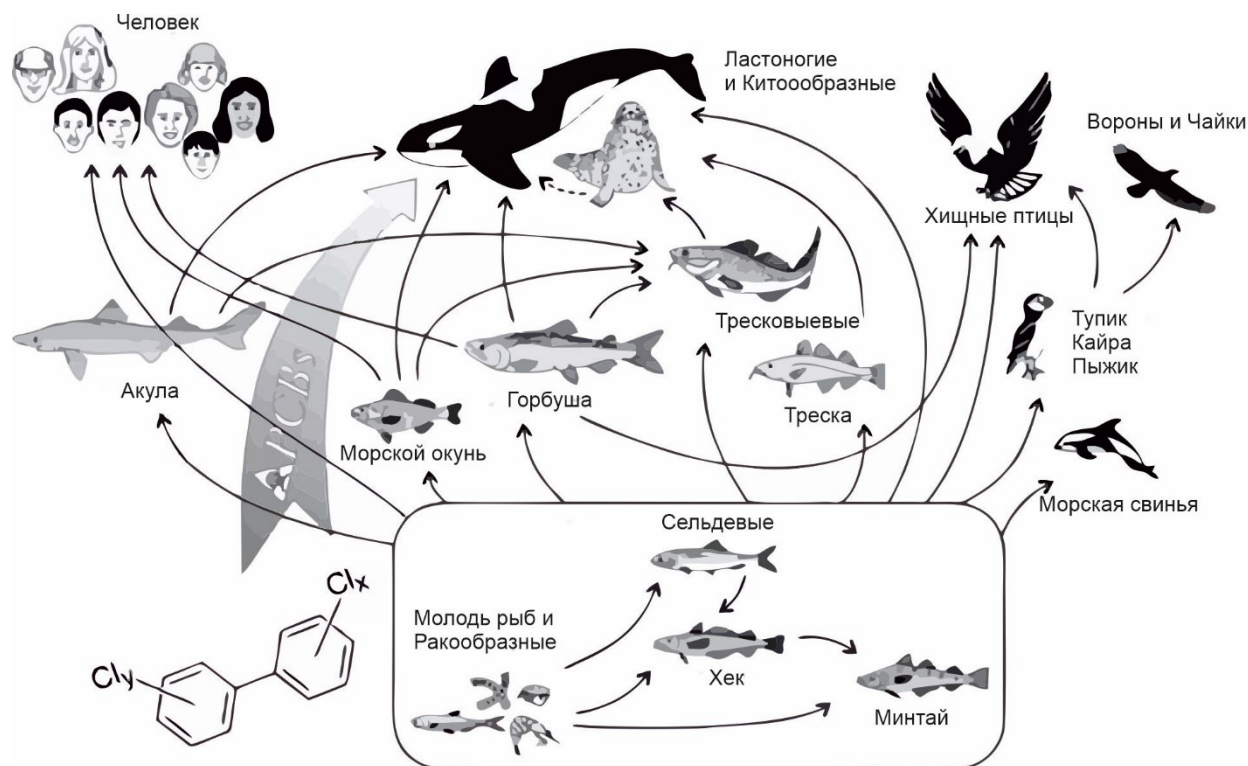


Рисунок 2 – Процесс биомагнификации CO₂ в арктических пищевых цепях (Jurewicz et al., 2016)

Все вышеперечисленные факторы риска вредного воздействия CO₂, в конечном счете, тесно связаны с высокими концентрациями этих веществ, обнаруживаемые в крови у коренного населения ряда районов Крайнего Севера, в том числе в грудном молоке кормящих матерей и в пуповинной крови новорожденных детей (Дударев и др., 2014; Цыганков, 2022; АМАР, 2004; Bravo et al., 2019, Long et al., 2015; Odland et al., 2003).

Подробно вышесказанные причины были изучены созданной Арктическим советом в 1991 г. рабочей группы «АМАР» (Программа арктического мониторинга и оценки) (АМАР, 1998). Одним из основных направлений работы АМАР является мониторинг и оценка состояния арктических территорий по вопросам загрязнения и распространения токсичных веществ, в том числе CO₂. Первые отчеты о результатах научных исследований CO₂ в Арктике были получены в 1998 году (АМАР, 1998). На сегодняшний день существует пять научных отчетов (за период 1998–2021 гг.), посвященных вопросам CO₂ в Арктике и оценке влияния на здоровье населения (АМАР, 1998; АМАР, 2004;

АМАР, 2009; АМАР, 2015; АМАР, 2018). Исследования в рамках АМАР проводились на территориях государств, входящих в Арктический совет, это: Канада, Дания (включая Гренландию), Финляндия, Исландия, Норвегия, Швеция, Россия и др. (АМАР, 1998). Объектами исследования являлись: воздух, вода, донные отложения, растения, рыба, птица, млекопитающие, человек (образцы крови детей, женщин и грудное молоко). Было установлено, что международные ограничения снизили уровень СОЗ в организме человека и пищевых цепях на большинстве наблюдаемых арктических территориях (Abass et al., 2018). Однако в некоторых когортах Исландии, Фарерских островов, Гренландии, Норвегии характерен тренд увеличения оксихлордана, ГХБ, 2,2',4,4',5,5'-гексабромдифенилового эфира (ПБДЭ153) и перфторированных соединений (ПФС) (Abass et al., 2018). Ученые подчёркивают (Abass et al., 2018; АМАР, 2018), что главным источником СОЗ в Арктическом регионе является трансграничный перенос посредством пищевых цепей.

Арктическая пищевая цепь для разных стран Арктики представлена различным перечнем живых организмов. Основным определяющим фактором, какие виды традиционного питания будут входить в рацион местных жителей, является место проживания – близ морского побережья. Так, например, для Гренландии, Исландии, Норвегии и др. стран важным звеном цепи являются морские млекопитающие (АМАР, 2004, Hjermitsev et al., 2019, Long et al., 2015), которые в большей степени накапливают СОЗ по сравнению с мигрирующими видами птиц и рыб (АМАР, 2004). В России только для жителей Чукотского АО морские млекопитающие являются важным продуктом традиционного питания (Dudarev et al., 2019 (P. 702)). На остальной территории Российской Арктики основным мигрирующим видам, входящим в рацион местного населения, значится рыба. В целом, несмотря на различные виды продуктов питания, входящих в рацион жителей Арктики, доля рыбы превышает другие виды, так как эти гидробионты ловят круглогодично, в отличие от дикой птицы и млекопитающих, которые добывают сезонно (АМАР, 2004; Petrenya et al., 2011). Можно сказать, что водные биологические объекты – рыбы, являются основным

источником СОЗ для человека в Арктике, вследствие доступности и частого потребления данного вида традиционного питания.

1.2 Биоаккумуляция стойких органических загрязнителей в живых организмах

1.2.1 СОЗ в водных биологических объектах: токсичность ПХБ и ХОП для рыб Арктики и Дальнего Востока

Водные биологические объекты – рыбы, являются важным продуктом питания местного населения Арктики. Примерно 30–35 % рациона жителей Севера составляет рыба: горбуша, арктический голец, навага, сиг, щука и др., хотя в среднем по другим регионам России, потребление водных биологических объектов составляет всего 26% (Petrenya et al., 2011).

Не секрет, что данные виды рыб являются важным источником белка, микроэлементов и жирных кислот. Кроме того, более жирные виды (сёмга, арктический голец, налим и др.) по сравнению с менее жирными (сиг, навага, корюшка и т. д.) способны накапливать большое количество СОЗ, ввиду низкой растворимости данных загрязнителей в воде и высокой растворимости в липидах. В итоге рыбы являются одним из источников поступления этих супертоксикантов в организм человека (Мурашко и др., 2011; Dudarev et al., 2019, P. 702; Petrenya et al., 2011) и окружающую среду.

Токсическое влияние ПХБ и ХОП на объекты ихтиофауны проявляется как в прямом токсическом действии – влияние на жизнедеятельность самого организма, так и в косвенном – в изменении экологических условий водоёма (снижение содержания растворенного в воде кислорода, постепенное загрязнение водоёма вследствие отмирания высших водных растений и нитчатых водорослей, появление нитритов, и т. п.). Конечно, особое внимание уделяется прямому токсическому действию. Содержащиеся в организме рыб ПХБ и ХОП, даже в малых концентрациях, способны оказывать мутагенное

действие, нарушение репродуктивной функции и функции печени, онкологические заболевания, способствуют замедлению роста, возникновению уродств в потомстве, и т. п. (Nimmi, 1983). Наиболее токсичными соединениями для ихтиофауны являются ДДТ, ГХЦГ, хлорданы, эльдрин, дильдрин, альдрин, метоксихлор и линдан (Васильков и др., 1989). Эти соединения оказывают влияние на эмбриональное развитие рыб, ухудшают качество потомства, снижают качество молодежи и подавляют воспроизводительные функции. Согласно методическим указаниям по диагностике отравлений рыб (Методические указания по отравлению рыб ...) ДДТ в концентрации 0,25 мг/л оказывает летальное действие на многие виды речных рыб через несколько дней. Форель и окунь погибают при концентрации ДДТ в 0,125 и даже 0,05 мг/л.

Самым популярным биологическим объектом токсикологических исследований, применяемым для оценки влияния ПХБ на организм рыб, является зебрафиш (*Danio rerio*). Например, воздействие ПХБ 126 на эмбрионы рыб *Danio rerio* показало снижение их выживаемости, нарушение развития сердца (Liu et al., 2016) и серьезные отклонения в развитии: отсутствие плавательного пузыря, деформация позвоночника, деформация и недоразвитость плавников (Liu et al., 2015). Воздействие смеси Арохлор-1254 (техническая смесь ПХБ) оказывает значительное влияние на зрительный аппарат рыб (Zhang et al., 2015). Из литературных данных известно Васильков и др., 1989, (Tsygankov, 2019), что СОЗ аккумулируются у рыб в большей степени в висцеральном жире, в пилорических придатках и печени, а жабры и мышечная ткань содержат меньше токсических веществ. Однако для человека мышцы рыб являются ценным продуктом питания, по сравнению с другими органами.

В Арктике вопросам изучения СОЗ водных биологических объектов посвящено не мало публикаций (АМАР, 2015 ; АМАР, 2016; Cabrerizo et al., 2018; Dudarev et al., 2019; Lakhmanov et al., 2020; Letcher et al., 2010; Muir et al., 2003, Petrenya et al., 2011). Так, например, в канадской Арктике (Cabrerizo et al., 2018) ученые изучали факторы климатических изменений, влияющие на содержание СОЗ в арктическом гольце (*Salvelinus alpinus*). Они установили, что в целом

уровень содержания ХОП и ПХБ в арктическом гольце имеет тенденцию к снижению, но при повышении арктических температур увеличивается и концентрация СОЗ в данном виде рыб. Другие ученые (Letcher et al., 2010) в своем обзоре показывают, что уровень Σ ПХБ в мышцах арктического гольца Шпицберген (Норвегия) по сравнению с данными восточной и северной Гренландии (Дания) (Vorkamp et al., 2004) выше в 300 раз. Такой уровень Σ ПХБ был связан с техногенным загрязнением в следствие затонувшей в 1989 году атомной подводной лодки Комсомолец в 180 км к юго-западу от острова Медвежий (Норвегия) (Skotvold et al., 1998). В международной литературе существует более 100 публикаций, посвященных мониторинговым работам по выявлению уровня СОЗ в арктической биоте. К сожалению, релевантные данные по арктическим территориям России отражены только в 4-х наиболее значимых работах (Дударев, 2015), АМАР, 2004, (Dudarev et al., 2019; Muir et al., 2003) по морским и пресноводным гидробионтам, что затрудняет оценку временных трендов СОЗ (АМАР, 2016; Rigét et al., 2019).

В России знания о накопленных уровнях СОЗ водными биологическими объектами в основном доступны в научных статьях, отчетах рыбопромысловых организаций, а также на сайте ФГБУ Национального центра безопасности продукции водного промысла и аквакультуры (Национальный центр безопасности ...). В большей степени изучены пресноводные и полуанадромные виды рыб АЗРФ и Дальнего Востока, используемые в питании местными жителями. В таблице 1 отражены основные научные исследования по оценке содержания СОЗ в видах рыб Российской Арктики и Дальнего Востока.

Таблица 1 – Среднее содержание основных ХОП и ПХБ в гидробионтах Арктики и Дальнего Востока, нг/г сырой массы

Вид рыбы	Год	Регион	Кол-во образцов, шт.	<i>p,p'</i> -ДДЕ	ΣДДТ	ΣПХБ	ГХБ	ΣГХЦГ	Источник
Семейство <i>Salmonidae</i>									
Горбуша (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>)	2013	Южно Охотское море	6	0,53	н/д ¹	н/д	н/д	2,95	(Tsygankov, 2019)
	2013	р-н Курильских островов	6	1,9	н/д	н/д	н/д	26,9	(Lukyanova et al., 2016; Tsygankov et al., 2017)
	2013	Охотское море, Берингово море	6	3,17	н/д	н/д	н/д	26,8	(Цыганков, 2016; Lukyanova et al., 2016)
Кета (<i>Oncorhynchus keta</i>)	2001	Чукотский АО	4	0,68	1,9	2,3	0,26	0,62	(АМАР, 2004)
	2013	Охотское море, Берингово море	6	4,7	н/д	н/д	н/д	35,7	(Tsygankov, 2019)
Нерка (<i>Oncorhynchus nerka</i>)	2010–2011	Берингово море, Охотское море	8	2,92	н/д	н/д	н/д	62,68	(Lukyanova et al., 2016; Tsygankov et al., 2019; Tsygankov et al., 2017)
	2013–2014	Берингово море	6	н/д	н/д	н/д	н/д	19,47	(Tsygankov et al., 2017)
Кумжа (<i>Salmo trutta</i>)	2013	Кольский п-ов	1	0,7	1,05	>2,5	0,23	н/д	(Дударев и др., 2015)
Сёмга (<i>Salmo salar</i>)	2013	Кольский п-ов	1	1,7	4,52	8,8	0,82	н/д	(Дударев и др., 2015)
Арктический Голец (<i>Salvelinus alpinus</i>)	2013	Кольский п-ов	5	0,55	1,6	>2,5	0,19	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2001	Чукотский АО	8	1,9	3,3	6,5	0,31	0,27	(АМАР, 2004)
Сиг (<i>Coregonus lavaretus</i>)	1997	Ненецкий АО	-	0,69	1,26	4,36	0,52	1,03	(Лукина, 2014)
	2001	Ненецкий АО	5	0,43	1,6	2,0	0,15	0,20	(АМАР, 2004)
	2008	Ненецкий АО	-	0,09	0,11	0,36	0,04	0,06	(Лукина, 2014)
	2000	Кольский п-ов	35	н/д	н/д	8,57	н/д	н/д	(Чашин, 2010)
	2001	Кольский п-ов	4	1,1	1,9	2,3	0,074	0,42	(АМАР, 2004)
	2013	Кольский п-ов	20	1,75	3,53	>2,5	0,14	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2001	п-ов Таймыр	10	0,73	2,35	3,1	0,22	0,031	(АМАР, 2004)
Ряпушка (<i>Coregonus sardinella</i>)	1997	Ненецкий АО	-	2,20	4,29	3,86	2,10	0,62	(Лукина, 2014)
Арктический омуль (<i>Coregonus autumnalis</i>)	2001	п-ов Таймыр	4	1,0	1,9	3,7	0,062	0,34	(АМАР, 2004)
Чир (<i>Coregonus nasus</i>)	2001	п-ов Таймыр	6	0,44	1,3	2,7	0,11	0,05-0,35	(АМАР, 2004)
	2001	Чукотский АО	2	0,31	0,72	1,4	0,075	0,26	(АМАР, 2004)
Нельма (<i>Stenodus leucichthys nelma</i>)	2001	Чукотский АО	2	0,38	1,0	1,4	0,094	0,05-0,47	(АМАР, 2004)
Семейство <i>Thymallidae</i>									
Хариус (<i>Thymallus sp.</i>)	2013	Кольский п-ов	1	0,25	0,9	2,35	0,26	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2001	Чукотский АО	2	1,8	4,2	2,1	0,16	0,22	(АМАР, 2004)

Продолжение таблицы 1

Вид рыбы	Год	Регион	Кол-во образцов, шт.	p,p' -ДДЕ	ΣДДТ	ΣПХБ	ГХБ	ΣГХЦГ	Источник
Семейство <i>Gadidae</i>									
Навага <i>Eleginus gracilis</i>)	1998–2000	Белое море	30	7,38	15,8	20,7	0,62	1,71	(Muir et al., 2003)
Атлантическая треска (<i>Gadus morhua morhua</i>)	1998–2000	Белое море	8	1,50	5,10	15,6	0,17	0,26	(Muir et al., 2003)
	2013	Кольский п-ов	1	0,3	0,9	1,3	0,13	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2017	Баренцево море	5	н/д	1,02	0,78	0,07	0,71	(Жилин и др., 2018)
Пикша (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>)	2017	Баренцево море	5	н/д	0,76	0,59	0,053	0,70	(Жилин и др., 2018)
Сайда (<i>Pollachius virens</i>)	2017	Баренцево море	5	н/д	2,14	1,8	0,10	1,24	(Жилин и др., 2018)
Налим (<i>Lota lota</i>)	2000	Кольский п-ов	5	н/д	н/д	3,16	н/д	н/д	(Чашин, 2010)
	2001	Кольский п-ов	4	0,34	0,07-0,26	3,7	0,04	0,18	(АМАР, 2004)
	2013	Кольский п-ов	5	1,55	3,65	1,8	0,19	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2001	п-ов Таймыр	10	<0,05-0,10	0,04-1,01	3,45	0,089	0,05-0,21	(АМАР, 2004)
Семейство <i>Pleuronectidae</i>									
Камбала желтоперая (<i>Limanda aspera</i>)	2001	Чукотский АО	2	0,19	0,41	2,5	0,11	0,42	(АМАР, 2004)
Черный палтус (<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>)	2017	Баренцево море	5	н/д	7,56	7,09	0,67	1,67	(Жилин и др., 2018)
Семейство <i>Clupea</i>									
Сельдь беломорская (<i>Clupea pallasi marisalbi</i>)	1998–2000	Белое море	30	8,14	21,3	17,7	2,36	3,40	(Muir et al., 2003)
Семейство <i>Osmeridae</i>									
Корюшка (<i>Osmerus eperlanus</i>)	1998–2000	Белое море	3	6,46	19,3	14,6	1,23	1,18	(Muir et al., 2003)
	2000	Кольский п-ов	17	н/д	н/д	5,43	н/д	н/д	(Чашин, 2010)
	2001	Чукотский АО	2	0,25	0,66	1,5	0,06	0,16	(АМАР, 2004)
Семейство <i>Esocidae</i>									
Щука (<i>Esox Lucius</i>)	2001	Кольский п-ов	4	0,39	0,38-1,2	1,4	0,079	0,20	(АМАР, 2004)
	2013	Кольский п-ов	20	0,55	0,95	2,58	0,08	н/д	(Дударев и др., 2015)
	2001	Чукотский АО	6	0-0,64	<0,05	2,3	0,072	0,05-0,22	(АМАР, 2004)
Семейство <i>Percidae</i>									
Окунь (<i>Perca fluviatilis</i>)	2001	Ненецкий АО	3	0,32	0,28	0,6-1,6	0,071	0,37	(АМАР, 2004)
	2013	Кольский п-ов	20	0,35	0,55	1,8	н/д	н/д	(Дударев и др., 2015)
Семейство <i>Cyprinidae</i>									
Язь (<i>Leuciscus idus</i>)	1997	Ненецкий АО	-	0,76	2,47	1,39	1,45	0,73	(Лукина, 2014)
	2001	Ненецкий АО	5	0,58	1,3	1,8	0,26	0,59	(АМАР, 2004)
	2008	Ненецкий АО	-	0,09	0,11	0,53	0,16	0,09	(Лукина, 2014)

¹ – нет данных.

Из всего многообразия водных биологических объектов ихтиофауны Арктики и Дальнего Востока в литературных данных изучались в основном представители семейств *Salmonidae*, *Thymallidae*, *Gadidae*, *Pleuronectidae*, *Clupea*, *Osmeridae*, *Esocidae*, *Percidae* и *Cyprinidae*, обитающих на разных территориях (см. таблицу 1). В доступных источниках результаты масштабных исследований на морских видах рыб (навага, корюшка и сельдь беломорская) появляются с 1998 года (Muir et al., 2003). После исследований, проведенных в 2017 году (Жилин и др., 2018) на арктических рыбах (атлантическая треска, пикша, сайда и черный палтус) данные по содержанию СОЗ в гидробионтах Арктики отсутствуют.

В статьях следующих авторов (Долгов и др., 2011; Лукина, 2014; АМАР, 2004; Muir et al., 2003) суммарное содержание Σ ПХБ в тканях рыб, употребляемых коренными малочисленными народами Севера (КМНС), варьирует от 0,36 до 20,7 нг/г сырой массы. Например, для сёмги, выловленной в 2013 году на Кольском п-ове данный показатель находится на уровне менее 9 нг/г сырой массы, а для наваги, выловленной в 1998 году в Белом море - 20,7 нг/г сырой массы.

Исследования, проводимые в 1998–2000 гг. (Muir et al., 2003) выявили, что наибольшее среднее суммарное содержание СОЗ (Σ ДДТ, Σ ПХБ, ГХБ, β -ГХЦГ) характерно для сельди беломорской, а наименьшее для атлантической трески, что составило 44,8 и 21,1 нг/г сырой массы соответственно. По данным мониторинговой программы АМАП в 2001 г. (АМАР, 2004) средние уровни содержания СОЗ в мышцах объектов ихтиофауны были ниже по сравнению с исследованиями 1998 г. (Muir et al., 2003). Однако при рассмотрении отдельных видов концентрация Σ ПХБ увеличивается в ряду нельма < корюшка < сиг < щука < кета < камбала (от 1,4 до 2,5 нг/г сырой массы), по Σ ДДТ – щука < камбала < корюшка < нельма < сиг < кета (от 0,05 до 2 нг/г сырой массы) (АМАР, 2004).

В 2013 году исследования по накоплению СОЗ в промысловых видах рыб, таких как сёмга, арктический голец, сиг, хариус, атлантическая треска, налим, щука и окунь проводились только на Кольском п-ове (Дударев и др., 2015). Из

всех исследованных видов рыб, сёмга содержит максимальный уровень Σ ДДТ и Σ ПХБ, что составило 4,52 и 8,80 нг/г сырой массы соответственно.

В исследовании 2017 года (Жилин и др., 2018) установлено, что уровень содержания основных СОЗ в рыбах Арктики был немного ниже по сравнению с исследованиями в 2013 г. на Кольском полуострове. Такое снижение можно проследить только для атлантической трески, где уровень содержания Σ ПХБ уменьшился от 1,3 до 0,78 нг/г сырой массы. Для пикши, сайды и черного палтуса данные были получены впервые.

На территории Арктики информация по тихоокеанским лососям (самый популярный представитель этой группы – горбуша) в литературе не представлена. Горбуша обитает в Баренцевом море с 1960-х годов и все чаще встречается в рационе жителей европейской части Российской Арктики (Sobolev et al., 2019). Кроме того, тихоокеанские лососи, как ценные виды традиционной и промысловой добычи, хорошо изучены на Дальнем Востоке России (Lukyanova et al., 2016; Tsygankov et al., 2017; Tsygankov, 2019). Суммарное содержание Σ ГХЦГ и *p,p'*-ДДЕ в мышцах горбуши варьирует от 3,48 до 30,1 нг/г сырой массы, нерки – от 2,92 до 62,7 нг/г сырой массы (Tsygankov, 2019).

К сожалению, ранее проводимые исследования в 1998–2017 гг. на арктических видах рыб не позволяют провести мониторинг временных трендов СОЗ в арктической биоте, так как научные исследования никак не стандартизированы (выборка образцов, перечень изучаемых видов объектов и соединений, аналитические методы анализа). Например, мониторинговые работы (Дударев и др., 2015; АМАР, 2004) проведенные на Кольском п-ове, в Ненецком АО и Чукотском АО затрагивают только ограниченный перечень объектов ихтиофауны, входящих в рацион питания местного населения Арктики. В работах (Жилин и др., 2018; Muir et al., 2003) представлены результаты в промысловых видах рыб, которые добывались на Медвежинско-Шпицбергенском промысловом районе, где жители Арктики не осуществляют традиционной добычи.

Несмотря на существенные различия в проведенных ранее исследованиях, в целом можно отметить, что уровень ПХБ и ХОП в арктической биоте АЗРФ за последние 18 лет уменьшился, что согласуется и с общемировым трендом (Rigét et al., 2019) и снижением большинства СОЗ в других средах (Hung et al., 2016). Однако темпы изменения уровня отдельных контаминантов в арктической биоте различны, например, для ГХБ и β -ГХЦГ сокращение уровня происходит довольно медленно, а в некоторых местах концентрация даже увеличивается (Rigét et al., 2019).

1.2.2 СОЗ в организмах жителей Арктики: накопление и токсический эффект

Распространение СОЗ в пищевых цепях является главным путем поступления этих контаминантов в организм человека. Поэтому независимо от возраста, пола, социально-экономического статуса и места проживания, эти токсические соединения обнаруживаются в крови или тканях.

Воздействие СОЗ на человека осуществляется через традиционное питание, которое является одним из основных источников экспозиции в Арктике (Dudarev et al., 2019 (Р. 702)). Проходя по пищевым цепям, пестициды и ПХБ могут попадать в организм человека. Биоаккумуляция СОЗ в этой цепочке оказывает серьезное влияние на здоровье и благополучие людей, проживающих в условиях Крайнего Севера и особенно на здоровье коренных народов (АМАР, 2004). Коренные народы Российской Арктики подвержены большему риску потенциально неблагоприятных последствий для здоровья (Abass et al., 2018; АМАР, 2018) по сравнению с жителями других районов. В литературе так же сообщалось что у жителей Арктики уровень СОЗ выше по сравнению с жителями промышленных районов (Rigét et al., 2019). Кроме того, влияние токсических соединений на организм человека может осуществляться путем вдыхания

окружающего воздуха, но такой путь считается незначительным по сравнению с потреблением пищи.

Многие ХОП и ПХБ являются высокотоксичными веществами и оказывают сильно выраженный эффект на здоровье населения (АМАР, 2016; Jurewicz et al., 2016; Mughal et al., 2018; Stockholm Convention, 2001). В зависимости от концентрации загрязняющих веществ, частоты воздействия и продолжительности контакта на организм человека, СОЗ оказывают различный токсикологический эффект. В таблице 2 представлены основные токсикологические эффекты от воздействия основных СОЗ на организм человека.

Таблица 2 – Токсическое действие на организм человека при воздействии основных СОЗ (Гелашвили и др., 2016)

Группа	Название	Токсикологическое действие
Пестициды	Производные ДДТ: <i>o,p'</i> -ДДЕ <i>p,p'</i> -ДДТ <i>o,p'</i> -ДДЕ	Воздействие на центральную нервную систему на рецепторы кожи мышц и т. д. Оказывает негативное воздействие на эмбрион, вызывает нарушение кровообращения, нарушение работы внутренних органов и головного мозга. Токсическая доза составляет 6–15 мг/кг. Смертельная доза – 70–85 мг/кг.
	ГХБ	Выраженное влияние на печень, центральную нервную и сердечно-сосудистую системы. Нарушает порфириновый обмен, обладает кумулятивным эффектом. Токсическая доза 0,0005–0,1 мг/л. ПДК составляет 0,9 мг/м ³ .
	γ -ГХЦГ (Линдан)	Оказывает влияние на нервную систему, поражает кроветворную систему (лейкемия и анемия), накапливается главным образом в жировой ткани. Вызывает индукцию ферментов печени, усиливающих метаболизм самого изомера и других соединений. Вызывает токсическое поражение сердечной мышцы и почек. Токсическая доза составляет 0,003 до 0,25 мг/м ³ .
	Производные Хлордана: Нонахлор-транс Нонахлор-цис	Сильнодействующее ядовитое вещество, поражает центральную нервную систему и внутренние органы, особенно печень и почки. Обладает кумуляцией в основном в жире. ПДК составляет 0,01 мг/м ³
	Гептахлор	Резкое негативное влияние на нервную систему. Токсикологическое действие на внутренние органы и систему. Всасывается через кожу, обладает высоко кумулятивными свойствами. ПДК составляет 0,01 мг/м ³ .
	Альдрин	Сильнодействующее ядовитое вещество. Поражает внутреннюю систему и внутренние органы (печень, почки). ПДК составляет 0,01 мг/м ³ .
	Мирекс	Негативное влияние на репродуктивную функцию живых организмов. Накапливается преимущественно в жировой ткани.
Полихлорбифенилы	ПХБ-28 ПХБ-52 ПХБ-101 ПХБ-123 ПХБ-118 ПХБ-153 ПХБ-105 ПХБ-138 ПХБ-183 ПХБ-128 ПХБ-180	Длительное накопление в жировой ткани. Оказывает подавляющий эффект на иммунную систему. ПХБ обладают сравнительно низкой острой токсичностью, но благодаря своим кумулятивным свойствам, накапливаются в печени, сначала приводя к ее увеличению, а затем и поражению. ПХБ частично проникают через плаценту и способны выделяться с материнским молоком.

Все соединения групп ХОП и ПХБ вызывают негативное воздействие на здоровье человека (Geissen et al., 2015; Golding et al., 2013; Marques-Pint et al., 2013). Например, заболевания печени и сердечно-сосудистой системы, поражение органов и тканей, эндокринные нарушения с последствиями для репродуктивной системы (World Health Organisation ...). СОЗ вызывают тератогенные эффекты (врожденные дефекты), нарушения развития нервной системы и субклиническую дисфункцию головного мозга. Во время раннего развития плода воздействие ПХБ и пестицидов может вызвать повреждение головного мозга в дозах, намного меньших, чем дозы, влияющие на функцию мозга взрослого человека (Jurewicz et al., 2016; Mughal et al., 2018). В ранее проведенных исследованиях были выявлены значительные связи между уровнем содержанием СОЗ и различными заболеваниями: гормонозависимым раком (Fiore et al., 2019; Gray et al., 2017; Mouly et al., 2016), диабетом 2 типа (Lee et al., 2014), сердечно-сосудистыми заболеваниями (Lind et al., 2019) и болезнью Альцгеймера (Yegambaram et al., 2015). Более того, ХОП и ПХБ также связаны с осложнениями беременности (Rosen et al., 2018), развитием плода и младенца (Zheng et al., 2016) и вторичным соотношением полов (Bae et al., 2018).

На протяжении последних десятилетий в Арктике ведется активный мониторинг традиционных СОЗ, но большая часть исследований сосредоточена на содержании СОЗ в биологических жидкостях как беременных, так и небеременных женщин репродуктивного возраста (Цыганков и др., 2020; АМАР, 2018; Bravo et al., 2019; Dudarev, 2009; Stockholm Convention, 2001; Varakina et al., 2021). Однако исследования из Гренландии и Канады представляют данные об уровне СОЗ в сыворотке крови женщин и мужчин (Deutch et al., 2003; Health Canada ..., 2010; Laird et al., 2013). Хотя за последние два десятилетия концентрация СОЗ в организме человека в большинстве районов Арктики снизилась, уровни оксихлордана, гексахлорбензола (ГХБ), 2,2',4,4',5,5'-гексабромдифениловый эфир (ПБДЭ 153) и фторированных соединений (ПФС) остаются стабильными (Abass et al., 2018).

Российская Федерация обладает суверенитетом над значительной частью территории Арктики, где проживает две трети арктического населения (Emelyanova, 2017), но информация о СОЗ в международной и российской рецензируемой литературе ограничена. На сегодняшний день существует недостаток знаний о СОЗ и связанных с ними рисках в России и в Российской Арктике в частности, что подчеркивается во многих международных отчетах, подготовленных в рамках Глобального плана мониторинга и инициативы АМАП (АМАР, 2016).

Наиболее значимые результаты проведенных мониторинговых научных исследований в Российской Арктике по оценке СОЗ в сыворотке крови человека представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Средняя геометрическая концентрация основных СОЗ в сыворотке крови жителей Арктики

Регион/Страна, год	Ед. изм.	ПХБ сумм 3 (118,138,153)		<i>p,p'</i> - ДДЕ		ГХБ		β-ГХЦГ		Источник
		ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	
Российская Арктика										
Кольский п-ов (2001)	мкг/л	2,55	н/д ¹	4,95	н/д	0,8	н/д	0,8	н/д	(АМАР, 2004)
Кольский п-ов (2013)	мкг/л	0,75	0,66	1,37	1,05	0,43	0,22	0,66	0,22	(Дударев и др., 2016)
Ненецкий АО (2001)	мкг/л	1,6	н/д	1,6	н/д	0,8	н/д	0,4	н/д	(АМАР, 2004)
Ненецкий АО (2001–2002)	мкг/л	2,12	1,84	0,57	1,46	1,09	0,88	0,92	0,19	(Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017)
Ненецкий АО (2002–2003)	нг/г липидов	192	н/д	246	н/д	135	н/д	н/д	н/д	(Rylander et al., 2011)
Ненецкий АО (2009–2010)	мкг/л	1,96	1,45	1,29	0,71	1,04	0,67	0,32	0,06	(Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017)
Ненецкий АО (2009–2010)	нг/г липидов	192	219	246	245	135	98	н/д	н/д	(Rylander et al., 2011)
Республика Коми, Ижма (2009-2010)	нг/г липидов	138	220	127	168	122	183	н/д	н/д	(Rylander et al., 2011)
Республика Коми, Усинск (2009–2010)	нг/г липидов	156	202	234	228	117	122	н/д	н/д	(Rylander et al., 2011)
Таймырский АО (2001)	мкг/л	2,3	н/д	2,6	н/д	1,0	н/д	1,0	н/д	(АМАР, 2004)
Чукотский АО (2001)	мкг/л	4,05	н/д	2,05	н/д	0,75	н/д	1,4	н/д	(АМАР, 2004)
Чукотский АО (2001–2002)	нг/г липидов	н/д	н/д	308	н/д	24,5	н/д	3,8	н/д	(Eik Andav et al., 2007)

Продолжение таблицы 3

Регион/Страна, год	Ед. изм.	ПХБ сумм 3 (118,138,153)		<i>p,p'</i> - ДДЕ		ГХБ		β -ГХЦГ		Источник
		ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	
Чукотский АО (2001–2002)	мкг/л	2,10	6,56	1,96	2,21	0,29	2,53	0,75	2,61	(Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017)
Чукотский АО (2009–2010)	мкг/л	3,63	5,49	1,25	1,28	1,91	2,91	1,80	3,60	(Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017)
Чукотский АО (2014–2015)	мкг/л	0,51	н/д	0,96	н/д	0,28	н/д	0,31	н/д	(Bravo et al., 2019)
Арктика										
Канада (2007–2009)	мкг/л	4,5	4,73	3,22	3,59	н/д	н/д	н/д	н/д	(Laird et al., 2013)
Канада (2007–2009)	мкг/л	0,23	0,22	1,03	0,81	0,06	0,05	0,04	0,03	(Health Canada..., 2010)
Гренландия (2010–2013)	нг/г липидов	95,8	н/д	130	н/д	24,5	н/д	3,8	н/д	(Long et al., 2015)
Гренландия (2010–2015)	нг/г липидов	87,4	н/д	120	н/д	152	н/д	37,8	н/д	(Hjermitslev et al., 2019)
Гренландия (1999–2005)	нг/г липидов	1994	2981	н/д	н/д	152	284	37,8	55,4	(Deutch et al., 2007)
¹ – нет данных.										

В отчете 2004 (АМАР, 2004) представлены первые результаты проведения научных исследований в Российской Арктике. Изученными районами являлись: Мурманская область (район Ловозеро), Ненецкий АО (пос. Нельмин-Нос), Красноярский край (ранее Таймырский АО) (район р. Дудинки, р. Хатанга) и Чукотский АО (пос. Канчалан, пос. Лаврентия, пос. Уэлен). Было установлено, что средние значения Σ ПХБ в сыворотке крови у КМНС Российской Арктики ниже, чем в других странах, хотя в отдельных поселках Чукотского и Таймырского АО выявлены высокие концентрации этой группы токсичных веществ (до 8–12 мкг/л) (АМАР, 2004). Максимальная концентрация β -ГХЦГ была обнаружена у женщин Чукотского АО, *p,p'*- ДДЕ – у женщин Кольского п-ова, а ГХБ у жительниц п-ова Таймыр (АМАР, 2004) (см. таблицу 2). Такое различие исследователи связывают с разнообразием традиционного питания, использования в быту химических препаратов для защиты от насекомых и грызунов и различные способы приготовления пищи (АМАР, 2004). Однако данные исследования включали только женщин и мониторинговые работы

проводились на ограниченных территориях АЗРФ, например, в Ненецком АО из 18 сельских поселений был рассмотрен только пос. Нельмин-Нос; в Чукотском АО из 38 сельских поселений – пос. Лаврентия, пос. Уэлен, пос. Канчалан (Всероссийская перепись населения, 2010; АМАР, 2004). Поэтому проведенные мониторинговые работы на ограниченных территориях со скудными выборками отражают ситуацию фрагментарно и не могут в полной мере характеризовать Российскую Арктику, но они показывают начальный уровень этих токсикантов, характерный для определенных территорий.

В других исследованиях (Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017; Rylander et al., 2011) уровни СОЗ определены для мужчин и для женщин, проживающих на территории Ненецкого и Чукотского АО. Так же, как и в АМАП (АМАР, 2004) данные регионы изучались только в ограниченном перечне поселений. В работе (Хурцилава и др., 2017) Ненецкий АО представлен жителями пос. Нельмин-Нос и пос. Индига, в то время как Чукотский АО – пос. Уэлен и пос. Канчалан. Несмотря на ограниченность территорий исследований, данная исследовательская работа позволяет оценить уровень СОЗ в сыворотке крови местного населения в период с 2001 по 2010 гг. Было выявлено существенное статистически значимое снижение содержания *p,p'*-ДДЕ для мужчин Ненецкого АО. По остальным исследовательским группам концентрация СОЗ изменилась незначительно. Кроме того, учеными было установлено, что за 10 лет (в период с 2001 по 2010 гг.) наблюдается некоторое уменьшение уровня СОЗ, но возрастает уровень заболеваний, связанный с вредным воздействием этих токсикантов (Хурцилава и др., 2017). Данный вывод исследователи объясняют длительным периодом полувыведения многих СОЗ и недостаточным объемом мониторинговых исследований. Ввиду отсутствия данных по трансграничным переносам ПХБ и ХОП, связанных с мигрирующими промысловыми видами (дикие птицы, рыбы и морские животных), являющимися основными продуктами питания в традиционной жизни коренных народов Севера, как и в Ненецком АО, на Чукотке отмечена тенденция к снижению концентраций оксихлордана, *p,p'*-ДДТ, *p,p'*-ДДЕ, ГХБ, β -ГХЦГ, мирекса и

Σ ПХБ в образцах материнской крови (Dudarev et al., 2010). К сожалению, данных для оценки трендов на других территориях АЗРФ недостаточно.

Например, для жителей Чукотского АО, за последние 17 лет уровень содержания СОЗ в сыворотке крови снизился, о чем свидетельствуют последние мониторинговые исследования на этой территории (Bravo et al., 2019). К сожалению, в литературе отсутствуют доступные данные по другим регионам АЗРФ за последние 5 лет. Соответственно, для оценки влияния СОЗ на человека требуется проведение дальнейших исследований в других частях Российской Арктики для получения актуальной информации о СОЗ на Крайнем Севере.

1.2 Нормирование содержания СОЗ в местных продуктах питания и сыворотке крови человека в Арктике

Нормирование СОЗ в местных продуктах питания, таких как рыба, в Российской Федерации регламентируется СанПиН 2.3.2.1078-01 (СанПиН 2.3.2.1078-01), Техническим регламентом Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) и Техническим регламентом Евразийского экономического союза 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016).

В данных документах из всего перечня традиционных СОЗ для рыбной продукции установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) только для Σ ГХЦГ (α -, β -, γ -), Σ ДДТ (метаболиты ДДД и ДДЕ) и ПХБ, без расшифровки на отдельные соединения, в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Допустимые уровни содержания Σ ГХЦГ и Σ ДДТ для Российской Федерации в рыбной продукции (СанПиН 2.3.2.1078-01; 53; ТР ЕАЭС 040/2016; ТР ТС 021/201)

Объект	Σ ГХЦГ, нг/г сырой массы		Σ ДДТ, нг/г сырой массы		ПХБ, нг/г сырой массы	
	СанПиН	ТР ТС 021/ ТР ЕАЭС 040/2016	СанПиН	ТР ТС 021/ ТР ЕАЭС 040/2016	СанПиН	ТР ТС 021/ ТР ЕАЭС 040/2016
Пресноводная рыба	30	30	300	300	2000	2000
Морская рыба и мясо морских млекопитающих	200	200	200	200		
Осетровые, лососевые, сельдь жирная	н/д ¹	н/д	2000	2000		

¹-данные в нормативных документах не представлены.

Безопасный уровень Σ ГХЦГ и Σ ДДТ в рыбах различного экологического статуса варьирует от 30 до 300 нг/г сырой массы. Однако для лососевых видов рыб, которые являются ценным видом в Арктике, концентрация Σ ДДТ не должна превышать 2000 нг/г сырой массы. Такой же уровень установлен для ПХБ и применяется для всех видов рыб. По сравнению с другими странами в Российской Федерации в среднем допустимые уровни этих соединений в рыбной продукции являются низкими, как отражено на рисунке 3.

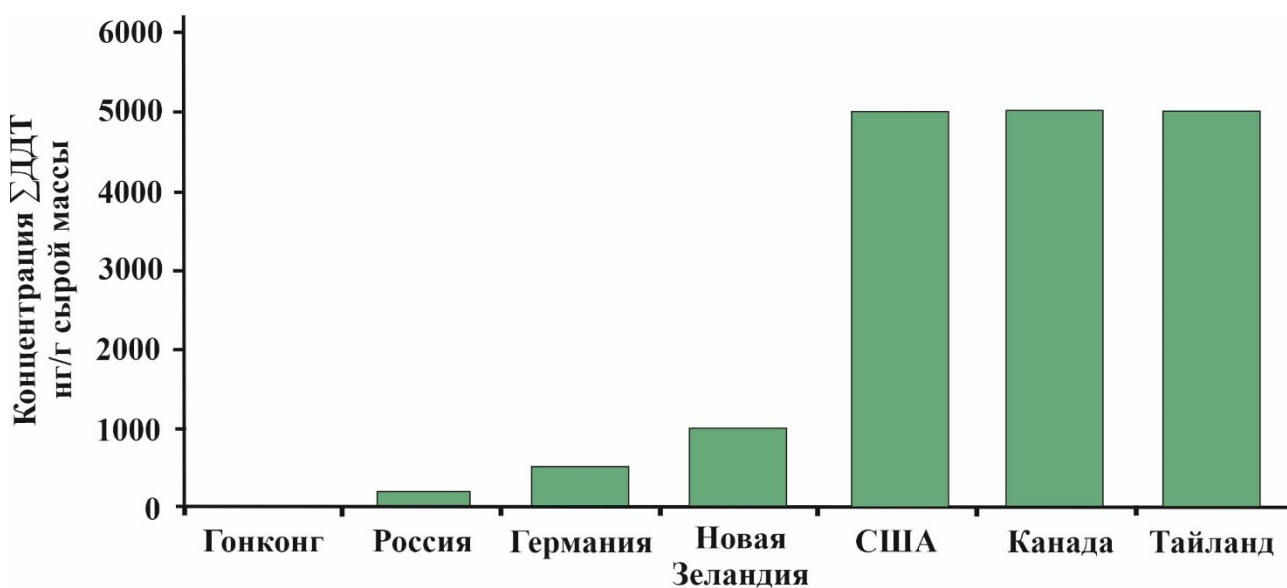


Рисунок 3 – Допустимые уровни Σ ДДТ в рыбной продукции различных стран, в нг/г сырой массы (Tsygankov, 2019)

Однако установленный уровень Σ ДДТ в рыбной продукции Российской Федерации в 2,0 раза выше по сравнению с утвержденными концентрациями Европейского Союза (100 нг/г сырой массы) (Daba et al., 2011), но в 2,5 раза ниже относительно уровней установленных Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и продовольственной сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (200 нг/г сырой массы) (Ogwok et al, 2009). Все установленные нормативы характерны для той продукции, которая попадает на продовольственный рынок, но качество местных пресноводных и морских морепродуктов в рационе коренных народов не контролируется государством. Потребляемые мигрирующие виды рыб также не подлежат государственному экологическому контролю (Sorokina, 2019).

Уровень допустимого содержания СОЗ в сыворотке крови человека на законодательном уровне Российской Федерации не закреплен, однако нормативные значения утверждены ВОЗ, есть такие показатели и в Канаде (Odland et al., 2003). Согласно доступным данным (Odland et al., 2003), уровень Σ ДДТ в сыворотке крови/плазме человека не должен превышать 200 мкг/л. По содержанию ПХБ выделяют уровни воздействия, для женщин: <5 – допустимо; 5–100 – беспокойство; >100-воздействие; для мужчин: <20 – допустимо; 20–100 – беспокойство; >100-воздействие. Несмотря на такие высокие установленные нормативные значения по СОЗ в рыбной продукции и сыворотке крови человека риск для здоровья человека возникает и при низких концентрациях этих контаминантов (Цыганков, 2022; Donets et al., 2022). Поэтому ориентироваться на допустимый уровень СОЗ в нормативных актах не совсем корректно.

Более актуальный уровень СОЗ в арктической биоте представлен в результатах мониторинговых исследований (АМАР, 2004; АМАР, 2016; АМАР, 2018). Стокгольмская конвенция обязала государства на территории Арктики поощрять и осуществлять как на национальном, так и на международном уровне соответствующие исследования, мониторинг и сотрудничество (Sorokina, 2019). В арктических государствах, например Норвегии и Гренландии мониторинг СОЗ

в объектах окружающей среды утвержден на законодательном уровне (Hjermitslev et al., 2019; Long et al., 2021; Xu et al., 2022).

В настоящее время существующие в Российской Федерации и в мире в целом системы мониторинга загрязнений окружающей природной среды основаны преимущественно на количественных измерениях содержания вредных веществ в ограниченном перечне объектов (атмосферный воздух, вода, почва). Хотя научные исследования в области изучения СОЗ в биоте Россия проводит уже с 2001 года (Sorokina, 2019). Основными исследователями являются Дударев А.А., Чащин В.П., Мурашко О.А. и др. В своих работах (Дударев и др., 2015; Мурашко и др., 2011; Чащин и др., 2017) они рассматривают и оценивают риск влияния СОЗ на человека при потреблении традиционной пищи. Поступление в организм опасных для здоровья населения загрязняющих веществ, среди которых наибольшей токсичностью обладают жирорастворимые соединения, осуществляется в основном биологическими путями, за счет миграции промысловых птиц, рыб и морских млекопитающих, которые являются их основными резервуарами и переносчиками (АМАР, 2004; Olatunji, 2019). Полученные данные в проведенных ранее исследованиях не в полной мере отражают фактическую интенсивность вредного воздействия СОЗ на живые организмы и в первую очередь на человека.

Таким образом, актуальность мониторинговых исследований по уровню содержания СОЗ в биоте Российской Арктики и оценки влияния пищевой цепи подтверждается отсутствием данных за последние 5 лет, с учетом изменяющегося климата и антропогенной нагрузки на уязвимую Арктику. Поэтому, ввиду недостаточности данных по СОЗ исследования необходимо проводить на всех территориях АЗРФ с учетом количества поселений в исследуемом регионе/районе, более точного перечня изучаемых видов продуктов традиционного питания, в статистически значимой выборке образцов, и оценки путей поступления данных контаминантов в конкретной исследовательской группе, для более точной интерпретации результатов.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биомониторинговые исследования проводили в период с 2017–2021 года в семи сельских населенных пунктах Ненецкого АО, а именно Бугрино, Варнек, Амдерма, Индига, Шойна, Нельмин-Нос, Красное. Сотрудниками ГБУЗ НАО «Центральная районная поликлиника Заполярного района Ненецкого автономного округа» совместно с лабораторией арктического биомониторинга САФУ были проинформированы и приглашены к участию все взрослые жители (старше 18 лет) вышеуказанных населенных пунктов. После ознакомления со всеми аспектами исследования, от заинтересованных лиц были получены добровольные согласия на участие в биомониторинговых исследованиях и разрешения на обработку персональных данных. Протокол исследования был одобрен Комитетом по этике Северного государственного медицинского университета (выписка из протокола заседания Комитета по этике ГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» № 06/09-17 от 27.09.2017). Этапы работы:

- 1) характеристика района исследования;
- 2) анкетирование участников исследования,
- 3) характеристика и отбор объектов исследования;
- 4) подготовка образцов к количественному химическому анализу;
- 5) анализ анатомо-морфологических характеристик биологических образцов рыб, содержания в мышцах рыб и сыворотке крови человека стойких органических загрязнителей и липидов;
- 6) статистическая обработка полученных данных.

2.1 Характеристика района исследования

Ненецкий АО является субъектом Российской Федерации, расположен на северо-востоке европейской части России. Ненецкий АО единственный регион

России, большая часть которого расположена за полярным кругом, вся его территория входит в состав АЗРФ (О сухопутных территориях ..., 2020).

Округ граничит на юго-западе с Мезенским районом Архангельской области, на юге и юго-востоке — с Республикой Коми, на северо-востоке — с Ямало-Ненецким автономным округом. Площадь округа составляет 176,810 тыс. км². На севере и северо-западе округ омывается морями Северного Ледовитого океана: Карским, Баренцевым и Белым. Самая крупная река региона – Печора. Помимо материковой части, в состав Ненецкого АО входят два крупных острова – Колгуев и Вайгач и ряд мелких островов, как представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Географическое расположение Ненецкого автономного округа

Климат Ненецкого АО субарктический, с продолжительными и холодными зимами, коротким и влажным летом, сильным ветром и частой сменой погоды. Большая часть территории Ненецкого АО расположена в тундре и характеризуется заболоченностью низменностей в условиях сурового климата, присутствует многолетняя мерзлота.

В административно-территориальном отношении Ненецкий АО состоит из города окружного значения – Нарьян-Мара и района – Заполярный, разделенного

на районный центр – рабочий поселок Искателей и 18 сельских поселений. Численность населения на 2018 год составила 44 913 чел., сельского населения – 11 991 чел. (на 2021 – 44 404 чел., из них сельского населения – 11 415 чел.) (Итоги всероссийской переписи населения ..., 2010). Ненецкий АО это один из лидирующих по численности регионов, где проживают КМНС – ненцы (Лукин, 2013). Согласно переписи населения 2021 года, в Ненецком АО проживает 7504 ненца, что составляет 5,93 % населения округа и 6,04 % всех ненцев, проживающих на территории Российской Федерации (Всероссийская перепись населения, 2010).

Жители Ненецкого АО активно развивают традиционное хозяйство – оленеводство, рыболовство и охоту. Промысловыми видами являются северный олень, сёмга, голец, сиг, пелядь, омуль, ряпушка, корюшка, сельдь, навага камбала и другие (Об утверждении правил рыболовства ..., 2021).

Основная доля белка в рационе местного населения, в том числе КМНС, приходится в основном на мясо оленя и рыбу (Dudarev et al., 2019, P. 702). Потребление данных видов продукции варьирует в зависимости от местоположения и индивидуальных предпочтений населения. Например, продукция из оленя (мясо, язык, печень и т. д.) используется в пищу в основном с поздней осени по весну, а рыба все сезонно. Доля потребления рыбы, согласно исследованиям Мурашко О.А. Мурашко и др., 2011) проводимых в 2007–2009 гг. на островных и материковых территориях Ненецкого АО составляет более 60 %, со среднелюдовым значением потребления более 180 кг в год.

Кроме традиционного промысла, регион богат полезными ископаемыми, такими как: нефть, газ, конденсат. В округе учтено 96 месторождений: 83 нефтяных, 6 нефтегазоконденсатных, 1 газонефтяное, 5 газоконденсатных и 1 газовое месторождение (Государственный баланс ..., 2020).

2.2 Анкетирование участников исследования

Анкетирование населения проводили с целью выявления предпочитаемых видов традиционной продукции, потребляемой населением с выявлением наиболее популярных видов рыб. Анкета состояла из трех блоков: Блок А – общие сведения (ФИО, место проживания, антропометрические показатели (вес, рост, возраст и т.д.), гендерная и национальная принадлежность); Блок Б – образ жизни (вопросы по потреблению местных, традиционных и привозных продуктов питания, ведения традиционного образа жизни (охота, рыбалка и т.д.) и наличию вредных привычек); Блок В – история болезни (перечень диагностированных хронических заболеваний), согласно приложению А. Частота потребления продуктов питания оценивалась шкалой от 1 до 4, где 1 – не потребляют, 2 – ежедневно или несколько раз в неделю, 3 – 2–3 раза в месяц, 4 – 1 раз в месяц или реже, что соответствует количеству приемов пищи: 19, 3, 1. Данный показатель пересчитывали на суточное потребление (г/сут) каждого вида продукции, с учетом средней порции рыбы равной 150 г сырой массы, согласно утвержденным нормативам (Об утверждении рекомендаций ..., 2020).

2.3 Характеристика и отбор объектов исследования

Данные исследования проводили в период с 2017 по 2021 годы на базе Лаборатории арктического биомониторинга САФУ и Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» САФУ. На рисунке 5 представлена карта Ненецкого АО с объектами исследования, которые были отобраны в семи сельских поселениях Ненецкого АО (Бугрино, Варнек, Шойна, Амдерма, Индига, Нельмин-Нос, Красное). Данные поселки расположены на островных и прибрежных территориях Белого, Баренцева и Карского морей, а также реки Печоры, входящих в состав Ненецкого АО. Отбор объектов исследования осуществляли в рамках экспедиций, организованных

Лабораторией арктического биомониторинга САФУ в период с 2017 по 2020 годы.



Рисунок 5 – Карта Ненецкого автономного округа с местами отбора объектов исследования

2.3.1 Характеристика и отбор образцов рыбы







Образцы гидробионтов Ненецкого АО отбирались в период с мая 2017 по июль 2019 года. После отлова объектов ихтиофауны традиционным способом, совместно с местным населением осуществляли отбор образцов согласно ГОСТ 7631–2008, ГОСТ 31339–2006. После отлова образцов рыб осуществляли фотофиксацию. Каждый образец упаковывали в стерильную пищевую пленку, маркировали и замораживали при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для дальнейшей транспортировки в лабораторию, в соответствии с ГОСТ 32366–2013.

У каждого образца рыбы была определена видовая идентификация в соответствии с определителями (Долгов и др., 2018; Долгов и др., 2011; Решетников и др., 2002). Совместно с лабораторией САФУ «Научно-образовательная лаборатория молекулярной экологии и филогенетики научно-


исследовательского управления» генетическими методами (Новоселов и др., 2019) при возникновении спорных вопросов был определен вид некоторых особей. Кроме того, у каждой особи были определены следующие характеристики: пол (ГОСТ 7631), вес (ГОСТ 1368), длина по Смиуту (ГОСТ 1368; Зиновьев и др., 2003), возраст (Howland et al., 2004), влажность и общее содержание липидов (ГОСТ 26829; Tsygankov et al., 2015).

В рамках исследования использовали мышечную ткань тех гидробионтов (таблица 5), которые, согласно опросу населения, наиболее часто присутствуют в рационе питания жителей Ненецкого АО (Sobolev et al., 2019). Было исследовано 8 видов водных биоресурсов (90 образцов). Всего было определено у всех образцов рыб 3060 показателей.

Таблица 5 – Перечень исследуемых гидробионтов

Вид объекта исследования	N	Дата отбора	Место отбора (координаты)	Экологический статус	Изображение
Атлантический лосось (сёмга) <i>Salmo salar</i> (Linnaeus, 1758)	5	Июнь 2018	67.6535 с.ш. 49.0316 в.д.	анадромная	
	2	Сентябрь 2021	68.0275 с.ш. 54.0077 в.д.		
Арктический голец <i>Salvelinus alpinus</i> (Linnaeus, 1758)	10	Июнь 2018	67.7082 с.ш. 48.7518 в.д.	анадромная	
	5		68.7521 с.ш. 49.5013 в.д.		
Горбуша <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792)	13	Июнь 2018	67.6533 с.ш. 49.0316 в.д.	анадромная	
Навага <i>Eleginus nawaga</i> (Walbaum, 1792)	10	Март 2018	67.6481 с.ш. 48.9976 в.д.	морская	
Сиг <i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)	11	Июнь 2018	67.7082 с.ш. 48.7518 в.д.	полуанадромная	
Щука <i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758)	8	Апрель 2019	67.9659 с.ш. 53.6297 в.д.	пресноводная	

Продолжение таблицы 5

Вид объекта исследования	N	Дата отбора	Место отбора (координаты)	Экологический статус	Изображение
Азиатская корюшка <i>Osmerus dentex Steindachner et Kner</i> (Kner, 1870)	15	Март 2019	67.7412 с.ш. 48.7235 в.д.	анадромная	
Сельдь <i>Clupea sp.</i> (Linnaeus, 1758)	11	Июнь 2018	67.6535 с.ш. 49.0316 в.д.	морская	

2.3.2 Характеристика и отбор проб крови

Отбор проб биологических образцов (цельной крови) осуществляли совместно с сотрудниками ГБУЗ НАО «Центральная районная поликлиника Заполярного района Ненецкого автономного округа» в фельдшерских-акушерских пунктах семи поселков Ненецкого АО (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристика отобранных биологических образцов цельной крови жителей Ненецкого АО

Место отбора	Дата отбора	Количество образцов
Островная часть Ненецкого АО		
пос. Варнек (69.7301 с.ш. 60.0636 в.д.)	2018	17 (из них 6 мужчин, 11 женщин)
пос. Бугрино (68.8079 с.ш. 49.3042 в.д.)	2018	38 (из них 13 мужчин, 25 женщин)
Побережье Белого моря		
пос. Шойна (67.8666 с.ш. 44.1334 в.д.)	2018	48 (из них 11 мужчин, 32 женщины)
Побережье Баренцева моря		
пос. Индига (67.6898 с.ш. 49.0166 в.д.)	2018	50 (из них 15 мужчин, 35 женщин)
Побережье Карского моря		
пос. Амдерма (69.7630 с.ш. 61.6677 в.д.)	2018	50 (из них 17 мужчин, 33 женщины)
Район реки Печоры		
пос. Красное (67.8358 с.ш., 53.6292 в.д.)	2018	50 (из них 8 мужчин, 41 женщины)
пос. Нельмин-Нос (67.9819 с.ш. 52.9557 в.д.)	2018	50 (из них 22 мужчин, 28 женщин)

Материалом для исследования послужила сыворотка венозной крови, которая была получена путем центрифугирования цельной крови в вакутейнерах объемом 9 мл с ЭДТА К2 (Improvacuter, Китай). Всего было получено 297 образцов. Так же у каждого образца было определено общее содержание холестерина и триглицеридов ферментативным методом на приборе Random Access A-15 (Biosystem, Италия) (Назаренко, и др., 2006), рассчитано общее содержание липидов, согласно формуле (1) (Bernert et al, 2007; Kim et al., 2015):

$$\sum \text{Липиды} = 2,27 * \sum \text{Холестерин} + \sum \text{Триглицериды} + 62,3, \quad (1)$$

где,

\sum Липиды – общее содержание липидов, мг/дЛ;

\sum Холестерин – общее содержание холестерина, мг/ дЛ;

\sum Триглицериды – общее содержание триглицеридов, мг/ дЛ;

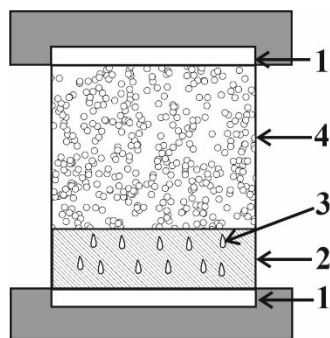
62,3 – коэффициент.

Всего было исследовано 8910 показателей сыворотки крови.

2.4 Методики пробоподготовки объектов исследования

2.4.1 Методика пробоподготовки мышц рыб

Навеску образца мышечной ткани рыб (10 г) предварительно гомогенизировали в лабораторном миксере MICRSOTRON MB 550 (Kinematica, Швейцария), затем замораживали в низкотемпературном морозильнике Innova U101 -86 °С (Eppendorf, Германия) и высушивали до лиофильного состояния на приборе FreeZone 2.5L -50 °С (Labconco, США). Порцию лиофильно высушенной рыбы массой 1 грамм помещали в экстракционные ячейки ASE 350 (Thermo Scientific, Dionex, США) объемом 10 мл, заполненную согласно рисунку 6.



Заполнение ячейки Ase:

1. фильтр бумажный

2. проба рыбы 1 г

3. 20 мкл внутреннего стандарта

(смесь изотопомеченных пестицидов:

ПХБ101 ¹³C₁₂, 2,4,5,6-тетрахлор-м-ксилол,

4,4'-дибромоктафторбифенил,

4,4'-дибромобифенил и 2,3,5,6-тетрабром-пара-ксилол (ТБК))

4. 10 г Na₂SO₄ безводный

Рисунок 6 – Схема заполнения экстракционной ячейки

Заполненные ячейки помещали в автоматический экстрактор ASE 350 и экстрагировали в смеси гексан-ацетон (1:1), согласно условиям программы, приведенной в МУ 245/5 (Методические указания..., 2011). После экстракции содержимое приемных колб выпаривали до 1 мл и количественно переносили в полипропиленовые пробирки (ПП) на 15 мл (Sarstedt, Германия) двумя объемами гексана по 5 мл. Полученный гексановый экстракт очищали добавлением 1 мл концентрированной серной кислоты (H₂SO₄!), встряхивали в течение 30 сек. и центрифугировали при комнатной температуре 5 мин при 2500 об/мин. После разделения верхний гексановый слой очищали в заранее подготовленных колонках. Стеклянные колонки (Ø 10 мм) готовили следующим образом: на дно колонки помещали небольшой тампон из стекловаты, затем добавляли флорисил (MgSiO₃) и силикагель в соотношении (4:1), но не выше 5 см в высоту. Активировали адсорбенты 20 мл гексана. Остатки стойких органических загрязнителей в колонке смывали 20 мл 6 % раствора диэтилового эфира в гексане. Полученный очищенный экстракт упаривали при температуре 36 °С в токе азота до суха на автоматической многоканальной системе концентрирования MultiVar 10 LV-MT10200 (Labtech, Китай), растворяли в 50 мкл ацетона и переносили с помощью дозатора в микровиалу объемом 100 мкл.

2.4.2 Методика пробоподготовки сыворотки крови

Перед экстракцией образцы сыворотки размораживали при температуре окружающей среды. Порцию сыворотки крови объемом 2 мл количественно помещали в пластиковую центрифужную пробирку на 15 мл и добавляли 20 мкл смеси внутренних стандартов (2,4,5,6-тетрахлор-*m*-ксилол, 4,4'-дибромоктафторбифенил, 2,3,5,6-тетрабром-пара-ксилол (ТБК), 4,4'-дибромобифенил ПХБ#101 $^{13}\text{C}_{12}$). Содержимое пробирки экстрагировали путем добавления 3 мл *n*-гексана и 3 мл H_2SO_4 !. Полученную суспензию интенсивно встряхивали в течение 30 сек и затем смесь центрифугировали при 1500 об/мин в течение 10 минут на приборе BioSan LMC-3000. После разделения смеси верхний гексановый слой количественно переносили в другую центрифужную пробирку на 15 мл. Затем к остатку биологического материала добавляли 2 мл *n*-гексана, встряхивали и центрифугировали при 1500 об/мин в течение 10 минут. Данную процедуру повторяли дважды. К полученному объему супернатанта, который составил 7 мл, добавляли 2 мл H_2SO_4 !, встряхивали и центрифугировали, как описано выше. Затем верхний слой жидкости переносили для очистки на колонках с флорисилом и силикагелем. Стеклянные колонки (\varnothing 10 мм) готовили точно так же, как при пробоподготовке мышц рыб. Полученный очищенный экстракт упаривали до 50 мкл в сердцевидных колбах на 15 мл при температуре 53 °С в вакуумном роторном испарителе. Затем образец с помощью дозатора количественно переносили в микровиалы на 1 мл двумя порциями ацетона по 50 мкл.

2.5 Методика определения стойких органических загрязнителей в мышцах рыб и сыворотке крови

Определение ПХБ: 28, 52, 101, 105, 118, 123, 128, 153, 180, 183; α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, *p,p'*-дихлордифенилтрихлор-метилметана (*p,p'*-ДДД),

o,p'-дихлордифенилтрихлорметилметана (*o,p'*-ДДД), *o,p'*-дихлордифенил-дихлорэтилена (*o,p'*-ДДЕ), *p,p'*-дихлордифенил-дихлорэтилена (*p,p'*-ДДЕ), (ГХБ), цис-нонахлора, транс-нонахлора, цис-хлордана, транс-хлордана, мирекса, альдрина, 1,2,3,5-тетрахлорбензола (1,2,3,5-ТХБ), 1,2,4,5-тетрахлорбензола (1,2,4,5-ТХБ) и β-гептахлорэпоксида в исследуемых образцах осуществляли методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Выбор конгенов оправдан их присутствием в Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях (Stockholm Convention, 2001). Количественный анализ проводили на газовом хроматографе Agilent 7890А оснащённом тройной квадрупольной системой MS/MS Agilent серии 7000 (США). Для разделения аналитов использовали ультраинертную колонку Agilent (HP-5MS UI, 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) соединённой с колонкой Restek Guard (Rtx-5M). Температура инжектора – 250 °С, колонки – 70–310 °С, детектора – 270 °С. Газ-носитель – гелий, газ столкновения – азот, давление на входе – (18 psi), в режиме сплитлс, скорость потока газа-носителя через колонку – 1 мл/мин. Сбор и обработка данных выполнялись с помощью Agilent MassHunter QQQ Quantitative (Lahmanov D. , Varakina Yu, 2019; Lakhmanov et al., 2020).

Приготовление стандартных растворов.

Для приготовления стандартных растворов СОЗ использовали зарубежные стандарты исследуемых аналитов производства Sigma-Aldrich (Штайнхайм, Германия) с установленными метрологическими характеристиками – содержание основного вещества 98–99 %. Для постановки метода были построены шесть матричных калибровочных кривых с концентрациями СОЗ: 0, 2, 5, 10, 20 и 50 нг/г. Матричный образец мышц рыб готовили путем смешивания равных порций лиофильно высушенных проб различных видов рыб. Матричную сыворотку крови получали так же путем смешивания равных частей разной сыворотки крови.

Хромато-масс-спектрометр калибровали по стандартным растворам СОЗ и матричным образцам. Хроматограмма растворов стандартов основных исследуемых соединений представлена на рисунке 7.

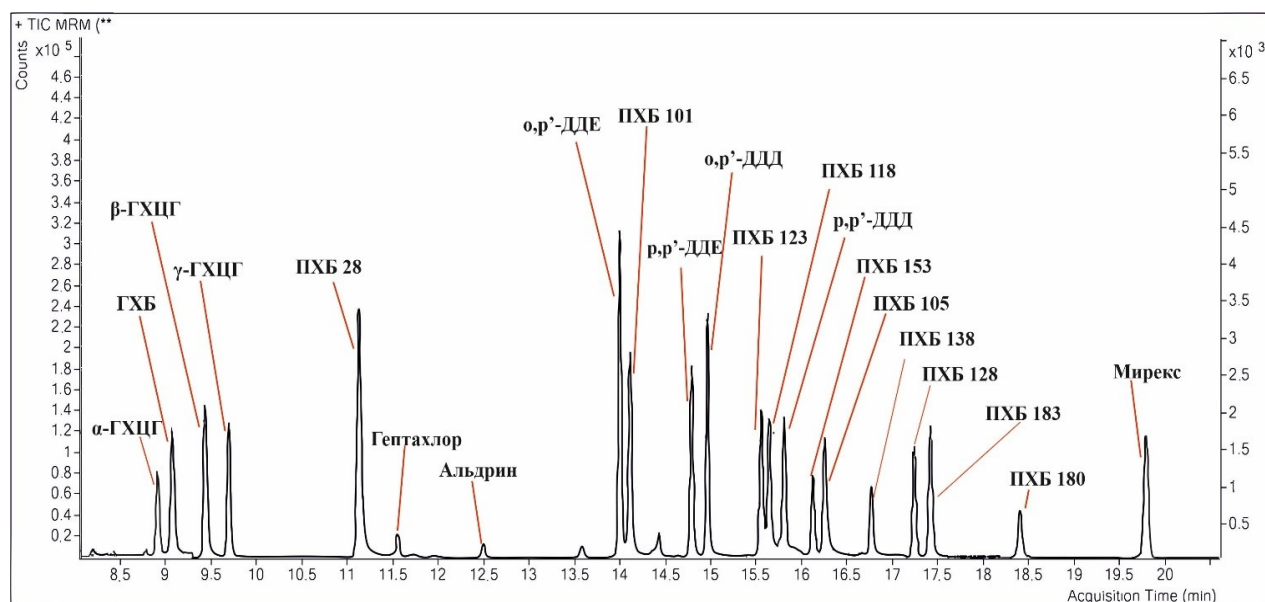


Рисунок 7 – Типичная хроматограмма растворов стандартов СОЗ

Идентификацию аналитов проводили по относительному времени удерживания. Количественное определение пестицидов осуществляли согласно матричному калибровочному графику и методу внутреннего стандарта, используя смесь изотопомеченных пестицидов. В качестве растворителя для стандартных образцов использовали ацетон или н-гексан (99 %) и обрабатывали их в тех же условиях, что и пробы, для исключения ошибок определения СОЗ.

Валидация метода и контроль качества

Валидация методов определения СОЗ в мышцах рыб и сыворотки крови проводили с использованием матричных образцов. Для проверки использовали холостой анализ реагента, холостую матрицу и матрицу с известным содержанием аналитов (0,5 нг/мл). В реальном анализе проб каждая партия (10 образцов) включала холостой анализ реагента и матрицу с известным содержанием аналитов (0,5 нг/мл). Проверка контроля качества метода осуществлялась с использованием сертифицированных стандартных образцов (CRM) - SRM® 1958 (для сыворотки крови), IAEA-406 (для рыбы).

Предел обнаружения (ПО) был рассчитан как трехкратное стандартное отклонение процедурных холостых уровней. Предел количественного определения (ПКО) был рассчитан как десятикратное стандартное отклонение

процедурных холостых уровней. Если сигнал не был обнаружен, для определения ПО (LOD) и ПКО (LOQ) использовали сыворотку с минимальным добавлением аналитов.

2.6 Камеральные исследования

Оценка содержания СОЗ в промысловых видах рыб и в сыворотке крови жителей Ненецкого АО, осуществлялась с двух позиций:

- 1) санитарно-гигиеническая оценка – путем сравнения фактически определенной концентрации соединения с его предельно-допустимой концентрацией, доступной в нормативных документах;
- 2) оценка экологического риска при воздействии СОЗ на здоровье человека – с использованием системы коэффициентов.

Оценку экологического риска осуществляли путем расчёта дозы приема пищи, коэффициента опасности для загрязняющего вещества и коэффициента дополнительного риска онкозаболеваний в течение всей жизни.

Доза ($D_{\text{приема пищи}}$) – это среднесуточное количество вещества (канцерогена или токсиканта), попавшего в организм человека с пищей, мг/кг в день, формула (2):

$$D_{\text{приема пищи}} = \frac{(C_{\text{в пище}} \times IR_{\text{пищи}} \times AFGIT \times N_{\text{дней}} \times N_{\text{лет}})}{m_{\text{человека}} \times 365 \times ОПЖ}, \quad (2)$$

где,

$C_{\text{в пище}}$ – концентрация загрязняющего вещества в продукте питания, мг/кг;

$IR_{\text{пищи}}$ – среднее потребление контаминированной пищи, кг/день;

$AFGIT$ – коэффициент адсорбции для желудочно-кишечного тракта, равный 1 (Health Canada Federal Contaminated..., 2004);

$N_{\text{дней}}$ – количество дней в году в течение которых потребляется пища, (0-365 дней);

$N_{лет}$ – количество лет воздействия (не используется для не канцерогенных веществ);

$m_{человека}$ – средний вес тела человека, кг;

$ОПЖ$ – ожидаемая продолжительность жизни, в годах (не используется для не канцерогенных веществ).

Среднее суточное потребление рассчитывали для канцерогенных веществ, действие которых вызывает негативные последствия в беспороговом значении. После того, как было вычислено среднесуточное поступление дозы канцерогена, приведенного к 1 кг массы тела человека, рассчитывали коэффициент опасности и коэффициент дополнительно риска онкозаболеваний в течение жизни (ILCR).

Коэффициент опасности (HQ) – это отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному (референтному) уровню воздействия, который показывает возможность возникновения острого отравления в течение года, формула (3):

$$HQ = D_{\text{приема пищи}} / TDI, \quad (3)$$

где,

$D_{\text{приема пищи}}$ – это среднесуточное количество вещества токсиканта попавшего в организм человека с пищей, мг/кг в день;

TDI – коэффициент переносимого суточного потребления не канцерогенных веществ мг/кг в день.

Коэффициент дополнительного риска онкозаболеваний в течение всей жизни (ILCR) – это оценка дополнительного риска вероятности развития онкозаболевания от поступления потенциального канцерогена в течение всей жизни, формула (4):

$$ILCR = D_{\text{приема пищи}} \cdot F_{г}, \quad (4)$$

где,

$D_{\text{приема пищи}}$ – это среднесуточное количество вещества канцерогена попавшего в организм человека с пищей, мг/кг в день;

F_r – коэффициент отражающий степень повышения развития онкозаболеваний при поглощении токсиканта с пищей $(\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{день}))^{-1}$.

Для расчёта ILCR и HQ использовали табличные значения F_r и TDI для основных СОЗ, рассчитанные Агентством по охране окружающей среды США (Non-Carcinogen Tolerable Daily Intake (TDI)...; Slope Factors (SF) for Carcinogens...), представленные в таблице 7.

Таблица 7 – Значения коэффициента наклона и коэффициента переносимого суточного потребления некоторых СОЗ с пищей

Соединение	TDI, мг/(кг·сут.)	$F_r, (\text{мг}/(\text{кг}\cdot\text{сут}))^{-1}$
ДДТ	0,0005	0,34
ПХБ	0,00013	2,0
ГХБ	0,0008	1,6

Интерпретацию полученных результатов коэффициента опасности и дополнительного риска онкозаболеваний в течение жизни осуществляли согласно градации (Гелашвили и др., 2016; Health Canada Federal Contaminated ..., 2004):

$HQ < 0,2$, то опасности нет, риск угрозы отсутствует.

$HQ > 0,2$, то существует потенциальный риск отравления, во столько раз во сколько коэффициент опасности превышает пороговое значение.

$ILSR > 1\cdot 10^{-5}$, индивидуальный канцерогенный риск возникновения онкозаболеваний потенциально существует.

2.7 Статистическая обработка данных

Обработка полученных данных проводилась с применением пакета программного обеспечения SPSS, версия 23.0 (IBM Corp., Армонк, Нью-Йорк, США). Чтобы обеспечить сопоставимость наших результатов с результатами других исследований, мы использовали средние значения, медианы и средние геометрические ($M_{\text{геом.}}$) в качестве мер центральной тенденции, а стандартные отклонения и диапазон – в качестве мер изменчивости. Кроме того, 95% доверительные интервалы (ДИ) были рассчитаны для $M_{\text{геом.}}$. Распределение числовых данных оценивали с помощью тестов Шапиро-Уилка. Все значения ниже предела количественного обнаружения (ПКО) принимали равными $\frac{1}{2}$ ПКО. Учитывая, что большинство переменных были смещены вправо, для всех анализов применялись непараметрические статистические тесты. Для анализа различных условий использовались тесты Краскела-Уоллиса, а двумерные ассоциации оценивали с помощью тестов Манна-Уитни или одностороннего дисперсионного анализа (ANOVA) в зависимости от распределения.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

3.1 Обоснование выбора объектов исследования

В ходе исследования было проведено анкетирование жителей Ненецкого АО на основе разработанного списка вопросов, представленных в приложении А, с целью установления доли и разнообразия рыбной продукции в рационе питания жителей АЗРФ.

В анкетировании приняли участие 297 человек (69% женщин, 31 % мужчин), в возрасте от 18 до 87 лет, проживающих на островных (пос. Бугрино, пос. Варнек), прибрежных морских (пос. Шойна, пос. Амдерма, пос. Индига) и прибрежных речных (пос. Нельмин-Нос, пос. Красное) сельских поселениях Ненецкого АО. В таблице 8 представлена основная информация по респондентам.

Таблица 8 – Информация о жителях Ненецкого АО, вовлеченных в исследование

Показатель	Бугрино	Варнек	Шойна	Амдерма	Индига	Нельмин-Нос	Красное	Все населенные пункты
Кол-во (% от всей группы)	38 (12,8)	17 (5,7)	43 (14,5)	50 (16,8)	50 (16,8)	50 (16,8)	49 (16,6)	297 (100)
% от численности населения на 2010 год (Всероссийская перепись населения, 2010)	9,0	16,8	14,3	9,2	7,9	5,5	3,2	-
Женщины	25	11	32	33	35	28	41	205
Мужчины	13	6	11	17	15	22	8	92
Средний возраст, лет	42±15	45±14	49±16	48±13	54±17	45±14	50±13	48±15
Количество наций (%):								
-ненцев	92,0	94,0	28,0	32,0	42,0	84,0	47,0	55,5
-русских	8,0	6,0	58,1	52,0	50,0	12,0	30,6	34,0
-коми			9,3	6,0	8,0	2,0	18,4	7,0
			4,6	10,0		2,0	4,0	3,5

По данным переписи населения 2010 года, среди участников исследования наименьшая доля опрошенных от общей численности жителей одного района характерна для пос. Красное (3,2 %), а наибольшая доля для пос. Варнек (16,7 %), как представлено в таблице 8. В общей выборке респондентов отмечается преобладание количества женщин (69 %), над мужчинами (31 %), что соответствует рекомендациям проведения биомониторинговых исследований по выявлению уровней СОЗ в биообъектах (Stockholm Convention, 2001). Средний возраст участников исследования составил 48 лет (от 18 до 87 лет), минимальный характерен для жителей пос. Бугрино (42 года), а максимальный – для жителей пос. Индига (54 года). Больше половины опрошенного населения (55 %) относят себя к национальной группе ненцев, наибольшая доля этих народов проживает в пос. Нельмин-Нос (n=42), пос. Бугрино (n=35) и пос. Варнек (n=16). Второй группой жителей по национальной принадлежности являются русские, доля их от общего числа опрошенных составляет 34 %. Остальные респонденты от 3,5 до 7 % относят себя к коми, удмуртам и марийцам. Стоит отметить, что доля КМНС в пос. Шойне (28 %) и в пос. Амдерме (32 %) ниже по сравнению с другими поселениями.

В результате проведенного анкетирования 95,5 % респондентов указали, что используют в пищу традиционные продукты следующих категорий: млекопитающие (оленина, лосятина, зайчатина, мясо бурого медведя); дикая птица (гусь, утка, куропатка); рыба (сёмга, горбуша, сиг, чир, корюшка, навага и др.); ягоды (морозика, брусника, клюква, черника и др.) и грибы. Данные продукты являются основными источниками питательных веществ для жителей Ненецкого АО (Petrenya et al., 2012).

Среди всех перечисленных традиционных продуктов питания наибольшая доля (91 %) приходится на рыбу по сравнению с другими пищевыми категориями, согласно рисунку 8..

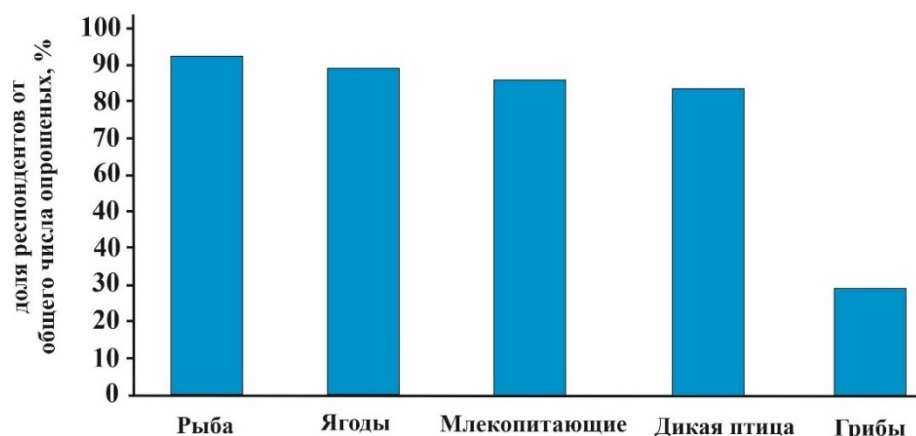


Рисунок 8 – Доля потребления основных пищевых категорий местными жителями Ненецкого АО (в процентах к общему числу участников исследования)

Высокая доля рыбы относительно других традиционных продуктов питания (олень, дикая птица) ранее была отмечена в подобных исследованиях коренного и местного населения Ненецкого АО (Petrenya et al., 2012). Большое количество видов рыб, обитающих в водных объектах Ненецкого АО обуславливает разнообразие питания населения и региональные различия в зависимости от условий близлежащих водоемов. Согласно результатам анкетирования в рацион жителей исследуемых территорий входит не менее 18 видов рыб. Все эти рыбы обитают в морских и озерно-речных системах Ненецкого АО, добываются как промысловым способом, так и в рамках любительской ловли (Об утверждении правил рыболовства., 2021; Об утверждении рекомендаций ..., 2020). По экологическому статусу потребляемые водные биологические объекты разделяются: анадромные (сёмга, горбуша, арктический голец, арктический омуль, азиатская корюшка, кета); полуанадромные (чир, сиг); морские (навага, камбала, треска, сельдь, пикша, минтай, палтус) и пресноводные (налим, щука, хариус). Более 42 % опрошенных указали в качестве потребляемых преимущественно анадромные (сёмга, горбуша, арктический голец, азиатская корюшка), морские (навага, сельдь), полупроходные (сиг) и пресноводные (щука) виды, как указано на рисунке 9.

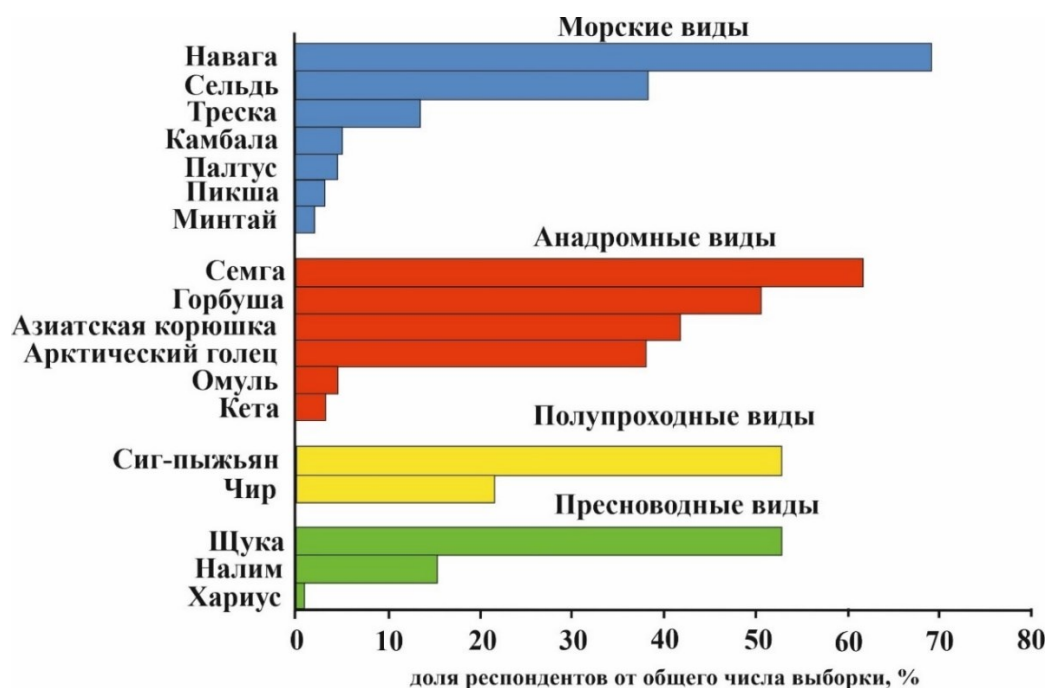


Рисунок 9 – Наиболее популярные виды рыб, включенные в рацион местного населения (согласно результатам опроса жителей Ненецкого АО)

При анализе данных, относительно места проживания участников исследования, наблюдаются региональные различия в потреблении популярных видов рыб (рисунок 10).

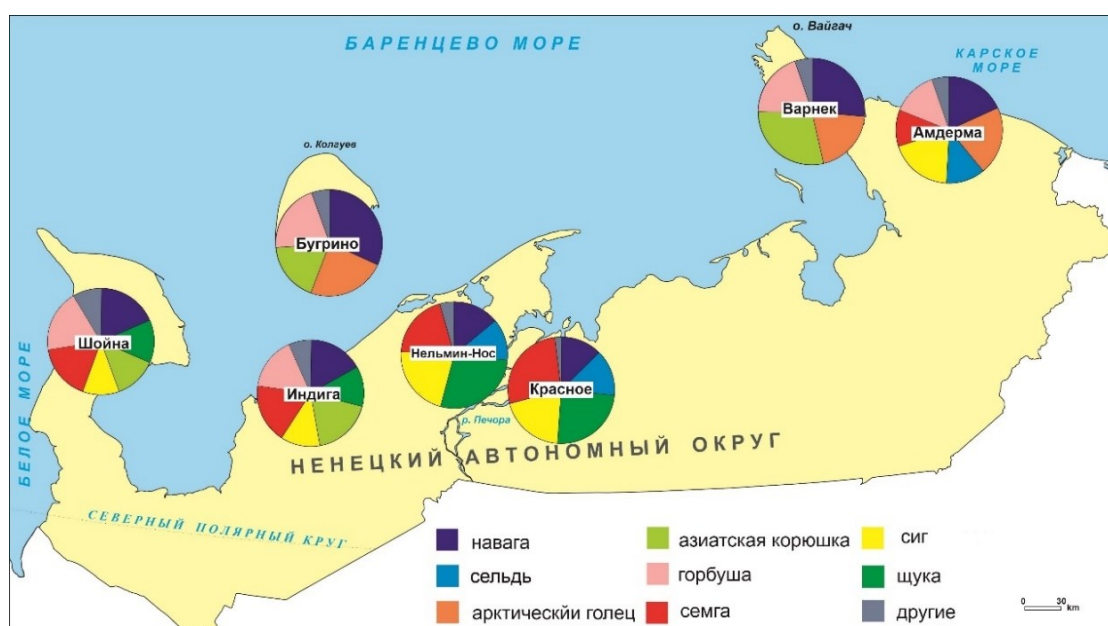


Рисунок 10 – Карта распределения приоритетных видов рыб входящих в рацион местных жителей Ненецкого АО

По сравнению с другими поселениями жители прибрежных (пос. Шойна, пос. Индига, пос. Амдерма) и островных (пос. Бугрино, пос. Варнек) районов в среднем потребляют больше анадромных и морских видов рыб. Больше половины местного населения островных территорий (пос. Бугрино и пос. Варнек) указали, что в питании предпочитают горбушу, азиатскую корюшку, арктического гольца, и навагу, доля потребления составила от 52 до 84 % от числа проживающих на данных территориях, соответственно. В то время как жители пос. Шойна и пос. Индига чаще включают в рацион навагу (~ 73 %), азиатскую корюшку (78 %), семгу (от 65,1 до 78 %), горбушу (~ 72 %). Более 78 % жителей пос. Амдермы указали, что чаще включают в рацион арктического гольца, сига (70 %) и навагу (68 %). В рацион жителей реки Печора (пос. Нельмин-Нос и пос. Красное) наоборот больше входят пресноводные и полупроходные виды рыб. Так, доля потребления щуки от общего числа проживающих на этих территориях составила в среднем более 81 %, сига – от 62 до 65 %. Однако местное население этих поселков также предпочитает и анадромный вид (семгу), наибольшая доля потребления этого ценного вида (91,8 %) характерна для жителей пос. Красное, что согласуется с местами нереста и обитания этого вида рыб (Мартынов, 2005). Стоит отметить, что в рационе всех жителей присутствовала сельдь, минимальная доля потребления ее характерна для жителей пос. Варнек (11,8 %), максимальная 46,7 % пос. Красное. Хотя этот вид относится к группе морские рыбы, но в большей степени входит в рацион жителей речных районов, вероятнее всего это связано с пищевыми предпочтениями, так как сельдь ловиться в зимний период (некоторые рыбаки могут выходить ближе к морю) и ценовой доступностью этого продукта в сравнении с другими морскими видами.

Таким образом, популярными видами рыб, входящих в рацион жителей семи населенных пунктов Ненецкого АО, являются: сёмга, горбуша, арктический голец, сиг, азиатская корюшка, навага, сельдь и щука, которые, с одной стороны обладают высокой пищевой ценностью, с другой – могут

накапливать СОЗ за счет непосредственного контакта со средой обитания и процессов биомагнификации (Lakhmanov et al., 2020).

3.2 Стойкие органические загрязнители в рыбах АЗРФ

3.2.1 Общее содержание СОЗ в промысловых рыбах Ненецкого АО

Исследовано содержание ПХБ и ХОП в 8 видах рыб следующих семейств: лососевые *Salmonidae* (сёмга, горбуша, арктический голец, сиг), сельдевые *Clupea* (сельдь), тресковые *Gadidae* (навага), корюшковые *Osmeridae* (азиатская корюшка), щуковые *Esocidae* (щука), которые используют в питании жители Ненецкого АО. Основной массив образцов (82,2 %) был отобран в Индигской губе Баренцева моря, остальные – в реке Печора близ пос. Красное (12,2 %) и у острова Колгуев (близ пос. Бугрино) в Баренцевом море (5,6 %), как показано на рисунке 11.



Рисунок 11 – Места отбора промысловых видов рыб Ненецкого АО

Выбранные объекты по экологическому статусу относятся к анадромным (сёмга, горбуша, арктический голец, азиатская корюшка), полуанадромным (сиг), пресноводным (щука) и морским (сельдь, навага) видам рыб (Semushin et al., 2019), отличающимся по образу жизни. Особям, как объектам ихтиофауны свойственны следующие модусы поведения – нагул в море, нерест в реке, нагул и нерест в море, нагул и нерест в реке (Гриценко и др., 2006). Арктический голец первые годы жизни обитает в реке, а затем поднимается преимущественно к береговой части моря. В то время как сёмга и горбуша часть своей жизни обитают в толще морской воды. В пресноводных водоемах сёмга живет ближе ко дну, а мальки горбуши в толще воды. Навага, сельдь и азиатская корюшка обитают в морских водах прибрежных территорий, из этих видов только азиатская корюшка на нерест спускается в реки. Сиг обычно обитает в опресняемой зоне и устье реки, а для нереста перемещается в нижнее и среднее течения данного водоема. Щука вовсе не мигрирует, живет преимущественно в тихих водах на мелководье в устье и небольших заливах рек. По питанию данные виды можно разделить на: хищные (сёмга, щука), эврифаги (навага), планктофаги (горбуша, арктический голец, сельдь, азиатская корюшка) и бентофаги (сиг). Отобранные образцы имеют различия по весу, возрасту и содержанию липидов, в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9 – Характеристика исследуемых образцов рыб Ненецкого АО

Вид	Кол-во образцов	Вес (кг)		Возраст (лет)		Содержание липидов (%)	
		Среднее	Мин-макс	Среднее	Мин-макс	Среднее	Мин-макс
Сёмга <i>Salmo salar</i>	7	4,000	1,290-8,600	3+	1+–7+	5,57	1,21-14,45
Горбуша <i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	13	1,120	0,805-1,740	1+	-	2,73	0,32-4,73
Арктический голец <i>Salvelinus alpinus</i>	15	0,700	0,470-1,045	4+	3+–6+	1,07	0,05-3,30
Навага <i>Eleginus nawaga</i>	10	0,220	0,125-0,380	4+	3–6	0,51	0,27-1,03

Продолжение таблицы 9

Вид	Кол-во образцов	Вес (кг)		Возраст (лет)		Содержание липидов (%)	
		Среднее	Мин-макс	Среднее	Мин-макс	Среднее	Мин-макс
Корюшка азиатская <i>Osmerus dentex</i> <i>Steindachner et Kner</i>	15	0,104	0,073-0,138	6+	4+–9	1,29	0,89-2,17
Сельдь <i>Clupea sp.</i>	11	0,093	0,080-0,104	4+	3+–4+	1,07	0,71-1,30
Сиг <i>Coregonus lavaretus</i>	11	0,440	0,380-0,565	7+	5–10	0,17	0,02-0,46
Щука <i>Esox lucius</i>	8	3,450	1,065-6,525	5+	1+–8+	0,10	0,02-0,54

Представители каждого вида были отобраны в количестве от 7 до 15 образцов. Следует отметить, что в литературных данных (АМАР, 2004; Muir et al., 2003), посвященных исследованиям содержания СОЗ в рыбах арктической зоны и Дальнего Востока Российской Федерации, количество, разнообразие видов и размер выборки существенно меньше, как упоминалось ранее в таблице 1.

Минимальный средний вес был зафиксирован у сельди (93 г), а максимальный у сёмги (4,0 кг). В выборке сёмги присутствовали как мелкие особи (тинда и листопадки), массой чуть более 1 кг, так и крупные с максимальным весом 8,6 кг, что соответствует промысловым размерам по справочным данным (Решетников и др., 2002). Средний возраст в уловах рыб составляет от 1+ (горбуша) до 7+ (сиг) лет. Такое значительное отличие возраста горбуши от других видов связано с 2-летним анадромным жизненным циклом по сравнению с жизненными циклами других изучаемых видов (Гриценко и др., 2006). За свой короткий период жизни горбуша совершает один нерест, в отличие от сёмги, которая может нереститься несколько раз за свою жизнь. Для всех остальных видов рыб характерен средний возраст от 3 до 6 лет, как отмечалось ранее в литературе (Гриценко и др., 2006).

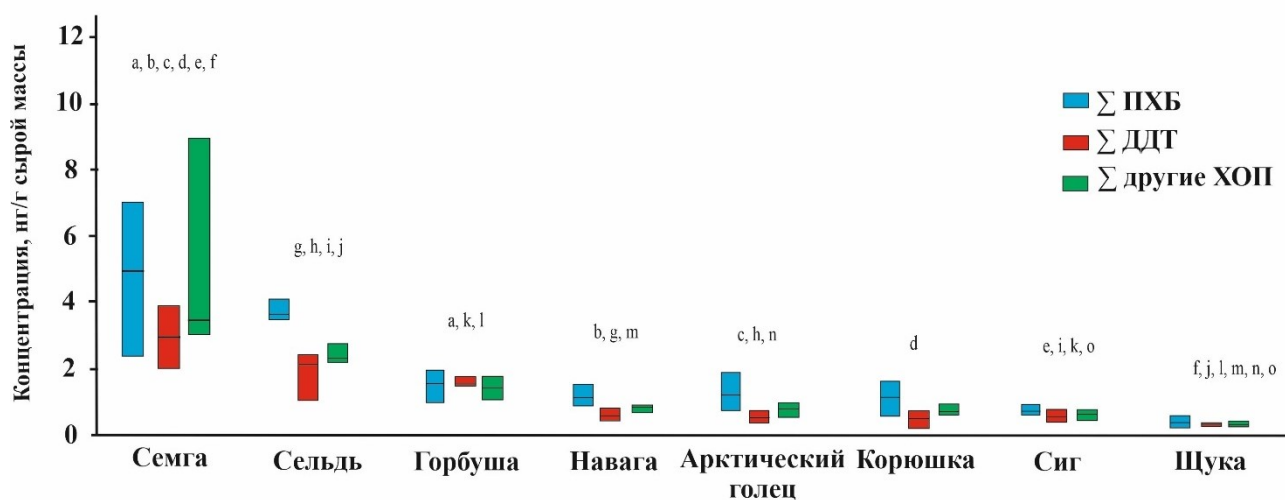
Максимальное содержание липидов в мышцах объектов ихтиофауны характерно для сёмги (до 14,5 %), минимальное для щуки (среднее содержание липидов 0,1 %), в остальных образцах средний уровень липидов находился в интервале от 0,2 до 2,7%, что соответствует справочным данным (Абрамова и др., 2003). Уникальностью горбуши в западном секторе Российской Арктики является тот факт, что она интродуцирована. Акклиматизация тихоокеанского лосося в водах Баренцева моря началась с 1950 г. В настоящее время этот вид рыбы достаточно часто встречается в питании жителей Мурманской, Архангельской областей и Ненецкого АО.

В результате проведенного химико-аналитического анализа в мышечной ткани рыб были обнаружены следующие СОЗ: ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 105, ПХБ 118, ПХБ 128, ПХБ 138, ПХБ 153, ПХБ 180, ПХБ 183, *p,p'*-ДДЕ, *o,p'*-ДДЕ, *o,p'*-ДДД, *o,p'*-ДДД, ГХБ, Σ ГХЦГ, цис-нонахлор, транс-нонахлор, цис-хлордан, транс-хлордан, мирекс и Σ ТХБ. ПХБ 123, гептахлор, β -гептахлорэпоксид и альдрин во всех изучаемых образцах рыб были ниже ПКО.

На первом этапе анализа данных было важно оценить суммарный уровень СОЗ в мышцах рыб, для систематизации данных. Обнаруженные 22 соединения были разделены на три группы:

- Σ ПХБ – суммарное содержание ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 105, ПХБ 118, ПХБ 128, ПХБ 138, ПХБ 153, ПХБ 180, ПХБ 183;
- Σ ДДТ – суммарное содержание метаболитов ДДТ (*p,p'*-ДДЕ, *o,p'*-ДДЕ, *o,p'*-ДДД, *o,p'*-ДДД);
- Σ другие ХОП – суммарное содержание ГХБ, ГХЦГ, геометрических изомеров нахлора и хлордана, мирекс и ТХБ.

Во всех анализированных видах были найдены эти три группы соединений, в соответствии с рисунком 12.



На рисунке показаны квартили [25%; 75%] и медиана. Для оценки значимости различий использован непараметрический критерий Манна-Уитни. Латинские буквы означают значимые различия суммарного содержания СОЗ между видами при $p \leq 0,01$.

Рисунок 12 – Уровни содержания основных групп СОЗ в мышцах рыб Ненецкого АО, нг/г сырой массы

Установлено, что наибольший уровень общего содержания СОЗ среди исследуемых видов рыб характерен для сёмги (14,8 нг/г сырой массы), а минимальный зафиксирован для щуки (0,6 нг/г сырой массы).

Для большинства видов (сельдь, навага, арктический голец, азиатская корюшка, щука) доля Σ ПХБ₁₀ от общего количества СОЗ составляет более 50 %, средний уровень находится в интервале 0,31...3,83 нг/г сырой массы. Такое распределение согласуется с исследованиями Бонито и других (Bonito et al., 2016), которые ранее установили, что главным органическим загрязнителем рыб является ПХБ. Несмотря на самый высокий среди изучаемых видов средний уровень Σ ПХБ₁₀ в сёмге (4,92 нг/г сырой массы), доля от общего количества СОЗ этих конгенов составляет всего 33 %. В мышцах сига и горбуши доля Σ ПХБ₁₀ колеблется от 31 до 37 %, среднее содержание данных хлорорганических загрязнителей составляет 0,74 и 1,45 нг/г сырой массы, соответственно. При сравнении средних концентраций Σ ПХБ₁₀ среди всех образцов рыб уровень содержания уменьшается в ряду сёмга – сельдь – горбуша – навага, арктический

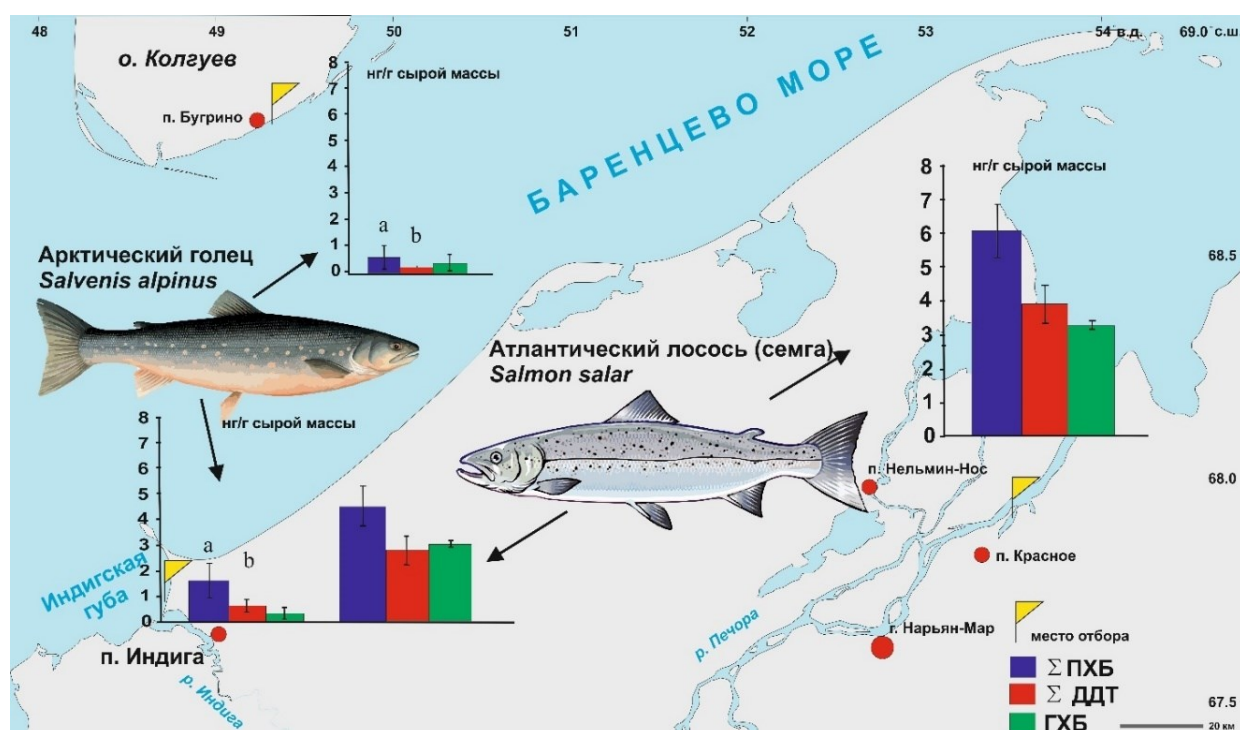
голец – азиатская корюшка – сиг – щука. Полученные различия в концентрациях СОЗ в зависимости от вида являются статистически значимы согласно критерию Краскела-Уоллиса ($p < 0,01$). Однако, статистически значимые различия по суммарному уровню содержания в мышечной ткани рыб были характерны только для сёмги и щуки при сравнении с другими исследованными видами рыб, согласно критерию Манна-Уитни ($p < 0,01$), что отражено на рисунке 12.

Среди всех исследуемых видов максимальная доля Σ ДДТ от общего содержания СОЗ была зафиксирована у горбуши и составила 41 %, средний уровень 1,88 нг/г сырой массы, а минимальная доля у азиатской корюшки (12 %) со средним значением 0,26 нг/г сырой массы. В мышцах сёмги, сельди, арктического гольца и наваги доля Σ ДДТ колеблется от 20 до 22 %. Однако, в сёмге средний уровень Σ ДДТ максимальный среди изучаемых видов и равен 3,08 нг/г сырой массы. Доля Σ ДДТ в сиге составляет 33 %, а средний уровень (0,65 нг/г сырой массы) выше, чем у наваги, арктического гольца, азиатской корюшки и щуки. Уменьшение уровня Σ ДДТ наблюдается в ряду сёмга – горбуша – сельдь – сиг – навага – арктический голец – азиатская корюшка – щука.

Высокое содержание выделенной нами третьей группы Σ другие ХОП, по сравнению с Σ ПХБ₁₀ или Σ ДДТ было зафиксировано для сёмги. Доля Σ другие ХОП от общего содержания СОЗ составила 46 % (средний уровень 6,86 нг/г сырой массы) и является наибольшей, чем в других видах рыб. По остальным исследуемым образцам значительных различий в доле Σ другие ХОП по сравнению с другими выделенными группами не обнаружено, доля составила от 26 до 34 %, среднее варьировалось от 0,18 до 2,42 нг/г сырой массы. Средний уровень Σ другие ХОП уменьшается в ряду сёмга – сельдь – горбуша – навага – азиатская корюшка – арктический голец – сиг – щука. Основной вклад в группе Σ другие ХОП (более 88 %) приходится на ГХБ и изомеры ноахлора и хлордана. Для точной интерпретации результатов данную группу соединений стоит рассматривать только с точки зрения индивидуальных веществ. Кроме того, соединения группы Σ другие ХОП, которые входят в стокгольмскую конвенцию, не регламентируются САНПИН (СанПиН 2.3.2.1078-01) и Таможенным

регламентом (ТР ЕАЭС 040/2016; ТР ТС 021/2011), чем и объясняется отсутствие данных по этим веществам в литературе АЗРФ.

В ходе исследования было изучено влияние района вылова в пределах Ненецкого АО на уровень СОЗ в рамках одного вида рыб, отобранных с разных территорий Ненецкого АО. Образцы арктических голецов с Индигской губы Баренцева моря сравнивали с образцами из Баренцева моря близ пос. Бугрино, а образцы сёмги, выловленные в бассейне р. Печора сравнивали с сёмгой из Индигской губы Баренцева моря. Выборка сравниваемых арктических голецов имели один и тот же средний возраст и вес. Полученные различия в уровнях содержания исследуемых СОЗ в арктическом гольце и сёмге в зависимости от места обитания, представлены на рисунке 13.



На рисунке показаны $M_{\text{геом.}}$ концентрации и 95 % доверительный интервал для $M_{\text{геом.}}$. Для оценки значимых различий использовали критерий Манна-Уитни. Латинские буквы означают значимые различия на уровне $p < 0,01$.

Рисунок 13 – Средняя геометрическая концентрация основных соединений СОЗ в зависимости от места обитания промысловых видов рыб Ненецкого АО

Результаты исследования показали, что сёмга, выловленная в бассейне р. Печора, имела более высокий суммарный уровень ПХБ, метаболитов ДДТ и ГХБ в сравниваемых соединениях (13,17 нг/г сырой массы) в отличие от рыбы того же вида из Индигской губы Баренцева моря (10,25 нг/г сырой массы), но статистически значимые различия выявлены не были.

Сравнение СОЗ в образцах рыб, обитающих в море и морском заливе, показало, что уровень Σ ПХБ₁₀ и Σ ДДТ (0,98 и 0,47 нг/г сырой массы) в арктическом гольце Индигской губы Баренцева моря в 2 раза выше, чем в мышцах образцов, выловленных в районе о. Колгуев Баренцева море, что является статистически значимым. Уровень ГХБ в сравниваемых образцах в зависимости от места обитания был практически одинаковым и равен в среднем 0,34 нг/г сырой массы. Это связано с выносом загрязняющих веществ путем речного стока в морские воды (Бортин и др., 2017).

За последние 10 лет по АЗРФ практически отсутствуют доступные данные о среднем уровне содержания СОЗ в рыбах. Исследования в Ненецком АО осуществлялись лишь в 2008 году (Лукина, 2014) по ограниченному перечню объектов ихтиофауны. Существующая система «Мониторинг районов вылова и среды обитания водных ресурсов» (Национальный центр безопасности ...: [сайт]. URL:<http://fishquality.ru/>) как правило отражает лишь соответствие уровня отдельных СОЗ (Σ ДДТ, Σ ПХБ, Σ ГХЦГ) нормативным документам, в случае если значения не превышают допустимых, информация о концентрации их в рыбах отсутствует. Кроме того, по отдельным видам рыб, используемым в питании КМНС, информация отсутствует вовсе.

При сравнении полученных результатов с ранее опубликованными данными, представленными в таблице 1 по бассейнам Белого и Баренцева морей, можно условно проследить тренды по изменению СОЗ в рыбах западного сектора Российской Арктики. Полученный уровень Σ ПХБ₁₀ и Σ ДДТ в сёмге, арктическом гольце и щуке в данном исследовании, в 1,7–3,0 раза ниже по сравнению с результатами 2013 года в аналогичных образцах (Дударев и др., 2015). Концентрации этих групп соединений в сельди, азиатской корюшке и

наваге были в 4–16 раз меньше, чем уровень в этих видах Белого моря в 2002 году (Muir et al., 2003).

Оценка временного тренда в рамках Ненецкого АО показала снижение в 2–3 раза уровня СОЗ в рыбах относительно установленных концентраций в 2001 году (АМАР, 2004). Единственный случай, когда уровень Σ ДДТ и Σ ПХБ₁₀ в нашем исследовании был в 2,0 и 5,0 раз выше, чем в других доступных источниках (Лукина, 2014), был зафиксирован для сига. Так в исследованиях 2008 года, проведенных в Ненецком АО, средний уровень этих конгенов равен 0,11 и 0,36 нг/г сырой массы соответственно, против 0,55 и 0,74 нг/г сырой массы, полученных в этом исследовании для мышц сига. Возможно, общее возрастание СОЗ за 10 лет связано, не с антропогенным воздействием, а с малым объемом выборки образцов с этой территории в 2008 году, так как диапазон Σ ПХБ₁₀ в исследованных образцах варьирует от 0,36 до 1,48 нг/г сырой массы, а для Σ ДДТ от 0,29 до 1,27 нг/г сырой массы. Кроме того, в исследовании не были представлены данные по возрасту и размеру особей, которые так же влияют на уровень содержания СОЗ.

Если сравнивать полученные результаты для других Арктических территорий Российской Федерации (Дударев и др., 2015; АМАР, 2004; Petrenya et al., 2011), то похожие тенденции сохраняются лишь по некоторым видам, которые можно сравнить с доступными данными в схожих образцах, обитающих на разных территориях Чукотского АО. Среднее содержание Σ ПХБ₁₀ и Σ ДДТ для арктического гольца Чукотского АО (Дударев и др., 2015, АМАР, 2004) было в 5–6 раз выше по сравнению с изучаемыми образцами, однако в мышцах щуки уровень этих соединений одинаковый по сравнению с образцами Чукотского АО (АМАР, 2004).

Полученные результаты, свидетельствуют о том, что суммарное содержание Σ ПХБ₁₀ и метаболитов ДДТ в мышцах исследованных рыб Ненецкого АО не превышало допустимые уровни, установленные санитарными правилами и нормативами Российской Федерации для рыб (2000 и от 200 до 300 нг/г сырой массы соответственно) (СанПиН 2.3.2.1078-01; ТР ЕАЭС

040/2016; ТР ТС 021/2011). Более того, наблюдается тенденция к снижению концентрации ПХБ и ХОП в мышцах сёмги, арктического гольца, щуки, сельди, азиатской корюшки и наваге за последние 18 лет на Севере, что соответствует общемировым трендам (Bonito et al., 2016; Muir et al., 2003).

3.2.2 Содержание индивидуальных ПХБ и ХОП в промысловых рыбах Ненецкого АО

Полихлорированные бифенилы

Исследования по накоплению ПХБ начались с 1966 года, когда наряду с изучением распространения ДДТ, данные вещества были обнаружены в популяциях различных живых организмов в том числе и в рыбах (Янин, 1997). В настоящее время осуществляется большое количество исследований по содержанию данных загрязнителей в промысловых видах рыб Арктики (АМАР, 2004; Braune et al., 2005; Cabrerizo et al., 2018, Cleemann et al., 2002), однако в Российской Арктике проводятся только локальные исследования (Дударев и др., 2015; Жилин и др., 2018; Плотицына, 2004). Особое внимание уделяется маркерным ПХБ 28, 52, 101, 138, 153 и 180, которые являются доминирующими из этой группы соединений. Важное значение имеют и диоксиноподобные ПХБ (77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 и 189), которые по своим токсикологическим свойствам на много опаснее маркерных контаминантов (Лебедев, 2003). В целом они являются антропогенными соединениями и используются для оценки загрязненности окружающей среды и биообъектов (Жаковская и др., 2010).

В сёмге, сельди и азиатской корюшке уровень содержания ПХБ 153 и ПХБ 138 был примерно одинаковый, и составил в среднем 1,05; 0,84 и 0,29 нг/г сырой массы, в соответствие с таблицей 10. Другие конгенеры в данных видах рыб содержатся в меньших количествах. Для горбуши характерно преобладание ПХБ 128 и ПХБ 153, средняя концентрация составила 0,48 и 0,41 нг/г сырой массы,

соответственно. В арктическом гольце, наваге и сиге наиболее высокое содержание по сравнению с другими ПХБ характерно для ПХБ 153. Оно варьировало от 0,41 до 0,68 нг/г сырой массы, что в 1,5–2,0 раза ниже по сравнению с концентрациями этого конгенера в других видах рыб. Единственным из исследуемых видов рыб, в котором ПХБ 153 отсутствовал, была щука. В ее мышечной ткани преобладал ПХБ 128, средняя концентрация которого составила 0,15 нг/г сырой массы. Таким образом, преобладающими конгенерами ПХБ в зависимости от вида изучаемых образцов являются 153, 138, 128, что так же было установлено и в других подробных работах (Manirakiza et al., 2002; Perugini et al., 2004; Uekusa et al., 2017; Yang et al., 2010).

Таблица 10 – Уровни содержания индивидуальных ПХБ и ХОП в мышечной ткани рыб

Соединения	ПКО ¹	Средняя концентрация в мышцах рыб, нг/г сырой массы							
		Сёмга	Сельдь	Арктический гольц	Азиатская корюшка	Горбуша	Навага	Сиг	Щука
<i>Полихлорированные бифенилы</i>									
ПХБ 28	0,007	0,52±0,14	0,33±0,01	0,11±0,02	0,08±0,03	0,07±0,02	0,07±0,02	0,12±0,03	0,10±0,02
ПХБ 52	0,003	0,38±0,11	0,23±0,01	0,06±0,01	0,08±0,02	0,10±0,01	0,03±0,01	0,07±0,01	0,02±0,01
ПХБ 101	0,013	0,51±0,16	0,48±0,05	0,16±0,04	0,05±0,03	0,15±0,03	0,08±0,01	0,03±0,01	-
ПХБ 105	0,010	0,21±0,06	0,21±0,02	0,03±0,001	0,06±0,02	0,03±0,01	- ²	-	-
ПХБ 118	0,016	0,72±0,20	0,57±0,07	0,13±0,02	0,16±0,06	0,19±0,03	0,14±0,02	-	-
ПХБ 128	0,007	0,17±0,04	0,13±0,01	0,24±0,06	0,05±0,02	0,48±0,08	0,24±0,07	-	0,15±0,06
ПХБ 138	0,003	1,03±0,25	0,84±0,07	0,05±0,02	0,27±0,09	-	-	-	-
ПХБ 153	0,013	1,08±0,26	0,85±0,10	0,43±0,07	0,30±0,10	0,41±0,06	0,68±0,11	0,51±0,08	-
ПХБ 180	0,007	0,24±0,05	0,16±0,02	0,03±0,01	0,04±0,01	-	-	-	-
ПХБ 183	0,004	0,06±0,01	0,04±0,01	-	0,01±0,001	-	-	-	-
<i>Метаболиты ДДТ</i>									
<i>p,p'</i> -ДДЕ	0,003	2,19±0,55	1,20±0,16	0,43±0,08	0,20±0,11	1,49±0,24	0,49±0,07	0,63±0,09	0,08±0,01
<i>p,p'</i> -ДДД	0,020	0,80±0,16	0,44±0,02	0,05±0,01	0,05±0,03	0,30±0,05	0,06±0,01	-	-
<i>Другие хлорорганические пестициды</i>									
ГХБ	0,010	3,08±1,25	1,45±0,16	0,34±0,05	0,56±0,12	0,39±0,05	0,39±0,05	0,28±0,09	0,13±0,03
транс-нонахлор	0,027	1,00±0,30	0,55±0,09	0,11±0,02	0,05±0,02	0,37±0,05	0,07±0,01	-	-
цис-нонахлор	0,040	0,56±0,05	0,30±0,02	0,06±0,01	-	0,16±0,02	0,08±0,03	-	-
транс-хлордан	0,013	2,03±0,51	0,08±0,05	0,04±0,01	-	0,10±0,01	0,03±0,001	-	-
цис-хлордан	0,013	-	-	0,03±0,01	-	0,16±0,02	0,04±0,01	-	-

¹-предел количественного обнаружения.

²-ниже предела количественного обнаружения.

Наиболее токсичный эффект на живые организмы оказывают диоксиноподобные ПХБ, которые имеют очень высокую канцерогенность по сравнению с маркерными ПХБ (Лебедев, 2003). Из группы диоксиноподобных ПХБ нами были изучены только ПХБ 105 и ПХБ 118. В сёмге и сельди средняя концентрация ПХБ 118 составила 0,72 и 0,57 нг/г сырой массы, соответственно, что в 3,0–5,5 раз выше, чем в других исследуемых видах рыб. Уровень другого диоксиноподобного конгенера (ПХБ 105) в сёмге, сельди, арктическом гольце, азиатской корюшке и горбуше был в 2,6–6,3 раза ниже, по сравнению с уровнем ПХБ 118. Наибольший уровень содержания этого конгенера был зафиксирован у сёмги и сельди и составил 0,21 нг/г сырой массы. Однако суммарное соотношение диоксиноподобных ПХБ к уровню $\sum\text{ПХБ}_{10}$ в ранее упомянутых видах рыб было примерно одинаковыми, и составило около 20 %. Стоит так же отметить, что для исследованных образцов рыб характерна следующая зависимость, чем выше уровень содержания диоксиноподобных ПХБ, тем выше концентрация маркерных соединений в этих образцах.

Содержание остальных конгенов ПХБ (28, 52, 101, 180, 183) было максимальным в мышцах сёмги и сельди, суммарный средний уровень пяти загрязнителей колебался от 0,16 до 0,52 нг/г сырой массы. В арктическом гольце, горбуше, наваге, азиатской корюшке и сиге средняя концентрация этих веществ была менее 0,16 нг/г сырой массы.

Таким образом, составлены ряды уровня накопления соединений группы ПХБ в исследуемых видах рыб:

- сёмга – 153>138>118>28>101>52>180>105>128>183;
- сельдь – 153>138>118>101>28>52>105>180>128>183;
- азиатская корюшка – 153>138>118>28=52>105>101>128>180>183;
- арктический голец – 153>128>101>118>28>52>138>105=180;
- горбуша – 128>153>118>101>52>28>105;
- навага – 153>128>118>101>28>52;
- сиг – 153>28>52>101;
- щука – 128>28>52.

Стоит отметить, что горбуша, азиатская корюшка и навага, отобранные в Индигской губе Баренцева моря, значительно отличаются в содержании отдельных ПХБ. Одной из причин является их образ жизни, так, анадромные виды (горбуша и азиатская корюшка) нерестятся в реках, однако горбуша предпочитает нагуливаться в толще морской воды, а азиатская корюшка на мелководье в заливах морей. Навага, является морским видом, который обитает и нерестится преимущественно в заливах морей. Второй причиной является характер питания: навага, типичный представитель эврифагов, в то время как горбуша и азиатская корюшка являются планктофагами. Третья причина – физиологические параметры организмов, которые являются инструментом по анализу СОЗ. Горбуша – это крупная рыбы с высоким содержанием липидов и коротким жизненным циклом, по сравнению с навагой и азиатской корюшкой. Однако, исследованные образцы наваги и азиатской корюшки были в среднем старше образцов горбуши в 4–6 раз, и тем самым были подвержены контаминации более длительное время.

Соотношение полученных уровней отдельных ПХБ (153, 138, 128, 105, 118) в исследованных образцах было таким же, как и соотношение этих конгенов в технической смеси типа Aroclor (Совол – конденсаторное масло и Совтол – трансформаторное масло) (Кириченко и др., 2000), которая до сих пор используется в России в качестве диэлектриков в трансформаторах и конденсаторах, в гидравлических системах, входит в состав смазочных и охлаждающих масел, лакокрасочных изделий для судов и т.д. (Майстренко В.Н., Клюев Н.А., 2012). Поэтому поступление ПХБ в объекты окружающей среды могло быть не только за счет атмосферного и глобального водного переноса, а также вследствие техногенного загрязнения в ходе деятельности производственных предприятий в Арктике (Майстренко В.Н., Клюев Н.А., 2012).

Метаболиты ДДТ

ДДТ — это пестицид, который является одним из основных соединений, входящих в «грязную дюжину» Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2001). В результате биологических и физико-химических процессов,

происходящих в морских и речных водах основными продуктами распада ДДТ, являются ДДЕ и ДДД (Горян А.С., Колесникова Л.Г., 2013). Основной вклад в сумму ДДТ в мышцах исследованных рыб вносит p,p' -ДДЕ, который является наиболее стойким метаболитом ДДТ. Преобладание этого соединения так же было описано и в других исследованиях рыб (Muir et al., 2003; Tsygankov et al., 2019). Средняя концентрация p,p' -ДДЕ в мышцах рыб варьировала от 0,08 нг/г (щука) до 2,19 нг/г сырой массы (сёмга). В сёмге, сельди и горбуше уровень этого конгенера был в 1,5–3,0 раза выше по сравнению с уровнем основных соединений ПХБ. Кроме того, в исследованных образцах присутствовал p,p' -ДДД, но уровень его в анализированных образцах был в среднем в 2,7–8,0 раз ниже, по сравнению с концентрацией p,p' -ДДЕ.

Для определения длительности пребывания в среде основного продукта ДДТ, оценивали соотношения концентраций самого вещества и продукта его деградации – метаболита ДДЕ (коэффициент ДДТ/ДДЕ). Значение коэффициента >1 указывает на относительно недавнее загрязнение. В проанализированных образцах рыб присутствие данного метаболита ДДЕ и отсутствие соединения ДДТ указывает на давнее и хроническое загрязнение рыб ДДТ (World Health Organisation ...).

Другие хлорорганические пестициды

Во всех исследованных образцах из группы Σ другие ХОП был обнаружен ГХБ. Средняя концентрация этого соединения варьировала от 0,13 нг/г (щука) до 3,08 (сёмга) нг/г сырой массы. Полученный уровень ГХБ для наваги, сельди и азиатской корюшки был в 1,6 раза ниже, чем в аналогичных видах рыб, обитающих в Белом море (Bonito et al., 2016). В арктическом гольце и сёмге уровень ГХБ был в 1,7–3,8 раз ниже по сравнению с литературными данными по Кольскому п-ову (Дударев и др., 2015). Для щуки и сига наоборот, концентрация ГХБ была примерно в 1,75 раза выше по сравнению с образцами щуки с Кольского п-ова (Дударев и др., 2015; АМАР, 2004) и с более ранними данными по сигу Ненецкого АО (АМАР, 2004). Вероятно, это связано с загрязнением вод исследуемого региона ГХБ, а также с разницей в количестве выборок образцов

рыб, их физиологических параметров и методиками определения этого соединения в образцах.

Максимальная суммарная средняя концентрация соединений, входящих в состав технического хлордана: цис-хлордан, транс-хлордан, цис-нонахлор и транс-нонахлор, была обнаружена у сёмги 3,59 нг/г сырой массы. У сельди, горбуши, арктического гольца и наваги средняя концентрация составила – 0,93; 0,80; 0,24 и 0,22 нг/г сырой массы, соответственно. В то время как у азиатской корюшки, сига и щуки она была ниже ПКО. Полученный суммарный уровень соединений хлордана в наваге, сельди и азиатской корюшке был в 3,9–16,0 раз ниже, чем в аналогичных видах рыб Кольского п-ва (Muir et al., 2003).

Остальные ХОП, которые не вошли в таблицу 10, были найдены только в образцах одного вида рыб, либо имели низкий уровень по сравнению с установленными концентрациями по другим соединениям. Так, Σ ГХБ присутствовал только в мышцах сига, средняя концентрация составила 0,17 нг/г сырой массы. Концентрация Σ ГХЦГ была определена только у сёмги со средним содержанием 0,16 нг/г сырой массы. Хотя данный конгенер регламентируется САНПИН, полученный уровень в мышцах сёмги был значительно ниже установленных нормативов (200 нг/г сырой массы) (СанПиН 2.3.2.1078-01). Средняя концентрация мирекса во всех образцах, кроме щуки, сельди и корюшки колебалась от 0,02 нг/г (сёмга) до 0,12 нг/г сырой массы (горбуша), что является низкой по сравнению с концентрациями других соединений. Однако полученные результаты по мирексу в исследованных образцах рыб были практически на том же уровне, что и в исследованиях 2001 года (АМАР, 2004), где средний уровень в аналогичных видах рыб составил <0,05–0,13 нг/г сырой массы, что указывает на его устойчивость к биоразложению.

Таким образом, из 28 исследованных соединений СОЗ в промысловых видах рыб Ненецкого АО (сёмга, сельдь, горбуша, арктический голец, навага, азиатская корюшка, сиг, и щука) основными являются ПХБ 153, 138, 128, 118, *p,p'*-ДДЕ, ГХБ и соединения хлордана. Сёмгу и сельдь следует считать наиболее загрязненными видами рыб по всему перечню исследованных СОЗ, кроме

ПХБ 128. Наибольший уровень ПХБ 153, 138, 118, *p,p'*-ДДЕ, ГХБ и Σ Хлордан обнаружен в сёмге и составил 1,08; 1,03; 0,72; 2,19; 3,08 и 3,59 нг/г сырой массы, что выше в 1,2–3,9 чем в сельди. Горбуша, несмотря на короткий период жизненного цикла, характеризуется высоким уровнем *p,p'*-ДДЕ (1,49 нг/г сырой массы) и ПХБ 128 (0,48 нг/г сырой массы). В остальных видах рыб присутствовали невысокие уровни СОЗ, что связано с физиологическими и биохимическими параметрами образцов (содержание жира, возраст и вес), а не только с условиями обитания этих организмов (Майстренко В.Н., Клюев Н.А., 2012).

3.2.3 Факторы, влияющие на накоплении СОЗ в мышцах рыб

На накопление СОЗ в живых организмах, кроме концентрации их в водной среде, влияют физиологические и биохимические параметры отдельных видов рыб, такие как: возраст, масса, трофический уровень, содержание жира (Майстренко В.Н., Клюев Н.А., 2012).

Выявление связей между возрастом, весом, длиной тела, содержанием липидов рыб и концентраций ПХБ и ХОП в мышцах этих образцов проводили с помощью корреляционного анализа с использованием непараметрического критерия Спирмена. Результаты корреляционного анализа приведены в приложении Б. Рыбы, являясь верхним трофическим уровнем водной экосистемы, аккумулируют СОЗ в своем организме в течение всего жизненного цикла. Исследования по накоплению ПХБ и ХОП в различных видах рыб подтверждают, что концентрация этих веществ хорошо коррелирует с продолжительностью их жизни (Heuvel et al., 2021; Munschy et al., 2020). Ввиду различных выборок по количеству образцов с варьированием по возрасту были выбраны 2 вида: сёмга и сиг, на примере которых можно более наглядно оценить влияние возраста на накопление СОЗ. Установлено, что очень высокая положительная связь была между возрастом и содержанием ПХБ 28, ПХБ 52,

ПХБ 101, ПХБ 138, p,p' -ДДЕ, транс-хлордана, цис-нонахлора и транс-нонахлора в сёмге, коэффициент корреляция (r_s) варьировал от 0,757 до 0,883 ($p < 0,01$ до 0,05). Для сига характерна высокая положительная связь между содержанием p,p' -ДДЕ, ПХБ 52 и возрастом ($r_s = 0,620$ и $r_s = 0,645$; $p < 0,01$ до 0,05). Обнаруженные зависимости между содержанием отдельных СОЗ и возрастом в исследованных образцах рыб представлены на рисунке 14. В первые годы жизни (2+) сёмги уровень транс-хлордана в мышцах составляет примерно 1 нг/г сырой массы, а затем каждые два года возрастает в 1,5–2,0 раза. Накопление p,p' -ДДЕ в сие в период от 5 до 10 лет происходит равномерно с увеличением примерно на 0,25 нг/г сырой массы. Похожие закономерности в аналогичных видах рыб были описаны в работах (Storelli et al., 2009; Vuorinen et al., 2012).

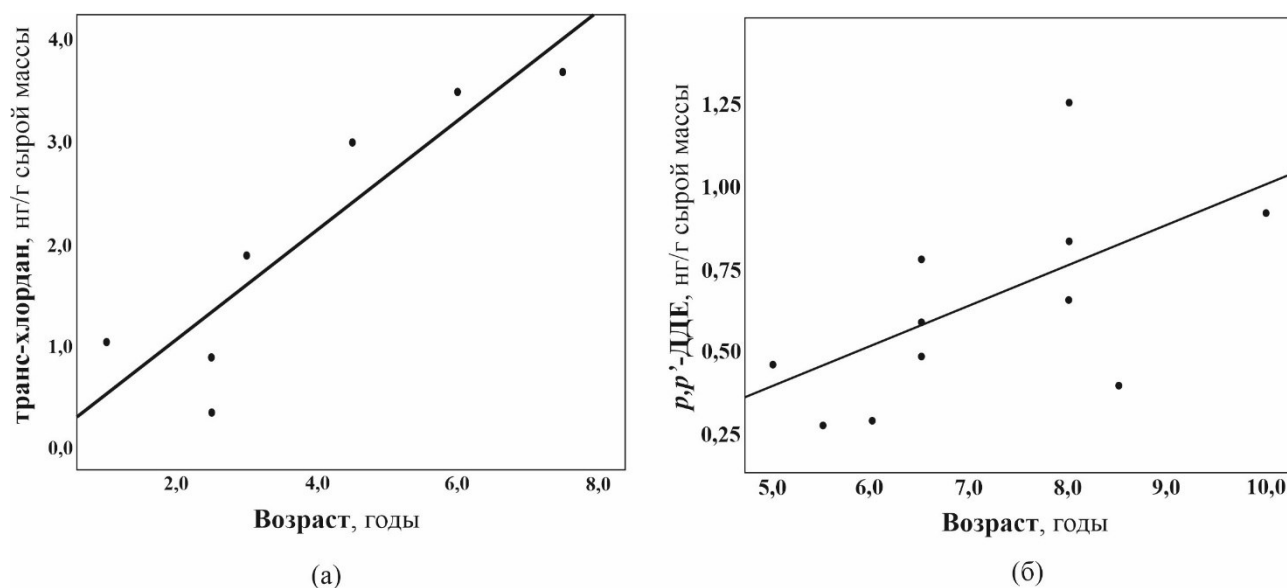


Рисунок 14 – Зависимость между концентрацией СОЗ и возрастом у исследованных видов рыб: а) для сёмги; б) для сига

Следующими важными физиологическими параметрами рыб являются вес и длина тела, которые характеризуют рост рыб. Рост – это равномерное увеличение веса и длины тела особей (Комлацкий и др., 2020), что так же прослеживается в выборке исследованных образцов, коэффициент корреляции Спирмена равен 0,975, при $p < 0,01$. Это соответствует очень высокой положительной связи между длиной и весом особей. В первые годы жизни рыб

происходит быстрый набор массы, а затем при наступлении половой зрелости рост замедляется и постепенно снижается к старости. Так и в выборке исследованных образцов, было установлено незначительное уменьшение веса рыб с возрастом, $r_s = 0,254$ ($p < 0,01$ до $0,05$).

Содержание транс-нонахлора, ПХБ128 в исследованных образцах рыб зависит от веса особей, коэффициент корреляции Спирмена равен $0,247$ и $0,271$ ($p < 0,01$ до $0,05$), соответственно. В сёмге весом от $1,29$ до $8,60$ кг, в большей степени увеличивается транс-хлордан, согласно рисунку 15, по сравнению с другими соединениями, что указывает на его накопление, видимо старые (крупные) рыбы подвергались воздействию транс-хлордана дольше, чем молодые (маленькие рыбы). В остальных видах рыб статистически значимых связей между концентрацией СОЗ и весом рыбы не было найдено, такие же результаты наблюдали и другие ученые (Cabrerizo et al., 2018).

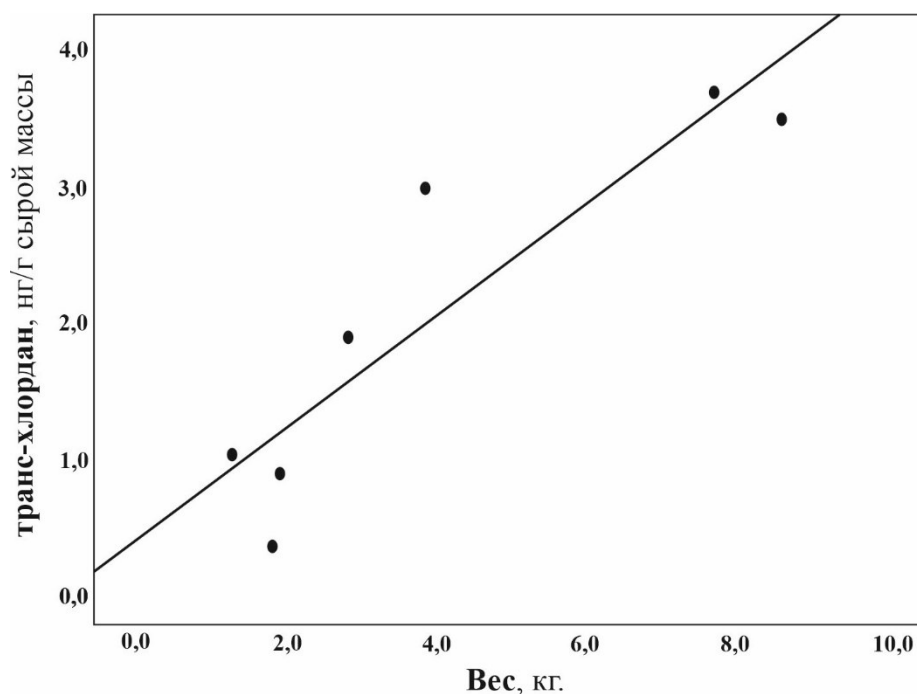


Рисунок 15 – Зависимость содержания транс-хлордана от веса сёмги ($r_s = 0,857$ при $p < 0,01$ до $0,05$)

Длина тела рыб – это важный параметр промышленного, любительского и спортивного вылова (добычи) водных биологических объектов (рыб). Самой

важной длиной тела является промысловая мера – это минимальный размер водного биологического объекта, допустимый к вылову, который определяется измерением расстояния от вершины рыла до основания средних лучей хвостового плавника (Долгов и др., 2011). Этот показатель был установлен для поддержания численности промыслово-ценных видов гидробионтов на том уровне, при котором их можно добывать без вреда для их популяций. Местное население постоянно руководствуется этим параметром при установке орудий улова. В Ненецком АО, согласно установленным правилам, для каждого вида рыб существует своя разрешенная минимальная промысловая длина, так для добычи сёмги размер должен быть не меньше 40 см., азиатской корюшки – 14 см., наваги – 18 см., сельди – 15 см, сига – 30 см., арктического гольца – 40 см (Об утверждении правил рыболовства ..., 2021). В исследованной выборке образцов рыб была получена положительная связь между промысловой длиной тела и содержанием ПХБ 128 ($r_s = 0,248$) и транс-хлордана ($r_s = 0,312$). В сёмге с увеличением длины тела увеличивается содержание других СОЗ: ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 138, *p,p'*-ДДЕ, цис-нонахлор и транс-нонахлор, коэффициент корреляции варьировал от 0,786 до 0,857 при $p < 0,01$ до 0,05. Для азиатской корюшки с возрастанием длины тела характерно накопление ГХБ ($r_s = 0,900$; $p < 0,01$ до 0,05) и ПХБ 101 ($r_s = 0,894$; $p < 0,01$ до 0,05).

Из всех групп веществ, входящих в состав организмов рыб, липиды наиболее быстро реагируют на изменения многих экологических факторов. В течение первых лет жизненного цикла липидный обмен существенно меняется, обеспечивая адаптацию рыб к изменениям окружающей среды (Мурзина и др., 2019; Нефедова и др., 2019). Особое значение для человека имеют полиненасыщенные жирные кислоты (Омега-3), которые содержатся в жирных сортах рыб (Першина, 2019). Регулярное потребление рыбы является одним из основных источников энергии для жителей Севера (Петрений и др., 2011). Рыбные продукты так же обладают антистрессовым эффектом (Никифорова и др., 2018), отказ или уменьшение потребления более жирных видов рыб может способствовать развитию вредной привычки (алкоголизма), вследствие

увеличения концентрации кортикостероидов, отвечающих за уровень тревожности. Несмотря на важность включения в рацион рыбных продуктов богатых липидами, данные макромолекулы способны накапливать загрязняющие вещества, которые хорошо растворимы в липидах. В настоящее время содержание липидов является основным фактором накопления в органах и тканях живых организмов СОЗ, как основных липофильных загрязнителей (Lakhmanov et al., 2020).

В исследуемой выборке образцы рыб по среднему содержанию жира были разделены на постную, содержание жира в которой меньше 1 % (навага, - сиг, щука), средней жирности – содержание жира 1–2 % (арктический голец, сельдь, азиатская корюшка) и жирную – с содержанием жира больше 2 % (сёмга, горбуша) рыбу. Показано, что в общей выборке образцов накопление ПХБ и ХОП зависит от содержания липидов в мышцах исследуемых рыб, значение r_s находится в диапазоне от 0,250 до 0,806; $p < 0,01$ до 0,05 (приложение Б). Эта зависимость особенно выражена для ПХБ 105 ($r_s = 0,727$), ПХБ 118 ($r_s = 0,746$), цис-нонахлора ($r_s = 0,776$) и транс-нонахлора ($r_s = 0,806$). Очень высокая положительная связь между уровнем транс-нонахлора и содержанием липидов в мышцах исследованных образцов рыб представлена на рисунке 16. У горбуши, по сравнению с другими видами исследуемых образцов наблюдаются зависимости по всем установленным уровням ПХБ и ХОП, максимальное значение $r_s = 0,698$ характерно для ПХБ 128, что является наибольшим средним уровнем в изучаемых образцах.

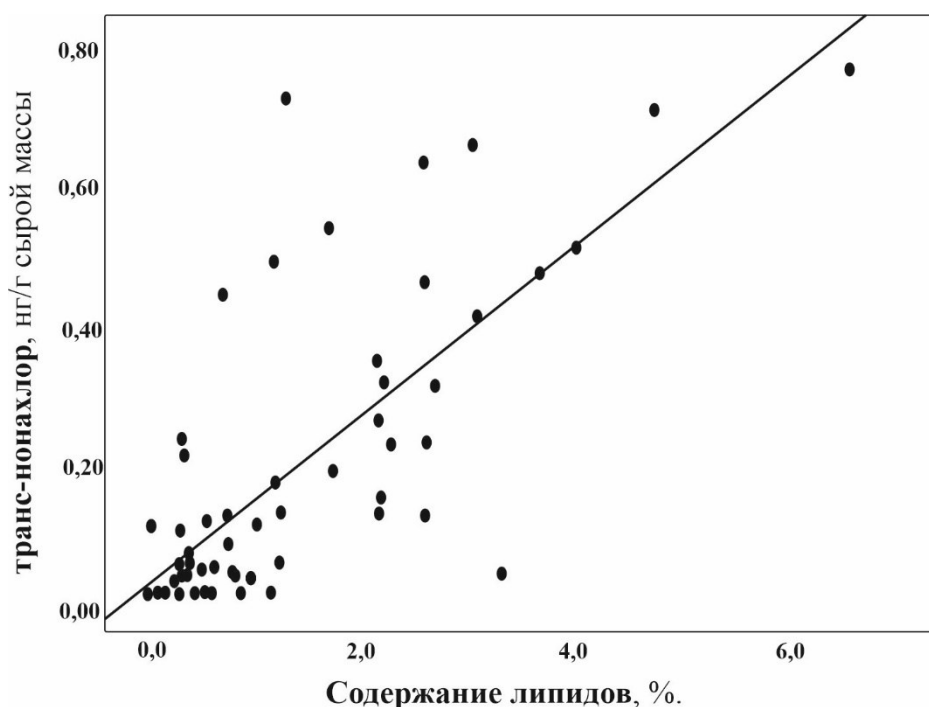


Рисунок 16 – Зависимость между концентрацией транс-нонахлора и содержанием липидов, в мышцах исследованных образцов рыб

Постные виды рыб в меньшей степени накапливают ПХБ и ХОП, по сравнению с жирными сортами. Однако навага, являясь постной рыбой, при содержании жира 0,27–1,03 % в большей степени накапливает транс-хлордан ($r_s = 0,638$), по сравнению с видами рыб средней жирности. Похожая картина наблюдается и для рыб средней жирности (азиатская корюшка и арктический голец), где связь между содержанием липидов и накоплением ПХБ 101 ($r_s = 0,894$), ПХБ 118 ($r_s = 0,650$) в этих образцах, была выше по сравнению с жирными видами (сёмга, горбуша) ($r_s = 0,721$; $r_s = 0,604$). Такие различия могут быть связаны не только с истинным уровнем липидов, но и в какой форме данные молекулы представлены в определённом возрасте жизни данных видов рыб (Мурзина и др., 2019).

Кроме того, нами были выявлены взаимосвязи между несколькими конгенерами (приложение Б, таблица Б.1). Очень высокая положительная связь между \sum ПХБ и \sum ДДТ наблюдалась при сравнении всех видов исследованных образцов рыб ($r_s = 0,833$). Сильная положительная корреляция наблюдалась

между Σ ДДТ и цис-нонахлором ($r_s = 0,773$), транс-нонахлором ($r_s = 0,808$), и транс-хлорданом ($r_s = 0,732$). Между ПХБ 101 и ПХБ 118 ($r_s = 0,827$), между ПХБ 153 и ПХБ 101 ($r_s = 0,813$) так же наблюдалась очень высокая положительная связь. Подобные ассоциации были выявлены и в ранее опубликованных исследованиях (Storelli et al., 2009). Для горбуши, в виду более высокого отношения Σ ДДТ к Σ ПХБ, коэффициент корреляции между ПХБ 153 и p,p' -ДДЕ ($r_s = 0,973$; $p < 0,01$) наиболее выражен по сравнению с общей корреляцией между ПХБ 153 и p,p' -ДДЕ для других исследуемых образцов рыб. Такой высокий коэффициент между соединениями предполагает, что эти СОЗ поступают из аналогичных источников и отражают старое загрязнение, которое может быть фоновым загрязнением в этой области.

Таким образом, основным фактором накопления ПХБ и ХОП в мышечной ткани изучаемых рыб является содержание липидов, коэффициент корреляции Спирмена варьирует от 0,250 до 0,806 (при $p < 0,01$ до 0,05). Чем выше содержание липидов, тем выше уровень содержания соединений ДДТ, ПХБ и других ХОП. Установлено, что в горбуше накопление всех полученных уровней СОЗ зависит от содержания жира, что обусловлено особенностями быстрого роста особей за короткий жизненный цикл. Данный вид можно рассматривать как модельный объект ихтиофауны для токсикологических исследований в природных условиях Арктики, так как за 1+ лет существования условия окружающей среды изменяются одинаково для всех особей одного региона. Кроме того, с точки зрения повышения химической безопасности горбушу предпочтительнее включать в питание определенным категориям жителей арктического региона (например, беременные и кормящие женщины), так как сёмга примерно одного и того же возраста с одинаковым уровнем содержания липидов накапливает СОЗ больше, чем горбуша.

3.3 Уровни содержания стойких органических загрязнителей в организме человека АЗРФ

Определение уровня содержания СОЗ в сыворотке крови человека является одним из наиболее достоверных способов оценки средней величины воздействия ПХБ и ХОП на здоровье человека (Ревич и др., 2012; World Health Organisation ...). Несмотря на доступность данных из ранее проведенных исследований по изучению сыворотки крови жителей Ненецкого АО (Хурцилава и др., 2017; Чащин и др., 2017; АМАР, 2004; АМАР, 2009), полученные результаты не в полной мере отражают влияние СОЗ на здоровье всех жителей в целом. Это связано с ограниченными территориями исследования, в рамках данного региона: в работах были освещены только данные для жителей пос. Нельмин-Нос и пос. Индига. Кроме того, объектом исследования была только сыворотка крови женской части населения, лишь в единичных работах рассмотрено мужское население.

Поэтому, можно считать, что в настоящей работе впервые приведены масштабные исследования по установлению актуального уровня ПХБ и ХОП, входящих в перечень Стокгольмской конвенции, у женщин и мужчин проживающих в 7 населенных пунктах, расположенных на островных (пос. Бугрино, пос. Варнек), прибрежных морских (пос. Шойна, пос. Амдерма, пос. Индига) и речных (пос. Нельмин-Нос, пос. Красное) территориях Ненецкого АО.

3.3.1 Общее содержание ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей Ненецкого АО

В ходе исследования были получены экспериментальные данные по содержанию в сыворотке крови жителей (n=297), проживающих на территории

Ненецкого АО: 11 конгенов ПХБ, 10 соединений ХОП, включающие метаболиты ДДТ, соединения ноахлора, хлордана, ГХЦГ и другие. В исследованиях посвященных арктическим территориям данные по содержанию СОЗ в сыворотке крови человека представлены в различных единицах измерения: чаще в исследованиях (Дударев и др., 2016; Hjermitsev et al., 2019, Long et al., 2015) результаты представлены в нг/г липидов, но в немногочисленных работах по Арктике (Хурцилава и др., 2017; Чащин и др., 2017; АМАР, 2004; Laird et al., 2013) ученые используют мкг/л. Кроме того, существуют различия и в представлении данных. Многие исследователи используют различные меры статистики: в работах встречаются как медианные (Long et al., 2015; Rylander et al., 2011), средние геометрические (Pavuk et al., 2014; Sandanger et al., 2009), средние арифметические (Хурцилава и др., 2017; Rylander et al., 2011) и другие значения. Поэтому, для обеспечения сопоставимости наших результатов с результатами других исследований, мы использовали медианные (M_e) и средние геометрические ($M_{\text{геом}}$) значения, в качестве мер центральной тенденции, и диапазон (минимальное-максимальное значение) в качестве меры изменчивости. Для среднего геометрического значения был рассчитан 95% доверительные интервал (ДИ). Основные результаты по содержанию обнаруженных ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей Ненецкого АО, средний возраст которых составил 48 лет (18–87), а средний уровень содержания липидов 613 (316–1113) мг/дЛ, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Содержание ПХБ и ХОП в сыворотке крови исследуемой популяции жителей Ненецкого АО

Соединения	ПКО ¹ (нг/мл)	Концентрация нг/мл крови				Концентрация в нг/г липидов крови			
		$M_{\text{геом}}$	95 % ДИ	M_e	Диапазон	$M_{\text{геом}}$	95 % ДИ	M_e	Диапазон
<i>Метаболиты ДДТ</i>									
<i>o,p'</i> -ДДЕ	0,020	0,08	0,07-0,09	0,11	<ПКО-3,97	12,6	10,8–14,7	16,5	<ПКО-597
<i>p,p'</i> -ДДЕ	0,107	0,44	0,38-0,51	0,41	<ПКО-12,5	73,0	63,6–83,8	69,9	<ПКО-2578
<i>p,p'</i> ДДД	0,047	0,06	0,05-0,07	0,03	<ПКО1,08	10,1	8,77–11,7	5,04	<ПКО-194

Продолжение таблицы 11

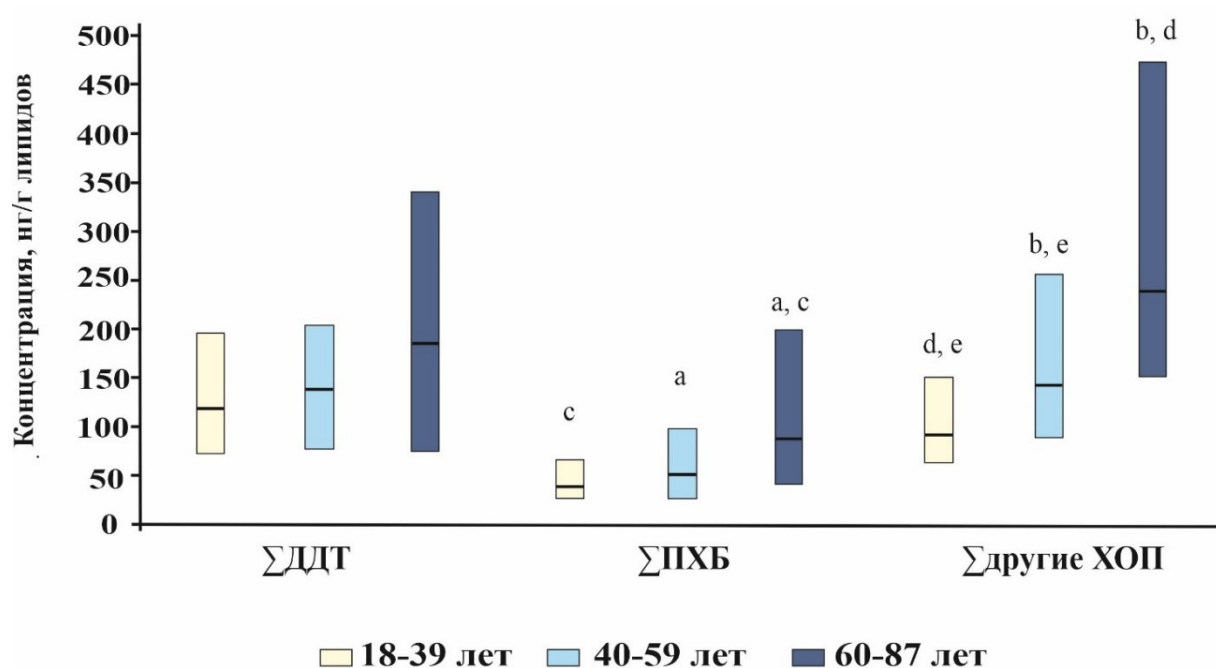
Соединения	ПКО ¹ (нг/мл)	Концентрация нг/мл крови				Концентрация в нг/г липидов крови			
		М _{геом.}	95 % ДИ	Ме	Диапазон	М _{геом.}	95 % ДИ	Ме	Диапазон
<i>Полихлорированные бифенилы</i>									
ПХБ 118	0,080	<ПКО	- ²	<ПКО	<ПКО-1,43	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-184
ПХБ 138	0,093	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-4,17	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-811
ПХБ 153	0,025	0,10	0,08-0,12	0,12	<ПКО-14,8	16,7	13,9–20,0	21,1	<ПКО-2641
ПХБ 180	0,012	0,03	0,02-0,03	0,03	<ПКО-8,30	4,31	3,51–5,28	5,00	<ПКО-1423
ПХБ 183	0,054	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-0,18	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-48,5
<i>Другие хлорорганические пестициды</i>									
ГХБ	0,034	0,31	0,27-0,36	0,34	<ПКО-4,70	52,3	45,5–60,1	55,8	<ПКО-768
β -ГХЦГ	0,020	0,10	0,09-0,12	0,10	<ПКО-2,09	17,4	15,3–19,8	16,9	<ПКО-314
Альдрин	0,093	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-6,89	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-987
Мирекс	0,060	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-0,71	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-111
транс-Нонахлор	0,086	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-0,87	<ПКО	-	<ПКО	<ПКО-132
1,2,3,5-ТХБ	0,011	0,011	0,01-0,01	<ПКО	<ПКО-2,25	1,83	1,50–2,23	<ПКО	<ПКО-502
¹ -предел количественного обнаружения. ² -для среднее геометрического значения 95% ДИ не рассчитывался, так как значение было <ПКО.									

У жителей Ненецкого АО были обнаружены следующие СОЗ в сыворотке крови: ПХБ 118, ПХБ 138, ПХБ 153, ПХБ 180, ПХБ 183, *p,p'*-ДДЕ, *o,p'*-ДДЕ, *p,p'*-ДДД, ГХБ, β -ГХЦГ, транс-нонахлор, альдрин, мирекс 1,2,3,5-ТХБ. Соединения: ПХБ 28, ПХБ 52, ПХБ 101, ПХБ 105, ПХБ 123, ПХБ 128, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, гептахлор, 1,2,4,5-ТХБ, цис-хлордан, транс-хлордан и цис-нонахлор были ниже ПКО во всей исследуемой выборке образцов.

Соединения *o,p'*- ДДЕ, *p,p'*- ДДЕ, ГХБ и β -ГХЦГ были обнаружены в 76–94 % всех проб со значениями М_{геом.} 12,6; 73,0; 52,3 и 17,4 нг/г липидов соответственно. Из группы ПХБ доминировал конгенер 153, обнаруженный в 75,1 % образцов, средняя геометрическая концентрация составила 16,7 нг/г липидов. ПХБ 180 был обнаружен в 54,2 % исследуемых проб со значением М_{геом.} 4,31 нг/г липидов. Доля обнаружения других соединений варьировала в пределах от 1,3 до 35,0 % анализируемых образцов. Суммарное содержание метаболитов ДДТ составило 132 нг/г липидов, что примерно в 2 раза выше по сравнению с суммарным содержанием обнаруженных ПХБ и других ХОП. Ранее проведенные исследования на других арктических территориях подтверждают, что

доминирующими соединениями в сыворотке крови населения были ПХБ 153, *p,p'*-ДДЕ (Hjermitslev et al., 2019, Long et al., 2015; Xu et al., 2022).

К числу факторов, оказывающих влияние на содержание большинства СОЗ в сыворотке крови жителей Крайнего Севера, не зависимо от конкретного района их проживания, следует отнести пол и возраст (Дударев, 2009). Среднее содержание Σ ДДТ, Σ ПХБ и Σ другие ХОП в сыворотке крови у лиц старшей возрастной группы (60 лет и старше) в 1,2–2,2 раз превышает показатели, характерные для лиц более молодого возраста, в соответствии с рисунком 17.



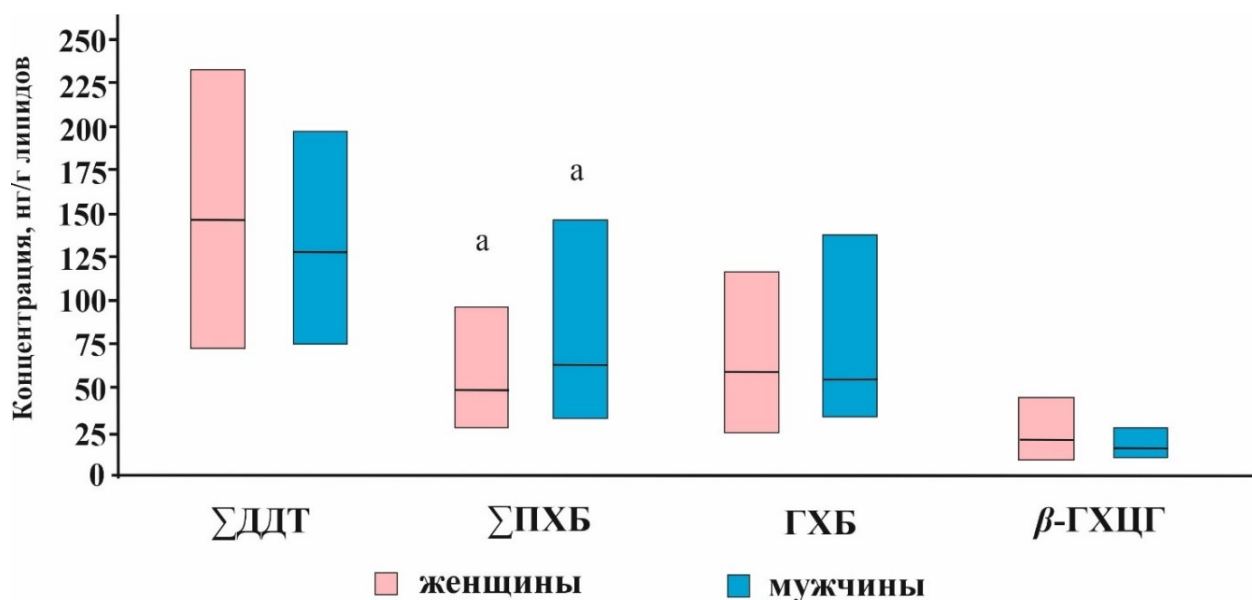
На рисунке показаны квартили [25%; 75%] и медиана. Для оценки значимости различий использован непараметрический критерий Манна-Уитни. Латинские буквы означают значимые различия между группами при $p \leq 0,001$.

Рисунок 17 – Концентрация основных групп СОЗ в сыворотке крови в зависимости от возраста жителей Ненецкого АО

Наибольший медианный уровень Σ ДДТ, Σ ПХБ₅ и Σ другие ХОП характерно для лиц возрастной группы 60–87 лет, что составило 153; 99 и 212 нг/г липидов, соответственно. Подобные различия так же были выявлены у жителей Северной Италии возрастных группах 20–39 лет, 40–59 лет и 60–79 лет

(Zani et al., 2019). Жители возрастной группы 60–87 лет прожили большую часть жизни до введения запрета на использования контаминантов по сравнению с более молодым населением. Статистически значимое различие в уровнях этих метаболитов во всех изученных возрастных группах характерно только для Σ другие ХОП ($p \leq 0,001$), согласно критерию Манна-Уитни. Уровень содержания в сыворотке крови Σ ПХБ₅ был значим ($p \leq 0,001$) только между людьми молодого возраста (18–39 лет) и пожилого возраста (60–87 лет), и между людьми среднего возраста (40–59 лет) и пожилого возраста. По Σ ДДТ в зависимости от возраста статистически значимых различий выявлено не было.

При рассмотрении исследуемой выборки по половому признаку медианный уровень содержания Σ ДДТ и β -ГХЦГ в сыворотке крови женщин (147 и 18,8 нг/г липидов) был выше, чем у мужчин (127 и 14,4 нг/г липидов), но данное различие не является статистически значимым (рисунок 18).



На рисунке показаны квантили [25%; 75%] и медиана. Для оценки значимости различий использован непараметрический критерий Манна-Уитни. Латинские буквы означают значимые различия между группами при $p \leq 0,05$.

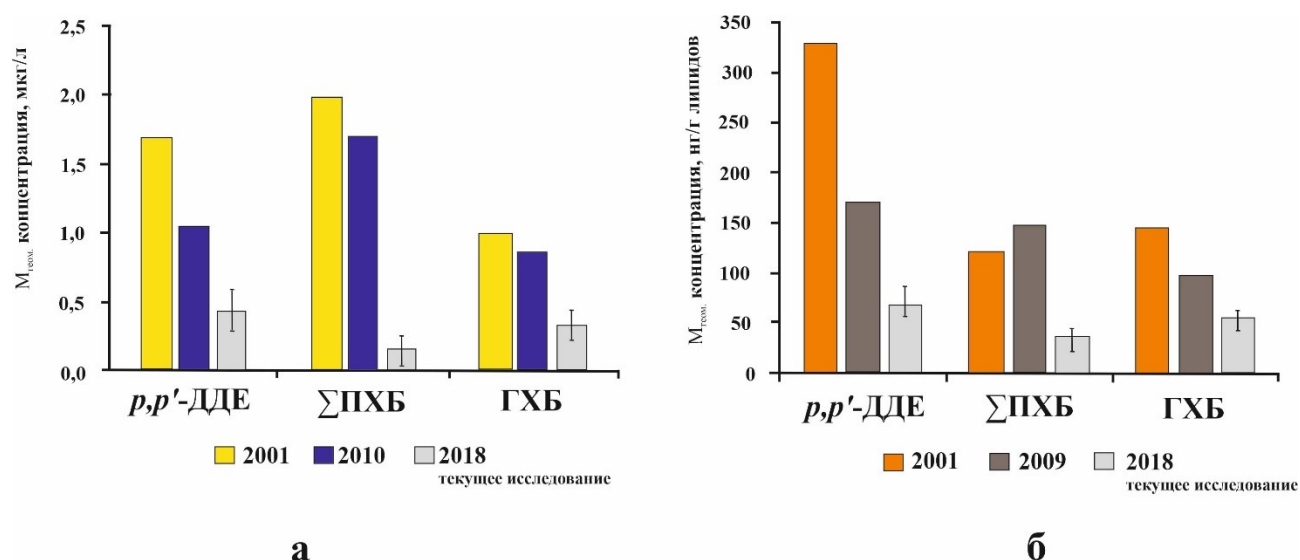
Рисунок 18 – Содержание основных СОЗ в сыворотке крови женщин и мужчин Ненецкого АО

Средняя геометрическая концентрация Σ ПХБ₅ и ГХБ в сыворотке крови мужчин была выше, чем у женщин и составила 74,1 и 61,3 нг/г липидов, соответственно. Статистически значимое различие, согласно критерию Манна-Уитни характерно только для Σ ПХБ₅, где у мужчин (Me = 62,6) концентрация была выше, чем у женщин (Me = 47,5), $U = 8076$, $Z = -1,97$, $p = 0,048$. Вероятно, высокие уровни СОЗ у мужчин связаны с потреблением ими большого количества мяса и рыбы, а также способности женского организма частично выводить жирорастворимые вещества. Такие же различия в уровнях содержания Σ ДДТ, Σ ПХБ, ГХБ и β -ГХЦГ в зависимости от пола, были ранее установлены в работах (Хурцилава и др., 2017, (Sandanger et al., 2009).

В Российской Федерации нормативы на содержание СОЗ в сыворотке крови человека не установлены, однако за рубежом существуют уровни «беспокойства» (повышенного риска) и «действий» (высокого риска) для ПХБ: 5 мкг/л – уровень «беспокойства», 100 мкг/л – уровень «действий» (Health Canada ..., 2010) на основании которых можно судить о том, насколько исследуемые популяции подвергаются риску неблагоприятного для здоровья воздействия СОЗ. С использованием данного подхода проведен соответствующий анализ, было выявлено, что средний уровень ПХБ во всей исследуемой выборке составляет 0,13 мкг/л, что соответствует низкому риску воздействия этого конгенера на здоровье жителей Ненецкого АО. Однако 2,7 % (концентрация варьируется от 5,0 до 25,9 мкг/л) людей испытывают повышенный риск от воздействия ПХБ, который может оказывать серьезное влияние на здоровье человека, а именно на репродуктивную систему организма. Это доказывают ранее проведенные исследования (Дударев, 2009; АМАР, 2004), где оценивали взаимосвязь экспозиции СОЗ на исходы беременностей. Исследователями было установлено, что более высокие концентрации ПХБ и ХОП имели роженицы, чьи дети родились мертвыми и чьи дети имели врожденные пороки развития (Дударев, 2009).

Концентрация СОЗ в сыворотке крови человека за последние десятилетия в Арктике снизилась (Abass et al., 2018; Bravo et al., 2019). Данные по

европейской части Российской Арктики доступны в малом перечне публикаций и характерны для непродолжительного временного интервала (Хурцилава и др., 2017; Чашин и др., 2017; АМАР, 2004; АМАР, 2009; Rylander et al., 2011; Sandanger et al., 2009), следовательно, до настоящего момента временные тренды для населения Ненецкого АО в целом (женщины и мужчины) проследить было сложно. Сравнение результатов текущего исследования с данными, полученными в период с 2001 по 2010 гг., дает уникальную возможность оценить различия в концентрации СОЗ у жителей Ненецкого АО за 2 промежутка времени в 8–9 лет. Полученные результаты указывают на четкую тенденцию к снижению уровня содержания *p,p'*-ДДЕ, Σ ПХБ (ПХБ 118, ПХБ 138, ПХБ 153), ГХБ в периоды с 2001 по 2010 гг. (Хурцилава и др., 2017) и с 2001 по 2009 гг. (Rylander et al., 2011), и далее до 2018 г., как показано на рисунке 19. Однако уровень содержания β -ГХЦГ в сыворотке крови исследованной популяции в работе (Rylander et al., 2011) был ниже по сравнению с полученными данными в настоящем исследовании.



а) Хурцилава и др., 2017;
 б) Rylander et al., 2011; АМАР, 2009; Sandanger et al., 2009.

Рисунок 19 – Сравнение содержания отдельных СОЗ (среднее геометрическое) в сыворотке крови жителей Ненецкого АО (2018 год) с данными ранее проведенных исследований

Интересно, что наиболее выраженное снижение характерно в период с 2009–2010 по 2018 год. Установленный тренд наблюдается в большей степени вследствие введенного запрета использования СОЗ в 2002 году (Stockholm Convention, 2001). Однако, следует учитывать различия, которые могли повлиять на полученные результаты. Прежде всего, это заключается в составе и количестве выборок в предыдущих исследованиях, например: в работе (Хурцилава и др., 2017) $n=347$ человек в 2001 году, и $n=152$ человек в 2010 году, анализ проводился лишь у жителей пос. Нельмин-Нос и пос. Индиги, средний возраст составил 37 лет; в (Rylander et al., 2011) объём выборки $n=109$ в 2009 году, средний возраст – 31 год, а в работе (АМАР, 2009; Sandanger et al., 2009) $n=44$ в 2001-2003, средний возраст – 41 год и в обоих исследованиях рассматривались только жители пос. Нельмин-Нос.

В нашем исследовании средний возраст жителей составил 48 лет, территориальный охват намного шире – 7 поселков Ненецкого АО, расположенных на различном удалении друг от друга, включая ранее не рассматриваемые островные территории. В связи с этим, темпы снижения СОЗ оценить сложно, но в совокупности, текущие результаты в сочетании со старыми данными указывают на тенденцию к снижению уровня СОЗ в сыворотке крови жителей данного региона, и тем самым подтверждают положительный эффект национальных и международных ограничений на химические вещества.

Похожая тенденция к снижению концентраций СОЗ отмечается и в других арктических странах, согласно данным приведённым в п. 1.2.1 таблица 3. Например, концентрация *p,p'*-ДДЕ и ПХБ 153 в сыворотке крови женщин в Гренландии уменьшилась вдвое, концентрация ГХБ уменьшилась в шесть раз, а концентрация β -ГХЦГ снизилась в 10 раз за период с 2005 по 2015 г. (Bjerregaard et al., 2007; Eik Andav et al., 2007; Hjermitsev et al., 2019).

Таким образом, нами впервые были установлены уровни содержания ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей (мужчин и женщин) семи поселков Ненецкого АО, средние геометрические концентрации Σ ПХБ₅, Σ ДДТ, Σ другие ХОП составили 21,0; 95,7 и 69,3 нг/г липидов, соответственно. Показано, что

доминирующими ксенобиотиками в сыворотке крови жителей исследуемого региона являются: p,p' -ДДЕ, ПХБ 153, ГХБ и β -ГХЦГ. Наибольшие уровни содержания СОЗ характерны для лиц 60 лет и старше. У мужчин отмечены более высокие концентрации ПХБ, чем у женщин. В период с 2009 по 2018 гг., уровень содержания p,p' -ДДЕ, Σ ПХБ, ГХБ в сыворотке крови жителей пос. Нельмин-Нос уменьшился в 2,1–10,0 раз.

3.3.2 Влияние места проживания на уровень содержания ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей Ненецкого АО

Наряду с возрастом и полом, место проживания является еще одним фактором, влияющим на накопление СОЗ в сыворотке крови населения. Так, например, в Гренландии, самые высокие концентрации p,p' -ДДЕ, ПХБ 153 были отмечены у населения, проживающего в северной части по сравнению с другими частями острова, а в восточной части уровень содержания Σ ПХБ в 4-6 раз выше по сравнению с другими территориями (Long et al., 2015, Long et al., 2021). На Чукотке жители северо-восточных поселений испытывают большую нагрузку от СОЗ, чем жители других районов (Bravo et al., 2019). Кроме того, в литературе сообщалось (Long et al., 2015), что многие арктические популяции, демонстрируют более высокую нагрузку СОЗ на организм, чем люди, живущие в промышленно развитых регионах и близко к основным источникам выбросов.

Несмотря на обширную территорию Ненецкого АО, ранее проведенные исследования охватывали только жителей пос. Нельмин-Нос и пос. Индиги (Хурцилава и др., 2017). В полной мере биомониторинговые данные доступны только для жителей пос. Нельмин-Нос, что свидетельствует о наличии сывороточных концентраций отдельных СОЗ из более ранних периодов исследования (АМАР, 2004; Rylander et al., 2011). Поэтому, наряду с этими поселками мы исследовали еще островные территории Ненецкого АО: о. Колгуев (пос. Бугрино) и о. Вайгач (пос. Варнек), прибрежные районы

Карского моря (пос. Амдерма), Белого моря (пос. Шойна) и реки Печоры (пос. Красное). Полученные уровни содержания ПХБ и ХОП в сыворотке крови жителей семи населенных пунктов Ненецкого АО представлены в таблице 12, приложении В таблица В1.

Таблица 12 – Уровень содержания СОЗ в сыворотке крови жителей Ненецкого АО, нг/г липидов

Соединения	Меры	Бургино, n=38	Варнек, n=17	Шойна, n=43	Амдерма, n=50	Индига, n=50	Нельмин-Нос, n=50	Красное, n=49	р-значение ¹
<i>Полихлорированные бифенилы</i>									
ПХБ 118	M _{геом.}	<ПКО ³	<ПКО	<ПКО	16,96	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<0,001
	95% ДИ	6,97-9,47	6,48-18,5	8,03-13,2	14,05-20,5	8,88-14,7	6,95-9,02	7,76-11,0	
	Диапазон	<ПКО-34,6	<ПКО-184	<ПКО-76,9	<ПКО-48,2	<ПКО-129	<ПКО-51,6	<ПКО-57,6	
	Ме	<ПКО	<ПКО	<ПКО	17,36	<ПКО	<ПКО	<ПКО	
ПХБ 138	M _{геом.}	ПКО	99,2	20,3	17,3	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<0,001
	95% ДИ	11,2-19,4	49,6-199	15,7-26,1	14,2-21,2	8,61-13,7	7,66-10,4	7,53-11,2	
	Диапазон	<ПКО-117	<ПКО-811	<ПКО-114	<ПКО-67,7	<ПКО-163	<ПКО-54,6	<ПКО-96,9	
	Ме	<ПКО	111	20,5	17,16	<ПКО	<ПКО	<ПКО	
ПХБ 153	M _{геом.}	22,3	266	23,3	27,1	9,35	8,80	<ПКО	<0,001
	95% ДИ	14,1-35,2	96,1-736	15,8-34,3	20,1-36,6	6,29-13,9	6,22-12,5	4,98-12,8	
	Диапазон	<ПКО-261	<ПКО-2641	<ПКО-172	<ПКО-197	<ПКО-292	<ПКО-77,2	<ПКО-165	
	Ме	28,6	519	30,2	30,2	10,9	11,5	10,5	
ПХБ 180	M _{геом.}	13,0	161	8,59	12,2	ПКО	<ПКО	ПКО	<0,001
	95% ДИ	9,27-18,2	64,1-406	6,17-12,0	8,82-16,9	- ²	-	-	
	Диапазон	5,04-270	3,33-1423	ПКО-74,6	ПКО-96,6	ПКО-118	ПКО-1,20	ПКО-65,1	
	Ме	8,01	312	8,81	16,2	ПКО	ПКО	ПКО	
ПХБ 183	M _{геом.}	<ПКО	15,4	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<0,001
	95% ДИ		9,53-24,8						
	Диапазон		<ПКО-48,5						
	Ме		17,7						
<i>Метаболиты ДДТ</i>									
o,p'-ДДЕ	M _{геом.}	16,6	25,5	14,8	5,49	3,47	18,4	41,0	<0,001
	95% ДИ	11,8-23,6	18,4-35,3	11,1-19,8	3,80-7,94	2,67-4,51	12,9-26,3	32,4-52,0	
	Диапазон	<ПКО-77,0	8,73-67,0	<ПКО-244	<ПКО-275	<ПКО-24,0	<ПКО-138	<ПКО-597	
	Ме	22,4	29,0	17,1	7,23	<ПКО	24,1	40,0	
p,p'-ДДЕ	M _{геом.}	81,2	121	119	140	39,9	37,9	68,3	<0,001
	95% ДИ	59,8-110	56,5-260	82,8-170	108-182	29,7-53,6	27,0-53,3	48,6-96,1	
	Диапазон	<ПКО-733	<ПКО-1239	<ПКО-1318	<ПКО-1315	<ПКО-336	<ПКО-233	<ПКО-2578	
	Ме	66,5	160	161	132	38,3	58,2	62,1	
p,p'-ДДД	M _{геом.}	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	39,7	73,5	<0,001
	95% ДИ				-		32,8-48,2	62,9-85,8	
	Диапазон				<ПКО-30,5		<ПКО-183	<ПКО-194	
	Ме				<ПКО		39,3	79,9	
<i>Другие хлорорганические пестициды</i>									
ГХБ	M _{геом.}	59,7	73,2	22,2	33,5	106	45,6	78,1	<0,001
	95% ДИ	38,2-92,3	40,0-134	16,2-30,5	26,5-42,4	70,8-159	34,4-60,4	59,4-103	
	Диапазон	<ПКО-358	<ПКО-363	<ПКО-121	<ПКО-250	<ПКО-768	<ПКО-713	ПКО-335	
	Ме	80,3	75,2	25,2	37,6	160	41,8	98,3	
β-ГХЦГ	M _{геом.}	10,6	15,3	23,1	26,0	20,2	10,4	20,2	<0,001
	95% ДИ	7,43-15,1	8,98-26,2	15,9-33,6	19,4-34,8	15,2-26,7	7,84-13,7	14,6-27,9	
	Диапазон	<ПКО-137	<ПКО-81,5	<ПКО-276	ПКО-232	<ПКО-139	<ПКО-92,3	<ПКО-314	
	Ме	10,2	17,7	26,2	22,4	17,0	11,6	20,4	
Альдрин	M _{геом.}	17,1	17,8	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	0,002
	95% ДИ	10,9-27,0	7,47-42,2		-				
	Диапазон	<ПКО-352	<ПКО-987		<ПКО-50,5				
	Ме	<ПКО	<ПКО		<ПКО				
Мирекс	M _{геом.}	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	0,017
	95% ДИ	<ПКО	<ПКО		<ПКО				
	Диапазон	<ПКО-36,6	<ПКО-10,5		<ПКО-111				
	Ме	<ПКО	<ПКО		<ПКО				
транс-Нонахлоp	M _{геом.}	<ПКО	27,6	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	0,001
	95% ДИ		15,7-48,4	-	-	-	-		
	Диапазон		<ПКО-132	<ПКО-65,0	<ПКО-44,8	<ПКО-43,7	<ПКО-53,4		
	Ме		44,1	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО		

Продолжение таблицы 12

Соединения	Меры	Бугрино, n=38	Варнек, n=17	Шойна, n=43	Амдерма, n=50	Индига, n=50	Нельмин-Нос, n=50	Красное, n=49	р-значение ¹
1,2,3,5-ГХБ	M _{геом}	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	54,2	<ПКО	ПКО	<0,001
	95% ДИ				-	27,3-92,5			
	Диапазон				<ПКО-10,4	<ПКО-502			
	Ме				<ПКО	70,2			

¹ р-значение рассчитанные по тесту Краскела – Уоллиса;
² -нет данных;
³ -предел количественного обнаружения.

Полученные результаты для жителей пос. Нельмин-Нос примерно в той же возрастной группе свидетельствуют о снижении уровня содержания *p,p'*-ДДЕ, ГХБ, Σ ПХБ (118; 138; 153; 180) в сыворотке крови жителей по сравнению с результатами 2009 г. (Rylander et al., 2011) в 2,3; 2,9 и 17 раз, соответственно. Кроме того, у жителей этого поселка, по сравнению с жителями других исследованных районов, уровни содержания всех обнаруженных СОЗ были ниже.

Концентрации в сыворотке крови ПХБ 118 ($p < 0,001$), ПХБ 138 ($p < 0,001$), ПХБ 153 ($p < 0,001$), ПХБ 180 ($p < 0,001$), ПХБ 183 ($p < 0,001$) значительно различались между поселениями. Согласно 95% ДИ для M_{геом.}, жители, проживающие в пос. Варнек, имели самые высокие концентрации ПХБ 138; 153; 180 и 183, в то время как у жителей пос. Амдермы концентрации ПХБ 118 была наибольшей. Такие уровни содержания ПХБ у жителей островных территорий могут быть частично связаны с потреблением морских млекопитающих, однако ответы при анкетировании по данному вопросу вовсе отсутствовали. Но это может не соответствовать действительности, так как морские млекопитающие Баренцева моря, имеют концентрацию ПХБ более чем в 10 раз выше (Давыдов А.Н., Михайлова Г.В., 2013), по сравнению с другими видами традиционных продуктов питания Арктики (Давыдов А.Н., Михайлова Г.В., 2013; Дударев, 2009; АМАР, 2015; Lakhmanov et al., 2020; Long et al., 2015).

Среди всех обнаруженных ХОП *p,p'*-ДДЕ имеет наибольшие концентрации у всех участников из исследуемых населенных пунктов, со средним значением от 37,9 до 140,0 нг/г липидов. Точно так же, у жителей о. Вайгач и пос. Шойна, расположенных на севере и северо-западе Ненецкого АО, были обнаружены

более высокие медианные концентрации в сыворотке крови *p,p'*-ДДЕ, который является наиболее стойким метаболитом ДДТ (D'Amato et al., 2002). Прибрежные районы и островные территории Ненецкого АО наиболее подвержены загрязнению путем переноса ДДТ на большие расстояния до принятия смягчающих мер в соответствии со Стокгольмским Соглашением (Stockholm Convention, 2001). С другой стороны, происходит локальное загрязнение окружающей среды этими соединениями (Novikov, 2021; Zarevalov et al., 2022), приводящие к заражению организма человека через местные пищевые цепи (Nor et al., 2002; Muir et al., 2003; Polder et al., 2010).

Достаточно высокий уровень суммарной концентрации группы ХОП обусловлен наличием ГХБ во всех образцах сыворотки крови жителей Ненецкого АО. У жителей пос. Шойны и пос. Амдермы уровень содержания этого соединения в сыворотке крови был в 2,3–4,7 раз ниже, чем у жителей пос. Красного и пос. Индига. Вероятнее всего это связано с более частным потреблением пресноводной рыбы и молочной продукции, в которой было ранее отмечено повышенное содержание ГХБ (Bjermo et al., 2013; Törnkvist et al., 2011). Жители пос. Красного и пос. Индиги чаще потребляют молочные продукты, как было указано в анкетировании, основными источниками которых являются близко расположенные молочные заводы, по сравнению с другими исследуемыми поселениями. По остальным соединениям значимых различий не обнаружено.

Различия в уровнях содержания Σ ДДТ, Σ ПХБ Σ другие ХОП наглядно представлены на рисунке 20. Наибольшие геометрические средние значения Σ ПХБ₅ были зафиксированы у жителей пос. Варнек (Σ ПХБ₅=542 нг/г липидов), наименьший уровень характерен для жителей пос. Индиги, пос. Нельмин-Нос и пос. Красное, что составило меньше 9,35 нг/г липидов.

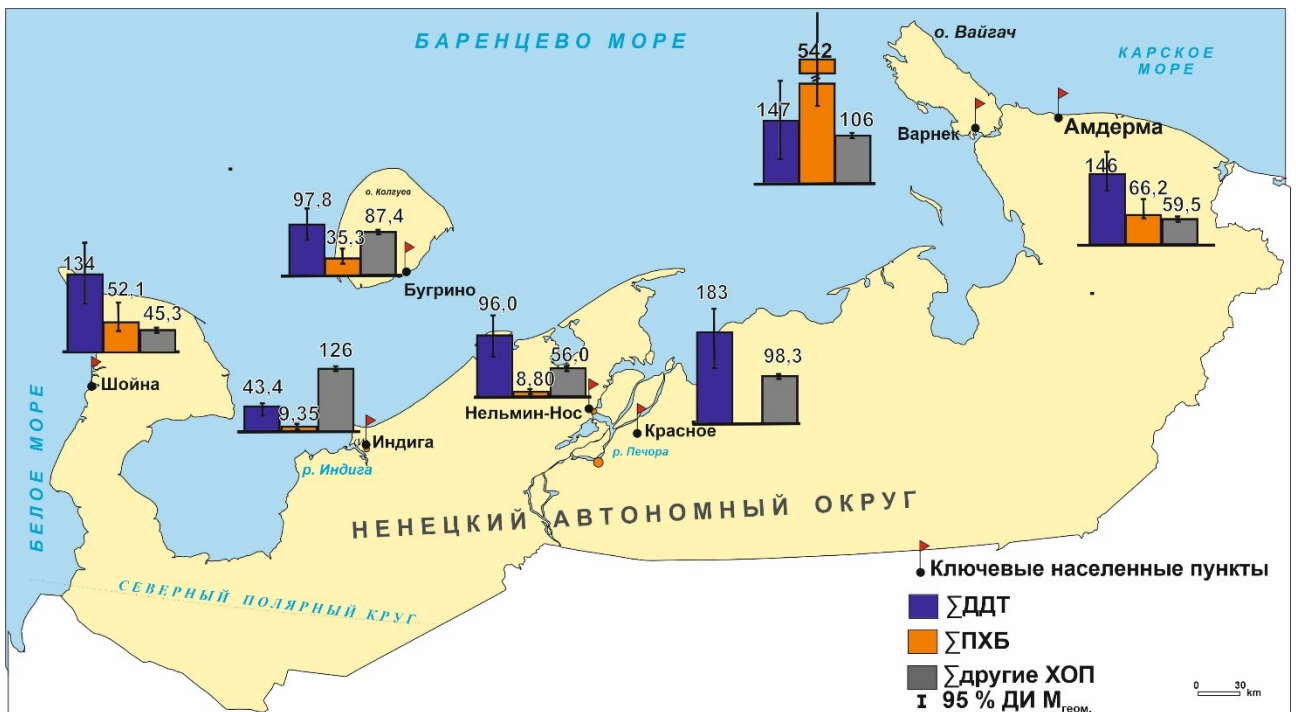


Рисунок 20 – Распределение основных групп СОЗ в сыворотке крови жителей Ненецкого АО в зависимости от места проживания, (среднее геометрическое значение, нг/г липидов)

Суммарное содержание метаболитов ДДТ было максимальным у жителей пос. Красное (185 нг/г липидов), несколько ниже – у жителей пос. Амдерма и пос. Варнек (146 нг/г липидов), а самый минимальный – у жителей пос. Индига (43,4 нг/г липидов). Стоит отметить, что сывороточные концентрации Σ ДДТ у жителей пос. Нельмин-Нос, который расположен в менее 50 км по Печоре от пос. Красного, были ниже в 2 раза. Однако содержание соединений группы Σ ДДТ было доминирующим для всех жителей исследуемых поселений Ненецкого АО, исключения составили пос. Варнек и пос. Индига, где преобладают соединения групп Σ ПХБ и Σ другие ХОП, соответственно.

Место проживания является важным фактором, влияющим на накопление СОЗ в сыворотке крови жителей в рамках одного региона. Максимальный уровень характерен для жителей о. Вайгач, концентрация Σ ПХБ была в 28 раз выше по сравнению со средним значением, обнаруженным во всей исследованной выборке жителей Ненецкого АО. Повышенный медианный

уровень *p,p'*-ДДЕ наблюдался в западной (пос. Шойна), ПХБ 118 в восточной (пос. Амдерма) и ГХБ в центральной частях Ненецкого АО (пос. Индига, пос. Красное). Таким образом, впервые получены уникальные данные о географических различиях СОЗ в сыворотке крови населения в Европейской части Российской Арктики.

3.4 Оценка экологических рисков СОЗ для здоровья жителей Ненецкого АО, связанных с потреблением промысловых видов рыб

Жители арктических территорий, используют в рационе различные виды традиционной продукции: рыбу, мясо оленя, дикую птицу и морских млекопитающих (АМАР, 2009; Vjerregaard et al., 2010; Vjerregaard et al., 2007; Bonefeld-Jorgensen, 2010). В исследованиях следующих авторов (Bonefeld-Jorgensen, 2010; Deutch et al., 2007; Deutch et al., 2003; Krüger et al., 2007) было указано, что традиционная пища является потенциальным источником СОЗ и тем самым влияет на здоровье человека, проживающего на этих территориях. По данным проведенного анкетирования, большую долю традиционного питания жителей Ненецкого АО составляют водно-биологические объекты – рыбы. Промысловые виды рыб и рыбопродукты занимают значительное место в питании населения Ненецкого АО. Данные виды продукции обладают высокими питательными свойствами, которые необходимы жителям этого региона, но в то же время они являются конечными «акцепторами» липофильных СОЗ (Lukyanova et al, 2018). Поэтому необходимо оценивать влияние потребления традиционных продуктов питания, так как СОЗ, даже в концентрациях ниже ПДК, накапливаются в организме человека в течение всей жизни и очень медленно выводятся, и таким образом могут наносить вред здоровью (Gerlach, 2013).

Основной подход, используемый в оценке экологического риска от СОЗ на здоровье человека, был впервые предложен и утвержден Агентством по защите

окружающей среды США (EPA) (Гелашвили и др. 2016). Данный подход включает: формулирование проблемы; сбор данных; анализ воздействия и токсичности; характеристику риска. Оценку экологического риска от ПХБ и ХОП для здоровья жителей Ненецкого АО, вследствие потребления ими промысловых видов рыб (сёмга, сельдь, арктический голец, горбуша, азиатская корюшка, сиг и щука) осуществляли с применением количественной оценки потенциального риска (системы коэффициентов), согласно разделу 2.6.

На основании данных о потреблении был рассчитан риск для здоровья жителей Ненецкого АО согласно суточному потреблению мышечной ткани отдельного вида рыб в граммах на человека в сутки, в соответствии с таблицей 13. Суточное потребление было рассчитано согласно указанным в анкетах частотам потребления, с учетом средней порции 150 г/сут, принятой ВОЗ (World Health Organisation ...). Средний вес людей в исследуемой выборке составил 71 кг, средний возраст 48 лет, продолжительность жизни 71,54 лет (Всероссийская перепись ..., 2010). Концентрации основных групп СОЗ в исследуемых видах рыб были пересчитаны в мг/кг сырой массы.

Таблица 13 – Суточное и годовое потребления промысловых видов рыб жителями Ненецкого АО, согласно данным анкетам

Вид	Суточное потребление, г/сут	Годовое потребление, кг/год	Доля жителей, потребляющих данный вид продукции, %
Сёмга	15,0	5,47	57,9
Сельдь	7,34	2,68	34,3
Горбуша	14,0	5,11	46,1
Арктический голец	10,6	3,87	34,6
Азиатская корюшка	11,2	4,09	38,0
Навага	15,0	5,47	63,0
Сиг	19,8	7,23	50,5
Щука	17,6	6,42	48,1

Обнаруженные группы соединений Σ ДДТ, Σ ПХБ и ГХБ имеют различный уровень содержания в мышцах восьми видов исследованных рыб. Так, например, в горбуше уровень Σ ДДТ выше по сравнению с другими группами соединений, а в других видах рыб наибольший уровень имеют соединения группы Σ ПХБ.

Соответственно, это может потенциально вызывать различные негативные эффекты для здоровья населения от потребления того или иного вида рыб. Поэтому оценку экологического риска осуществляли для каждого промыслового вида рыбы по идентифицированным соединениям СОЗ.

Оценка экологического риска для здоровья при воздействии токсикантов через рыбу, добываемую местным населением, оценивали по коэффициентам опасности и добавочного риска онкозаболеваний в течение жизни. Результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Коэффициенты опасности и добавочного риска онкозаболеваний в течение жизни при воздействии основных СОЗ, обнаруженных в мышцах восьми исследованных видов рыб для жителей Ненецкого АО

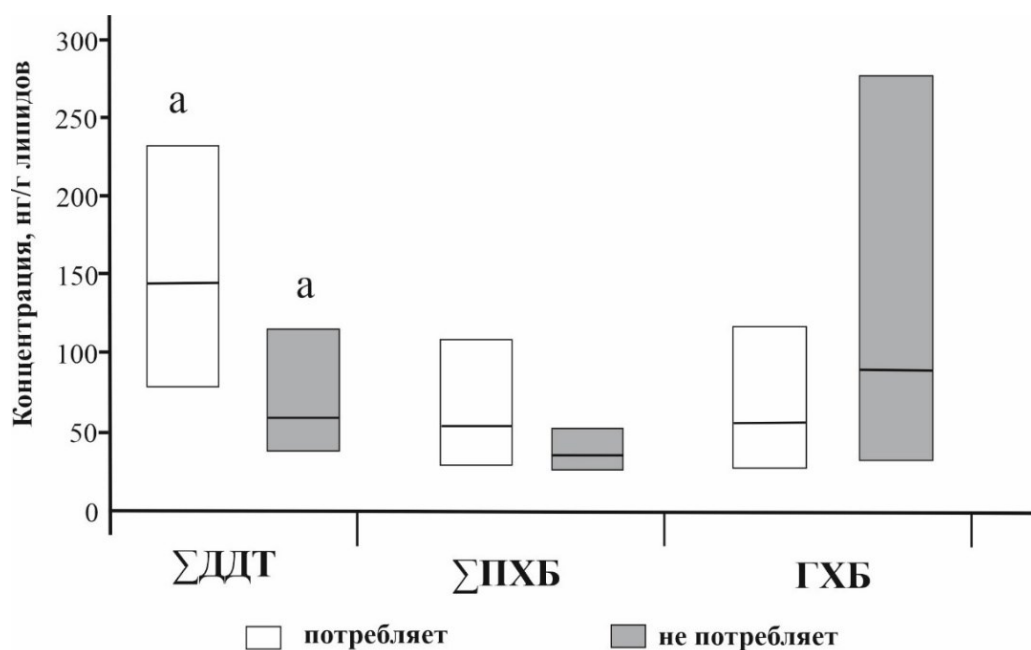
Соединения	Суточная доза для коэффициента опасности (Доза для HQ)	Коэффициент опасности (HQ)	Суточная доза канцерогенной нагрузки (Доза для ILCR)	Дополнительный риск онкозаболеваний течение жизни (ILCR)
Сёмга				
ΣДДТ	$6,1 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
ΣПХБ	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
ГХБ	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$
Сельдь				
ΣДДТ	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
ΣПХБ	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
Арктический голец				
ΣДДТ	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$
ΣПХБ	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$
Азиатская корюшка				
ΣДДТ	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-9}$
ΣПХБ	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-8}$
Горбуша				
ΣДДТ	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-8}$
ΣПХБ	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$7,7 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$
Навага				
ΣДДТ	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$8,1 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$
ΣПХБ	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$8,5 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$9,2 \cdot 10^{-8}$
Сиг				
ΣДДТ	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
ΣПХБ	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
ГХБ	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$
Щука				
ΣДДТ	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$
ΣПХБ	$6,7 \cdot 10^{-8}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$
ГХБ	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$

В результате проведенных расчётов было показано, что полученные значения коэффициентов опасности и дополнительного риска онкозаболеваний в течение жизни были ниже пороговых значений ($HQ < 0,2$; $ILCR < 1 \cdot 10^{-5}$). Опасности в отравлении данными группами соединениями нет, риск угрозы здоровью и риск потенциального развития онкозаболеваний в течение жизни при потреблении рыб отсутствует для всех исследованных 8 видов водных биологических объектов 2017–2018 гг. вылова на территории Ненецкого АО. Сёмга, сельдь, горбуша, арктический голец, азиатская корюшка, навага, сиг и щука в целом химически безопасны с точки зрения содержания СОЗ. Полученные данные свидетельствуют о том, что реального риска развития онкологии именно от Σ ДДТ, Σ ПХБ и ГХБ, содержащихся в данных видах рыб нет.

Стоит отметить, что результаты расчетов были произведены на относительно небольшой выборке образцов, что может не в полной мере отражать ситуацию в целом в регионе, образцы были отобраны не из всех исследованных населенных пунктов, что требует расширения генеральной совокупности проб, для точной интерпретации результатов. Однако полученные результаты по оценке экологических рисков ниже нормативных значений, но при суточном потреблении отличающегося от среднего в 3 раза (максимальное значение составило 45 г./сут, что соответствует 16,5 кг/год.), например сёмги, с максимальной концентрацией Σ ПХБ равной 10,1 нг/г сырой массы потенциальный риск развития онкологии присутствует ($ILCR = 1,2 \cdot 10^{-5}$). Подобная оценка экологического риска проводилась для водных биологических объектов Дальнего Востока (Цыганков, 2022), где было получено, что при потреблении 79 г/сут горбуши, кеты, чавычи, симы и нерки был обнаружен потенциальный риск развития онкозаболеваний в течение жизни, но только по изомерам ГХЦГ (Цыганков, 2022). Стоит отметить, что уровень СОЗ, обнаруженный в мышцах всех исследованных рыб, на много ниже установленных порогов ПДК (СанПиН 2.3.2.1078-01), как было описано ранее. Это указывает на несовершенство текущих нормативных актов по безопасности

рыбной продукции. Поэтому, на основании последних достижений в токсикологии необходимо пересмотреть и обновить санитарно-гигиенические нормативы в области контроля безопасности пищевой продукции в отношении СОЗ.

При рассмотрении уровня СОЗ в сыворотке крови жителей Ненецкого АО в зависимости от потребления промысловых видов рыб, было выявлено, что у местного населения, которое потребляет рыбу ($Me=144$) по сравнению с теми, кто не ест рыбу ($Me=57,3$) уровень концентрации возрастает для $\Sigma ДДТ$, $U = 2540$, $Z = -2,6$, $p = 0,009$. Для остальных соединений $\Sigma ПХБ$ и $ГХБ$, как видно на рисунке 21, различия между группами присутствовали, но статистически не были значимы.



На рисунке показаны квартили [25%; 75%] и медиана. Для оценки значимости различий использован непараметрический критерий Манна-Уитни. Латинские буквы означают значимые различия между группами при $p < 0,01$.

Рисунок 21 – Уровень содержания основных групп СОЗ в сыворотке крови жителей Ненецкого АО в зависимости от потребления рыбы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследованные промысловые виды рыб содержат в мышечной ткани различные уровни СОЗ, но

являются не опасными для исследованной группы жителей Ненецкого АО, и тем самым не несут риска развития онкозаболеваний. Однако являются потенциальными источниками СОЗ в организме человека. Стоит отметить, что интерпретация полученных результатов применима только для конкретного исследования, так как в данной работе были использованы образцы рыб с ограниченного ареала в Ненецком АО, при этом не были учтены другие источники, которые тоже оказывают влияние на содержание СОЗ в сыворотке крови человека (воздух, вода, почва и др.).

Данная работа показывает, что потенциальный риск от СОЗ на здоровье жителей Ненецкого АО при потреблении традиционных продуктов питания (на примере рыб) существует, но в большей степени зависит от суточного потребления или годового потребления данного продукта питания и от индивидуальной концентрации СОЗ в потребляемом виде пищи.

Популярным видом рыб в рационе жителей Ненецкого АО является сёмга. В среднем суточном потреблении данный вид не вызывает опасений, однако для определённых групп жителей с потреблением сёмги более 16,5 кг/год., возникает риск развития онкозаболеваний. Стоит отметить, что средние данные плохо отражают действительный риск при использовании в рационе питания местной рыбы, что требует дальнейших исследований по увеличению выборки исследованных образцов и проведения более точного анкетирования по вопросам питания.

ВЫВОДЫ

1) Впервые определены концентрации полихлорированных бифениллов и хлорорганических пестицидов в промысловых видах рыб АЗРФ, которые показывают следующие видовые различия по общему уровню содержания СОЗ: семга > сельдь > горбуша > навага > арктический голец > корюшка > сиг > щука.

2) Установлено, что в промысловых видах рыб доминирующими загрязнителями являются *p,p'*-ДДЕ, ПХБ 153, 138, 128, 118, ГХБ и изомеры хлордана. Уровень СОЗ в мышечной ткани во многом определяется содержанием липидов, что подтверждается установленными интервалами концентраций ПХБ и ХОП для жирных сортов рыб (семга и горбуша). Показано, что аккумуляция транс-хлордана в мышечной ткани сига связана с увеличением возраста и массы особи. На примере арктического гольца показаны географические различия по уровням СОЗ в особях одного вида: концентрация ПХБ и ДДТ в два раза выше в образцах, пойманных в Индигской губе Баренцева моря в сравнении с образцами рыб из Баренцева моря (близ о. Колгуев).

3) Предложено использовать горбушу в качестве модельного объекта ихтиофауны для изучения биологических эффектов загрязнения среды токсичными веществами в Арктике. Особенность быстрого роста особей за короткий жизненный цикл позволяет установить достоверную зависимость между всеми полученными уровнями СОЗ и содержанием липидов

4) Содержание СОЗ в сыворотке крови жителей семи сельских поселений Ненецкого автономного округа снизилось в 2-10 раз по сравнению с 2002 годом. Средние геометрические концентрации для Σ ПХБ₅, Σ ДДТ, Σ другие ХОП в сыворотке крови человека составили 21,0; 95,7 и 69,3 нг/г липидов соответственно. Наиболее часто в сыворотке крови населения обнаруживаются *p,p'*-ДДЕ, ПХБ 153, ГХБ и β -ГХЦГ, как и у жителей других арктических территорий, которые зависят от количества и вида потребляемых гидробионтов.

5) На примере Ненецкого АО показаны географические различия в уровнях содержания СОЗ в сыворотке крови населения. Островные (пос. Бугринот, Варнек) и прибрежные территории (пос. Шойна, Индига, Амдерма) отличаются высоким содержанием ПХБ, что во многом обусловлено большим потреблением жителями морских и анадромных видов рыб. Для центральной части (пос. Нельмин-Нос, Красное) характерно преобладание ГХБ и ДДТ.

6) Большинство исследуемых промысловых видов рыб Ненецкого автономного округа по содержанию СОЗ являются безопасным продуктом традиционной пищи. Исключение составляет сёмга, при среднем потреблении которой в количестве более 16,5 кг/год возникает потенциальная опасность для здоровья человека в связи с поступлением ПХБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа мониторинга СОЗ в традиционных продуктах питания и организмах жителей АЗРФ реализовывалась рабочей группой АМАП с 2001 года. Однако за последние 10 лет имеющие данные по уровням СОЗ в арктической биоте фрагментарны, что затрудняет оценку рисков для здоровья коренных малочисленных народов Арктики, связанных с поступлением в организм ПХБ и ХОП. Данное исследование является начальным этапом решения этой проблемы.

На примере Ненецкого АО были установлены актуальные уровни СОЗ (ПХБ и ХОП) в мышцах промысловых видов рыб и сыворотке крови населения, а также дана оценка экологического риска для здоровья человека при потреблении данных видов рыб.

Согласно, установленным ПДК СОЗ в рыбной продукции РФ, в мышцах сёмги, сельди, горбуши, арктического гольца, азиатской корюшки, наваги, сига и щуки, обитающих в водных экосистемах Ненецкого АО уровень содержания ПХБ и ХОП не превысил допустимых нормативных значений. Тем самым можно утверждать, что по данным токсическим соединениям рыба не опасна и может быть использована в пищевом рационе жителями Арктики. Однако жирная рыба (сёмга, сельдь, горбуша) является одним из основных источников СОЗ для человека, о чем свидетельствуют полученные корреляционные зависимости.

Полученные результаты показывают, что концентрации большинства СОЗ в сыворотке крови жителей Ненецкого АО европейской части Российской Арктики невелики и аналогичны таковым в других арктических странах. Значительные географические различия между поселениями были обнаружены для *p,p'*-ДДЕ, Σ ПХБ, ГХБ в данном регионе. У жителей семи сельских поселений Ненецкого АО не были получены статистически значимые уровни СОЗ, зависящие от потребления конкретных видов рыб, возможно, это связано с ограниченным объемом выборки образцов гидробионтов только с одной части региона. Несмотря на большое количество рыбы в рационе коренных народов

Ненецкого АО существенных рисков не выявлено. Большинство устаревших ПХБ и ХОП имеют тенденцию к снижению, что может быть объяснено прошлыми национальными и региональными запретами и ограничениями на их использование и деградацию.

В работе впервые был применен и отработан алгоритм проведения мониторинговых исследований: анкетирование местного населения, выявление основных источников поступления СОЗ и оценка рисков для здоровья человека (как конечного звена пищевой цепи), которая позволяет оценить вклад данных токсических веществ на экосистемы Арктики. Полученные результаты на примере региона АЗРФ (Ненецкий АО) могут быть использованы в качестве базы данных для дальнейших биомониторинговых исследований по выявлению негативного антропогенного воздействия на экосистемы Арктики, для оценки долгосрочных тенденций в наследии ПХБ и ХОП, и выявления новых СОЗ в окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Абрамова, Л.С Информационные сведения о пищевой ценности продуктов из гидробионтов. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов [Текст] / Л.С. Абрамова, Л.Р. Копыленко, С.Г. Кириченко, и др. // - М.: ВНИРО. – 2003. – С. 96.
- 2) Бортин, Н.Н. Обоснование научно–методических подходов к определению нормативов допустимых воздействий на прибрежные морские акватории [Текст] / Н.Н. Бортин, В.М. Милаев, А.М. Горчаков // Водное хозяйство России. – 2017. – № 6. – С. 86-95.
- 3) Васильков, Г.В. Болезни рыб. Справочник [Текст] / Г.В. Васильков, Л.И. Грищенко, В.Г. Енгашев и др. // – М: Агропромиздат. – 1989. – С. 288
- 4) Всероссийская перепись населения 2010 [Электронный ресурс]: Управления Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области и Ненецкому АО. – Режим доступа: <https://arhangelskstat.gks.ru/folder/37935>. (Дата обращения: 24.12.2021).
- 5) Гелашвили Д.Б. Принципы и методы экологической токсикологии [Текст] / Д.Б. Гелашвили, В.С. Безель, Е.Б. Романова и др. // – Нижний Новгород: ННГУ. – 2016. – С. 702.
- 6) Горян, А.С. Методика определения остаточных количеств ДДТ и его метаболитов в водах рек Амур и Зея методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) [Текст] / А.С. Горян, Л.Г. Колесникова // Проблемы экологии верхнего Приамурья / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Благовещенский государственный педагогический университет». – Благовещенск: Благовещенский государственный педагогический университет. – 2013. – С. 106-123.
- 7) ГОСТ 1368-2003 Рыба. Длина и масса [Текст]. – Взамен ГОСТ 1368-91; введ. 2005 – 01 – 01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 14 с.
- 8) ГОСТ 26829-86 Консервы и пресервы из рыбы. Методы определения жира. [Текст] /– Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2001 – 11 с.

9) ГОСТ 31339–2006 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб [Текст]. – Взамен ГОСТ 7631-85; введ. 2008 – 07 – 01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 15 с.

10) ГОСТ 32366–2013 Рыба мороженая. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 1168-86, ГОСТ 20057-96; введ. 2015 – 01 – 01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 25 с.

11) ГОСТ 7631-2008 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей [Текст]. – Взамен ГОСТ 7631-85; введ. 2009 – 01 – 01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

12) Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ на 1 января 2020 г. [Электронный ресурс]: ФГБУ «Росгеолфонд», Сборников сводных материалов о запасах общераспространенных полезных ископаемых РФ на 1 января 2020 г. – Режим доступа: <https://www.rfgf.ru/info-resursy/gosudarstvennyj-balans> – (Дата обращения: 17.01.2022).

13) Гриценко, О.Ф. Промысловые рыбы России [Текст] / О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляр; под ред. Б.Н. Котенёв. – в 2 томах. – М.: ВНИРО, 2006. – 1280 с.

14) Давыдов А.Н., Михайлова Г.В. Изменение климата и условия жизни в Арктике в восприятии ненцев острова Вайгач [Текст] // Экология человека. – 2013. – Т. 20. – №2. – С. 29-34.

15) Долгов А.В. Атлас-определитель рыб Карского моря [Текст] / А. В. Долгов, А. П. Новоселов, Т. А. Прохорова [и др.]. – Мурманск: ВНИРО, 2018. – 271 с.

16) Долгов, А.В. Атлас-определитель рыб Баренцева моря [Текст] / А. В. Долгов; под ред. А.В. Долгов, Ю.М. Лепесевич [и др.] – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2011. – 187 с.

17) Дударев, А.А. Оценка влияния экспозиции к стойким токсичным веществам на исход беременности, соотношение полов новорожденных и менструальный статус коренных жительниц Чукотки [Текст] / А.А. Дударев, В. С. Чупахин // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93. – № 1. – С. 36-40.

18) Дударев, А.А. Персистентные полихлорированные углеводороды и тяжелые металлы в Арктической биосфере: основные закономерности экспозиции репродуктивное здоровье коренных жителей / А. А. Дударев // Биосфера. – 2009. – Т. 1. – № 2. – С. 186-202.

19) Дударев, А.А. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) в местных продуктах питания Печенгского района Мурманской области [Текст] / А.А. Дударев, Е.В. Душкина, Ю.Н. Сладкова [и др.] // Токсикологический вестник. – 2015. – № 4(133). – С. 18-25.

20) Дударев, А.А. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) и сахарный диабет среди коренного и пришлого населения Кольской Лапландии [Текст] / А.А. Дударев, В.Н. Мизернюк, А.Н. Никанов // Токсикологический вестник. – 2012. – № 4(115). – С. 7–12.

21) Дударев, А.А. Уровни экспозиции к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) населения Печенгского района Мурманской области [Текст] / А.А. Дударев, Е.В. Душкина, Ю.Н. Сладкова [и др.] // Токсикологический вестник. – 2016. – № 3(138). – С. 2–9.

22) Жаковская, З.А. Полихлорированные бифенилы и углеводороды в донных отложениях рек бассейна Р. Печоры [Текст] / З.А. Жаковская, В.Н. Петрова, Л.О. Хорошко [и др.] // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 1. – С. 75-83.

23) Жилин, А.Ю. Мониторинг стойких органических загрязнителей и тяжелых металлов в промысловых рыбах Медвежинско-Шпицбергенского района [Текст] / А.Ю. Жилин, Н.Ф. Плотицына, А.М. Лаптева // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 78-86.

24) Зиновьев, Е.А. Методы исследования пресноводных рыб: Учебное пособие по спецкурсу [Текст] / Е. А Зиновьев, С.А. Мандрица – Пермь: Пермский ун-т., 2003. – 113 с.

25) Итоги Всероссийской переписи населения 2010 года в отношении демографических и социально-экономических характеристик отдельных национальностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/results2.html (Дата обращения: 04.02.2022).

26) Кириченко, В.Е. Идентификация изомерных полихлорированных бифенилов в техническом продукте «Совол» [Текст] / В.Е. Кириченко, М.Г. Первова, Е.П. Промышленникова, К.И. Пашкевич // Аналитика и контроль. – 2000. – Т. 4. – № 1. – С. 41-44.

27) Комлацкий, В.И. Рыбоводство [Текст] учебник для СПО / В.И. Комлацкий, Г.В. Комлацкий, В.А. Величко. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 200 с.

28) Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии [Текст] / А.Т. Лебедев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 493 с.

29) Лукин, Ю.Ф. Являются ли ненцы вымирающим этносом? [Текст] / Ю.Ф. Лукин // Арктика и Север. – 2013. – № 12. – С. 32-50.

30) Лукина, Ю.Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах европейско-сибирской области Палеарктики: специальность 03.02.00 «Общая биология»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук [Текст] / Лукина Юлия Николаевна. – Петрозаводск, 2014. – 236 с.

31) Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей [Электронный ресурс] / В.Н. Майстренко, Н.А. Клюев. — 2-е изд. (эл.). — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 323 с.

32) Мартынов, В.Г. Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на северо-востоке ареала: Структура популяций, экология, хозяйственное значение: специальность 03.00.32: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук [Текст] / Мартынов Владимир Григорьевич. – Сыктывкар, 2005. – 34 с.

33) Методические указания по диагностике отравлений рыб пестицидами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200066026> (Дата обращения 02.04.2022).

34) МУ 245/5 Методические указания по определению хлорорганических пестицидов в кормах, кормовых добавках и пищевом сырье

методом газожидкостной хроматографии с детектором электронного захвата [Текст] /– М.:ВГНКИ, 2011. – 24 с.

35) Мурашко, О.А. Трансформации традиционного образа жизни и питания коренного населения Ненецкого автономного округа [Текст] / О.А. Мурашко, В.К. Даллманн // Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. – 2011. – №. 4. – С. 4–24.

36) Мурзина, С.А. Содержание жирных кислот в кормовых объектах молоди лососевых рыб рек бассейна Онежского озера [Текст] / С.А. Мурзина, З.А. Нефедова, С.Н. Пеккоева [и др.] // Биология внутренних вод. – 2019. – № 1. – С. 65-72.

37) Назаренко, Г.И. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований [Текст] / Г.И. Назаренко, А.А. Кишкун. – М.:Медицина, 2006. – с. 544.

38) Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fishquality.ru/> (Дата обращения 05.02.2022).

39) Нефедова, З.А. Липидный профиль молоди атлантического лосося *Salmo salar* в реке Летняя Золотица (Архангельская область, бассейн Белого моря) [Текст] / З.А. Нефедова, С.А. Мурзина, С.Н. Пеккоева [и др.] // Вопросы ихтиологии. – 2019. – Т. 59. – № 3. – С. 337-344.

40) Никифорова, Н.А. Особенности питания жителей Севера (обзор литературы) [Текст] / Н.А. Никифорова, Т.А. Карапетян, Н.В. Доршакова // Экология человека. – 2018. – № 11. – С. 20-22.

41) Новоселов, А.В. Обыкновенная малоротая корюшка *Hypomesus olidus* (*Osmeridae*) – новый вид для фауны Баренцева моря [Текст] / А.П. Новоселов, А.В. Кондаков, М.Ю. Гофаров, И.Н. Болотов // Вопросы ихтиологии. – 2019. – Т. 59. – № 1. – С. 28-32.

42) О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 (в ред. От 05.03.2020 №164). [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102349446>.

(Дата обращения: 05.04.2022).

43) Об утверждении правил рыболовства для Северного рыбохозяйственного бассейна: приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13.05.2021 № 292. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cdnimg.rg.ru/pril/210/48/93/63687.pdf>____(Дата обращения: 03.04.2022).

44) Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614 (ред. от 01.12.2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204200/.(Дата обращения: 03.04.2022).

45) Першина, И.В. Особенности питания жителей Крайнего Севера [Текст] / И. В. Першина // Научный вестник Арктики. – 2019. – № 6. – С. 97-107.

46) Петрений, Н. Потребление рыбы и социально-экономические факторы среди жителей г. Архангельска и сельского Ненецкого автономного округа [Текст] / Н. Петрений, Л. Добродеева, Ф. Бичкаева [и др.] // Международный журнал циркумполярного здоровья. – 2011. – № 70 (1). – С. 46–58.

47) Плотицына, Н.Ф. Хлорорганические пестициды и полихлорбифенилы в отдельных элементах экосистемы Баренцева моря [Текст] / Н.Ф. Плотицына // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2004. – Т. 137. – С. 301–309.

48) Ревич, Б.А. Инновационные эколого-эпидемиологические технологии оценки влияния диоксинов на здоровье детей [Текст] / Б.А. Ревич, О.В. Сергеев, А.А. Шелепчиков // Экология человека. – 2012. – № 8. – С. 42–49.

49) Решетников, Ю.С. Атлас пресноводных рыб России: В двух томах [Текст] / Ю.С. Решетников, О.А. Попова, Л.И. Соколов [и др.]. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Академический научно-издательский,

производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука», 2002. – 253 с.

50) СанПиН 2.3.2.1078-01 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (с изменениями на 6 июля 2011 года) [Текст] / – М.: Минздрав России, 2002. – 154 с.

51) ТР ЕАЭС 040/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Текст] / – М.: Евразийская экономическая комиссия, 2016. – 140 с.

52) ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза. О безопасности пищевой продукции [Текст] / – М.: Комиссия Таможенного союза, 2011. – 265 с.

53) Хурцилава, О.Г. Загрязнения окружающей среды стойкими токсичными веществами и профилактика их вредного воздействия на здоровье коренного населения Арктической зоны Российской Федерации [Текст] / О.Г. Хурцилава, В.П. Чащин, А.В. Мельцер [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96. – № 5. – С. 409–414.

54) Цыганков, В.Ю. Хлорорганические загрязняющие вещества в организмах рыб, морских млекопитающих и птиц северо-западной пацифики и экологический риск для человека: специальность 1.5.15 «Экология (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук [Текст] / Цыганков Василий Юрьевич. – Владивосток, 2022. – 286 с.

55) Цыганков, В.Ю. Хлорорганические пестициды в тихоокеанских лососях, птицах и млекопитающих Берингова, Охотского морей: специальность 03.02.08 «Экология (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук [Текст] / Цыганков Василий Юрьевич. – Владивосток, 2016. – 137 с.

56) Цыганков, В.Ю. Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в организме жителей прибрежных районов Дальнего Востока России [Текст] / В.Ю. Цыганков, М.Д. Боярова, М.М. Донец [и др.] // Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) в Дальневосточном регионе: моря,

организмы, человек: монография / В.Ю. Цыганков, М.М. Донец, Н.К. Христофорова [и др.]; науч. ред. В.Ю. Цыганков. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2020. – С. 317–338.

57) Чашин, В. Отчет по проекту «Меры по снижению риска вредного воздействия стойких токсичных веществ на здоровье коренных жителей арктических районов России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecoaccord.org/pop/iper/arctic2.htm> (Дата обращения: 05.04.2022).

58) Чашин, М.В. Современные методы биомониторинга стойких токсичных соединений в Арктической зоне Российской Федерации [Текст] / М.В. Чашин, В.П. Чашин, А.В. Мельцер [и др.] // Морская медицина. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С. 94–101.

59) Янин, Е.П. Полихлорированные бифенилы в окружающей среде (эколого-гигиенические аспекты) [Текст] / – М.: Изд-во «Диалог-МГУ», 1997. – 35 с.

60) Abass, K. Temporal trends of contaminants in Arctic human populations / K. Abass, A. Emelyanova, A. Rautio [text] // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – V. 25. – P. 28834–28850.

61) АМАР, 1998. АМАР Assessment Report: Arctic Pollution Issues. Chapter 3: The Influence of Physical and Chemical Processes on Contaminant Transport [Text] // Oslo: АМАР. – 1998. – P. 859.

62) АМАР, 2004. Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report. [Text] // Oslo: АМАР. – 2004. – P. 188.

63) АМАР, 2009. АМАР Assessment 2009: Human health in the Arctic [Text] // Oslo: АМАР. – 2009. – P. 256.

64) АМАР, 2015. АМАР Assessment 2015: Human Health in the Arctic [Text] // Oslo: АМАР. – 2015. – P. 165.

65) АМАР, 2015. АМАР Assessment 2015: Temporal Trends in Persistent Organic Pollutants in the Arctic [Text] // Oslo: АМАР. – 2016. – P. 71.

66) AMAP, 2018. AMAP Assessment 2018: Biological Effects of Contaminants on Arctic Wildlife and Fish. Arctic Monitoring and Assessment Programme [Text] // Oslo: AMAP. – 2018. – P. 84.

67) Bae, J. Maternal and paternal serum concentrations of persistent organic pollutants and the secondary sex ratio: A population-based preconception cohort study [Text] / J. Bae, S. Kim, D.B. Barr, G.M. Buck Louis // Environmental Research. – 2018 – V. 161. – P. 9–16.

68) Bernert, J.T. Calculation of serum «total lipid» concentrations for the adjustment of persistent organohalogen toxicant measurements in human samples / J.T. Bernert, W.E. Turner, D.G.Jr. Patterson, L.L. Needham [Text] // Chemosphere. – 2007. – V. 68. – P. 824–831.

69) Bjermo, H. Fish intake and breastfeeding time are associated with serum concentrations of organochlorines in a Swedish population [Text] / H. Bjermo, P.O. Darnerud, S. Lignell [et al.] // Environment International. – 2013. – V. 51. – P. 88–96.

70) Bjerregaard, P. Exposure of Inuit in Greenland to organochlorines through the marine diet [Text] / P. Bjerregaard, E. Dewailly, P. [et al.] // Journal of Toxicology and Environmental Health Part A. – 2010. – V. 62(2). – P. 69–81.

71) Bjerregaard, P. Ivaaq-The Greenland Inuit Child Cohort a Preliminary [Text] / P. Bjerregaard, A.L. Holm, I. Olesen [et al.] // Denmark: National Institute of Public Health. – 2007. – P. 109.

72) Bonefeld-Jorgensen, E. Biomonitoring in Greenland: human biomarkers of exposure and effects—a short review [Text] / E. Bonefeld-Jorgensen // Rural Remote Health. – 2010. – V. 10(2). – P. 1362.

73) Bonito, L.T. Evaluation of the global impacts of mitigation on persistent, bioaccumulative and toxic pollutants in marine fish [Text] / L.T. Bonito, A. Hamdoun, S.A. Sandin // Peer Journals. – 2016. – V. 4. – P. 1573.

74) Braune, B.M. Persistent organic pollutants and mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends [Text] / B. M. Braune, P.M. Outridge, A.T. Fisk [et al.] // Science of the Total Environment – 2005. – V. 351–352. – P. 4–56.

75) Bravo, N. Drivers of maternal accumulation of organohalogen pollutants in Arctic areas (Chukotka, Russia) and 4,4'-DDT effects on the newborns [Text] / N. Bravo, J.O. Grimalt, M. Chashchin [et al.] // Environment International. – 2019. – V. 124, – P. 541–552.

76) Cabrerizo, A. Climatic Influence on Temporal Trends of Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Landlocked Char from Lakes in the Canadian High Arctic [Text] / A. Cabrerizo, D. C. G. Muir, G. Köck [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2018. – V. 52(18). – P. 10380–10390.

77) Cleemann, M. Organochlorines in Greenland lake sediments and landlocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) [Text] / M. Cleemann, F. Riget, G.B. Paulsen [et al.] // Science of the Total Environment. – 2002. – V. 45. – P. 173–185.

78) D'Amato, C. DDT (dicloro difenil tricloroetano): Toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão [Text] / C. D'Amato, J.P.M. Torres, O. Malm // Química Nova. – 2002. – V. 25. – P. 995–1002.

79) Daba, D. Multi residue analysis of pesticides in wheat and Khat collected from different regions of Ethiopia [Text] / D. Daba, A. Hymete, A.A. Bekhit, [et al.] // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2011. – V. 86. – P. 336–341.

80) Deutch, B. Contaminants, diet, plasma fatty acids and smoking in Greenland 1999–2005 [Text] / B. Deutch, H. S. Pedersen, G. Asmund, J. C. Hansen // Science of the Total Environment. – 2007. – V. 372(2-3). – P. 486–496.

81) Deutch, B. Recent dietary studies in the Arctic [Электронный ресурс] / B. Deutch // AMAP Assessment 2002: Human Health in the Arctic. – 2003. – V. 7. – P. 75–87. – Режим доступа: <https://www.amap.no/documents/download/181/inline>

82) Donets, M.M. Fish as a risk source for human health: OCPs and PCBs in Pacific salmon [Text] / M.M. Donets, V.Yu. Tsygankov, A.N. Gumovskiy [et al.] // Food Control. – 2022. – V. 134. – P. 108696.

83) Dudarev, A. Traditional Diet and Environmental Contaminants in Coastal Chukotka II: Legacy POPs [Text] / A. Dudarev, V. Chupakhin, S. Vlasov, S. Yamin-

Pasternak // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – V. 16(5). – P. 695.

84) Dudarev, A. Traditional Diet and Environmental Contaminants in Coastal Chukotka I: Study Design and Dietary Patterns [Text] / A. Dudarev, S. Yamin-Pasternak, I. Pasternak, V. Chupakhin // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – V. 16(5). – P. 702.

85) Dudarev, A.A. A follow-up study of blood levels of persistent toxic substances (PTS) among indigenous peoples of the coastal Chukotka, Russia 2001–2007 [Text] / A.A. Dudarev, V. Chupakhin, J.O. Odland [et al.] // International Journal of Circumpolar Health. – 2010. – V. 7. – P. 263–268.

86) Dudarev, A.A. Persistent polychlorinated hydrocarbons and heavy metals in the Arctic biosphere: The main patterns of exposure and reproductive health of indigenous people [Text] // Biosphere. – 2009. – V. 1. – P. 186–202.

87) Eik Anda, E. Intra- and intercompartmental associations between levels of organochlorines in maternal plasma, cord plasma and breast milk, and lead and cadmium in whole blood, for indigenous peoples of Chukotka, Russia [Text] // E. Eik Anda, E. Nieboer,; A.A. Dudarev [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2007. – V. 9, – P. 884–893.

88) Emelyanova, A. Population Projections of the Arctic by Levels of Education: Working Paper WP-17-022 [Text] / A. Emelyanova // Austria: The International Institute for Applied Systems Analysis. – 2017. – P. 46.

89) Fiore, M. Role of Emerging Environmental Risk Factors in Thyroid Cancer: A Brief Review [Text] / M. Fiore, G. Oliveri Conti, R. Caltabiano [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – V. 16. – P. 1185.

90) Geissen, V. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management [Text] / V. Geissen, H. Mol, E. Klumpp, [et al.] // International Soil and Water Conservation Research. – 2015. – V. 3. – P. 57–65.

91) Gerlach, B. Fish Monitoring Program [Text] / B. Gerlach. – Alaska Department of Environmental Conservation. Fish Tissue Testing Program, 2013.

92) Golding, J. A Review of Environmental Contributions to Childhood Motor Skills [Text] / J. Golding, P. Emmett, Y. Iles-Caven [et al.] // Journal of Child Neurology. – 2013. – V. 29. – P. 1531–1547.

93) Gray, J.M. State of the evidence 2017: An update on the connection between breast cancer and the environment [Text] / J.M. Gray, S. Rasanayagam, C. Engel, J. Rizzo, Environmental Health. – 2017. – V. 16. – P. 94.

94) Health Canada Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada Part I: Guidance on human health Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA) 2004, Cat. H46-2/04-367E [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/contamsite/risk-risque-eng.php>

95) Health Canada. Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 1 (2007–2009) [Text] // Canada: Canadian Health Measures Survey. – 2010. – P. 63.

96) Heuvel, C.E. Influence of Feeding Ecology on Legacy Organochlorine Contaminants in Freshwater Fishes of Lake Erie [Text] / C.E. Heuvel, K.G. Drouillard, G.D. Haffner, Y. Zhao, A.T. Fisk // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2021. – V. 40(12). – P. 3421-3433.

97) Hjerimitslev, M.H. Persistent organic pollutants in Greenlandic pregnant women and indices of foetal growth: The ACCEPT study [Text] / M.H. Hjerimitslev, M. Long, M. Wielsøe, E.C. Bonfeld-Jørgensen // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 698. – P. 134118.

98) Hop, H. Food Web Magnification of Persistent Organic Pollutants in Poikilotherms and Homeotherms from the Barents Sea [Text] / H. Hop, K. Borgå, G.W. Gabrielsen, L. Kleivane, J.U. Skaare // Environmental Science & Technology. – 2002. – V. 36. – P. 2589–2597.

99) Howland, K.L. Age determination of a long-lived coregonid from the Canadian North: comparison of otoliths, fin rays and scales in *inconnu* (*Stenodus leucichthys*) [Text] / K.L. Howland, M. Gendron, W.M. Tonn, R.F. Tallman // Annales Zoologici Fennici. – 2004. – V. 41. – P. 205–214.

100) Hung, H. Temporal trends of Persistent Organic Pollutants (POPs) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment

Programme (AMAP) [Text] / H. Hung, A.A. Katsoyiannis, E. Brorstrom-Lunden, [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2016. – V. 217. – P. 52–61.

101) Jurewicz, J. Chemical exposure early in life and the neurodevelopment of children—An overview of current epidemiological evidence [Text] / J. Jurewicz, K. Polańska, W. Hanke // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. – 2013. – V. 20. 465–486.

102) Kim, S. Association between Several Persistent Organic Pollutants and Thyroid Hormone Levels in Cord Blood Serum and Bloodspot of the Newborn Infants of Korea [Text] / S. Kim, J. Park, H-J. Kim [et al.] // *PLOS One*. – 2015. – V. 10(5). – P. 0125213.

103) Krüger, T. Xeno-androgenic activity in serum differs across European and Inuit populations [Text] / T. Krüger, P.S. Hjelmberg, B.A.G. Jönsson [et al.] // *Environmental Health Perspectives* – 2007. – V. 115 (1). – P. 21–27.

104) Lahmanov, D. A short review of sample preparation methods for the pesticide residue analysis in fatty samples [Text] / D. Lahmanov, Yu. Varakina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – V. 263(1). – P. 012061.

105) Laird, B.D. Body burden of metals and persistent organic pollutants among Inuit in the Canadian Arctic [Text] / B.D. Laird, A.B. Goncharov, H.M..Chan // *Environment International*. – 2013. – V. 59. – P. 33–40.

106) Lakhmanov, D. Persistent Organic Pollutants (POPs) in Fish Consumed by the Indigenous Peoples from Nenets Autonomous Okrug [Text] / D. Lakhmanov, Y. Varakina, A. Aksenov [et al.] // *Environments*. – 2020. – V. 7. – P. 3.

107) Lee, D.H. Chlorinated persistent organic pollutants, obesity, and type 2 diabetes [Text] / D.H. Lee, M. Porta, D.R. Jacobs, L.N Vandenberg // *Endocrine Reviews*. – 2014. – V. 35. – P. 557–601.

108) Letcher, R.J. Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish / R.J. Letcher, J.O. Bustnes, R. Dietz [et al.] [Text] // *Science of The Total Environment*. – 2010. – V. 408(15). – P. 2995–3043.

109) Lind, P.M. Association of Exposure to Persistent Organic Pollutants with Mortality Risk: An Analysis of Data from the Prospective Investigation of Vasculature

in Uppsala Seniors (PIVUS) Study // P.M. Lind, S. Salihovic, J. Stubleski [et al.] // JAMA Network Open. – 2019. – V. 2. – P. 193070.

110) Liu, H. A rapid in vivo zebrafish model to elucidate oxidative stress mediated PCB126-induced apoptosis and developmental toxicity / H. Liu, R. Gooneratne, X. Huang [et al.] // Free Radical Biology and Medicine. – 2015. – V. 84. – P. 91–102.

111) Liu, H. Developmental toxicity, EROD, and CYP1A mRNA expression in zebrafish embryos exposed to dioxin-like PCB126 / H. Liu, F.-H. Nie, H.Y. Lin, [et al.] // Environmental Toxicology – 2016. – V. 31(2). – P. 201–210.

112) Long, M. Food intake and serum persistent organic pollutants in the Greenlandic pregnant women: The ACCEPT sub-study / M. Long, A.-K.S. Knudsen, H.S. Pedersen, E.C. Bonefeld-Jørgensen [Text] // Science of the Total Environment. – 2015. – V. 529. – P. 198–212.

113) Long, M. Time Trend of Persistent Organic Pollutants and Metals in Greenlandic Inuit during 1994–2015 [Text] // M. Long, M. Wielsøe, E. Bonefeld-Jørgensen // International Journal of Environmental Research and Public Health – 2021. – V. 18. – P. 2774.

114) Lukyanova, O.N. Bioaccumulation of HCHs and DDTs in organs of Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*) from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea [Text] / O.N. Lukyanova, V.Y., Tsygankov, M.D. Boyarova, N.K. Khristoforova // Chemosphere. – 2016. – V. 157. – P. 174–180.

115) Lukyanova, O.N. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the Bering flounder (*Hippoglossoides robustus*) from the Sea of Okhotsk [Text] / O.N. Lukyanova, V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova // Marine Pollution Bulletin. – 2018. – V. 137. – P. 152–156.

116) Manirakiza, P. Persistent chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in selected fish species from Lake Tanganyika, Burundi, Africa / P. Manirakiza, A. Covaci,; L. Nizigiymana, [et al.] // Environmental Pollution. – 2002. – V. 117. – P. 447–455.

117) Marques-Pinto, A. Human infertility: Are endocrine disruptors to blame? [Text] / A. Marques-Pinto, D. Carvalho // Endocrine Connections. – 2013. – V. 2. – P. 15–29.

118) Mouly, T.A. Breast cancer and persistent organic pollutants (excluding DDT): A systematic literature review [Text] / T.A. Mouly, L.-M.L. Toms // Environmental Science and Pollution Research. – 2016. – V. 23. – P. 22385–22407.

119) Mughal, B.B. Thyroid-disrupting chemicals and brain development: An update Demeneix [Text] / B.B. Mughal, J.-B. Fini, B.A. // Endocrine Connections. – 2018. – V. 7. – P. 160–186.

120) Muir, D. Bioaccumulation of PCBs and chlorinated pesticides in seals, fishes and invertebrates from the b, Russia [Text] / D. Muir, T. Savinova, V. Savinov [et al.] // Science of the Total Environment. – 2003. – V. 306. – P. 111–131.

121) Munschy, C. Legacy and emerging organic contaminants: Levels and profiles in top predator fish from the western Indian Ocean in relation to their trophic ecology [Text] / C. Munschy, E. Vigneau, N. Bely [et al.] // Environmental Research. – 2020. – V. 188. – P. 109761.

122) Nelson, J.S. Fishes of the World Phylum Chordata: Book [Text] / J.S. Nelson, Grande T.C., Wilson M.V.H. – USA: John Wiley & Sons, Inc., 2016. – V. 13– P. 526.

123) Nimmi, A.J. Biological and toxicological effects of environmental contaminants in fish and their eggs [Text] // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1983. – V. 40. – P. 306 – 312.

124) Non-Carcinogen Tolerable Daily Intake (TDI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/TDI_

125) Novikov, M.A. Persistent organic pollutants in bottom sediments of the Barents Sea [Text] // Water Resources. – 2021. – V. 48. – P. 334–343.

126) Odland, J.Ø. The importance of diet on exposure to and effects of persistent organic pollutants on human health in the Arctic [Text] / J.Ø. Odland, B. Deutch, J.C. Hansen, I.C. Burkow // Acta Paediatrica. – 2003., – V. 92(11), – P. 1255–1266.

127) Ogwok, P. Pesticide residues and heavy metals in Lake Victoria Nile perch, *Lates niloticus*, belly flap oil [Text] / P. Ogwok, J.H. Muyonga, M.L. Sserunjogi // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2009. – V. 82. – P. 529–533.

128) Olatunji, O.S. Evaluation of selected polychlorinated biphenyls (PCBs) congeners and dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) in fresh root and leafy vegetables using GC-MS [Text] // *Scientific Reports*. – 2019. – V. 9(1). – P. 538.

129) Pavuk, M. Serum concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in participants of the Anniston Community Health Survey / M. Pavuk, J. Olson, A. Sjödin, P. Wolff [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2014. – V. 473-474. – P. 286–297.

130) Perugini, M. Levels of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible marine organisms from the Central Adriatic Sea [Text] / M. Perugini, M. Cavaliere, A. Giammarino [et al.] // *Chemosphere*. – 2004. – V. 57. – P. 391–400.

131) Petrenya, N. Fish consumption and socio-economic factors among residents of Arkhangelsk city and the rural Nenets autonomous area [Text] / N. Petrenya, L. Dobrodeeva, M. Brustad [et al.] // *International Journal of Circumpolar Health*. – 2011. – V. 70(1). – P. 46-58.

132) Petrenya, N. Serum apolipoproteins in relation to intakes of fish in population of Arkhangelsk County [Text] / N. Petrenya, M. Brustad, M. Cooper [et al.] // *Nutrition & Metabolism*. – 2012. – V. 9(1). – P. 51.

133) Polder, A. Levels and patterns of Persistent Organic Pollutants (POPS) in selected food items from Northwest Russia (1998–2002) and implications for dietary exposure [Text] / A. Polder, T. Savinova, A. Tkachev [et al.] // *Science of the Total Environment* – 2010. – V. 408. – P. 5352–5361.

134) Rigét, F. Temporal trends of persistent organic pollutants in Arctic marine and freshwater biota [Text] / F. Rigét, A. Bignert, B. Braune [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2019. – V. 649. – P. 99–110.

135) Rosen, E.M. Environmental contaminants and preeclampsia: A systematic literature review [Text] / E.M. Rosen, M.I. Muñoz, T. McElrath [et al.] // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part: Critical Reviews*. – 2018. – V. 21. – P. 291–319.

136) Rylander, C. Indications of decreasing human PTS concentrations in North West Russia [Text] / C. Rylander, T.M. Sandanger, N. Petrenya [et al.] // *Global Health Action*. – 2011. – V. 4. – P. 8427.

137) Sandanger, T.M. Combining data sets of organochlorines (Ocs) in human plasma for the Russian Arctic [Text] / T.M. Sandanger, E.E. Anda, A.A. Dudarev [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2009. – V. 407. – P. 5216–5222.

138) Semushin, A.V. Long-term changes in the ichthyofauna of the Pechora Sea in response to ocean warming [Text] / A.V. Semushin, A.P. Novoselov, V.S. Sherstkov [et al.] // *Polar Biology*. – 2019. – V. 42. – P. 1739–1751.

139) Skotvold, T. Persistent organic contaminants in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) on Bear Island [Text] / T. Skotvold, E. M.M. Wartena, M. Schlaback // *Organohalogen Compounds*. – 1998. – V. 39. – P. 411–423.

140) Slope Factors (SF) for Carcinogens [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.popstoolkit.com/tools/HHRA/SF_USEPA.aspx. – (Дата обращения: 28.02.2022).

141) Sobolev, N. Concentration dataset for 4 essential and 5 non-essential elements in fish collected in Arctic and sub-Arctic territories of the Nenets Autonomous and Arkhangelsk Regions of Russia [Text] / N. Sobolev, E. Nieboer, A. Aksenov [et al.] // *Data in Brief*. – 2019. – V. 27. – P. 104631.

142) Sobolev, N. Essential and non-essential trace elements in fish consumed by indigenous peoples of the European Russian Arctic [Text] / N. Sobolev, A. Aksenov, T. Sorokina [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2019. – V. 253. – P. 966–973.

143) Sorokina, T.Y. A national system of biological monitoring in the Russian Arctic as a tool for the implementation of the Stockholm Convention [Text] //

International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics. – 2019. – V. 19. – P. 341–355.

144) Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants Was Adopted on 22 May 2001 in Stockholm, Sweden. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/TheNewPOPs>

145) Storelli, M.M. Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide contamination signatures in deep-sea fish from the Mediterranean Sea [Text] / M.M. Storelli, S. Losada, G.O. Marcotrigiano [et al.] // Environmental Research. – 2009. – V. 109. – P. 851–856.

146) Törnkvist, A. PCDD/F, PCB, PBDE, HBCD and chlorinated pesticides in a Swedish market basket from 2005–Levels and dietary intake estimations [Text] / A. Törnkvist, A. Glynn, M. Aune, P.O. Darnerud, E.H. Ankarberg // Chemosphere. – 2011. – V. 83. – P. 193–199.

147) Tsygankov, V. Organochlorine pesticides in commercial Pacific salmon in the Russian Far Eastern seas: Food safety and human health risk assessment [Text] / V. Tsygankov, O. Lukyanova, M. Boyarova [et al.] // Marine Pollution Bulletin. – 2019. – V. 140. – P. 503–508.

148) Tsygankov, V.Y. Bioindicators of Organochlorine Pesticides in the Sea of Okhotsk and the Western Bering Sea [Text] / V.Y. Tsygankov, M.D. Boyarova, O.N. Lukyanova, N.K. Khristoforova // (Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2017. – V. 73(2). – P. 176–184.

149) Tsygankov, V.Y. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000–2017) [Text] // Water Research. – 2019. – V. 161. – P. 43–53.

150) Tsygankov, V.Yu. Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography [Text] / V.Yu. Tsygankov, M.D. Boyarova // Achievements in the Life Sciences. – 2015. – V. 9. – No.1. – P. 65-68.

151) Uekusa, Y. Determination of polychlorinated biphenyls in marine fish obtained from tsunami-stricken areas of Japan [Text] / Y. Uekusa, S. Takatsuki, T. Tsutsumi [et al.] // PLoS ONE. – 2017. – V. 12. – P. 0174961.

152) Varakina, Y. Concentrations of Persistent Organic Pollutants in Women's Serum in the European Arctic Russia [Text] / Y. Varakina, D. Lahmanov, A. Aksenov [et al.] // Toxics. – 2021. – V. 9. – P. 6.

153) Vorkamp, K. Polybrominated diphenyl ethers and organochlorine compounds in biota from the marine environment of East Greenland [Text] / K. Vorkamp, J.H. Christensen, F. Riget // Science of the Total Environment. – 2004. – V. 331. – P. 143–155.

154) Vuorinen, P.J. Biomagnification of organohalogenes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) from its main prey species in three areas of the Baltic Sea [Text] / P.J. Vuorinen, M. Keinänen, H. Kiviranta [et al.] // Science of the Total Environment. – 2012. – V.1. – P. 421-422:129– 43.

155) Wania, F. Peer Reviewed: Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants [Text] / F. Wania, D. MacKay // Environmental Science & Technology. – 1996. – V. 30. – P. 390A–396A.

156) World Health Organisation (WHO). Agrochemicals, Health and Environment: Directory of Resources. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.who.int/heli/risks/toxics/chemicalsdirectory/en/index1.html>

157) Xu, S. Monitoring temporal trends of dioxins, organochlorine pesticides and chlorinated paraffins in pooled serum samples collected from Northern Norwegian women: The MISA cohort study [Text] / S. Xu, S. Hansen, A. Rautio [et al.] // Environmental Research. – 2022. – V. 204. – P. 111980.

158) Yang, R. Organochlorine pesticides and PCBs in fish from lakes of the Tibetan Plateau and the implications [Text] / R. Yang, Y. Wang, A. Li [et al.] // Environmental Pollution. – 2010. – V. 158. – P. 2310–2316.

159) Yegambaram, M. Role of environmental contaminants in the etiology of Alzheimer's disease: A review / M. Yegambaram, B. Manivannan, T.G. Beach, R.U. Halden [Text] // Current Alzheimer Research. – 2015. – V. 12. – P. 116–146.

160) Zani, C. Polychlorinated biphenyl serum levels, thyroid hormones and endocrine and metabolic diseases in people living in a highly polluted area in North Italy: A population-based study [Text] / C. Zani, M. Magoni, F. Speziani, Fabrizio [et al.] // *Heliyon*. – 2019. – V. 5(6). – P. 01870.

161) Zapevalov, M.A. Global Atmospheric Transport of Persistent Organic Pollutants to the Russian Arctic [Text] / M.A. Zapevalov, D.P. Samsonov, A.I. Kochetkov [et al.] // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2020. – V. 45. – P. 658–668.

162) Zhang, X. PCB1254 exposure contributes to the abnormalities of optomotor responses and influence of the photoreceptor cell development in zebrafish larvae [Text] / X. Zhang, Q. Hong, L. Yang [et al.] // *Ecotoxicology and environmental safety*. – 2015. – V. 118. – P. 133-138.

163) Zheng, T. Effects of Environmental Exposures on Fetal and Childhood Growth Trajectories [Text] / T. Zheng, J. Zhang, K. Sommer [et al.] // *Annals of Global Health*. – 2016. – V. 82. – P. 41–99.

A7. Число совместно проживающих с Вами лиц (включая Вас)

Женщин 15 лет и старше Мужчин 15 лет и старше Детей младше 15 лет

A8. Есть ли у Вас в настоящее время постоянная работа? Да Нет

Если да, то какая (сезонная или непрерывная)?

Место работы

Профессия

A9. Ваше образование?

- Не имею
- Начальное
- Неполное среднее
- Среднее
- Среднеспециальное
- Высшее

Б. ОБРАЗ ЖИЗНИ

B1. Употребляете ли Вы в пищу продукты местного происхождения?
Да Нет

Если да, то заполните следующую таблицу 1:
Если нет, то переходите к таблице 2.

Таблица 1.

Наименование продукта питания	Частота потребления МЕСТНЫХ продуктов питания (включая всевозможные способы приготовления пищи – сырая, вареная, жареная, копченая, соленая, вяленая, маринованная ...)					
	Количество пищи на один прием, (граммы сырого веса)	Еже-дневно	1-3 раза в неделю	2-3 раза в месяц	1 раз в месяц или реже	Промысел (ловля, охота, сбор) Место Время (месяц года)
МЛЕКОПИТАЮЩИЕ (включая солонину и вяленое мясо)						
Мясо тюленя						
Жир тюленя						
Мясо моржа						
Жир моржа						
Мясо кита						
Жир кита						
Мясо белого медведя						
Мясо бурого медведя						
Оленья						
Лосятина						
Зайчатина						
Мясо кабана						

Продолжение таблицы 1.

ПТИЦА						
Гусь						
Утка						
Куропатка						
Другие виды дичи:						
.....						
.....						
.....						
РЫБА (включая строганину, вареную, жареную, соленую, вяленую ...)						
Форель						
Лосось						
Семга						
Кета						
Горбуша						
Голец						
Чир						
Сиг						
Корюшка						
Навага						
Налим						
Щука						
Другие виды рыбы:						
.....						
.....						
.....						
Крабы, креветки						
Раки						
ЯГОДЫ (включая варенье)						
Брусника						
Клюква						
Черника						
Морошка						
Малина						
Другие виды ягод:						
.....						
.....						
.....						
ГРИБЫ (включая жареные, сушеные для супов, соленые, маринованные...)						
Все виды грибов						
ОВОЩИ МЕСТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, В Т. Ч. ВЫРАЩИВАЕМЫЕ ВАМИ (включая домашние заготовки – соленые, консервированные, маринованные овощи)						
Картофель						
Морковь						
Свекла						
Лук						
Капуста						
Салат						
Редис						
Помидоры						
Огурцы						
Другие овощи:						
.....						
.....						
.....						

Таблица 2.

Наименование продукта питания	Частота потребления ПРИВОЗНЫХ продуктов питания (включая всевозможные способы приготовления пищи – сырая, вареная, жареная, копченая, соленая, вяленая, маринованная ...)						
	Количество пищи на один прием, (граммы)	Еже- дневно	1-3 раза в неделю	2-3 раза в месяц	1 раз в месяц или реже	Изготовление	
						Место	Время
МЯСОПРОДУКТЫ							
Говядина							
Свинина							
Баранина							
Кура							
Другие виды мяса и птицы:							
.....							
Тушенка говяжья (консервы)							
Тушенка свиная (консервы)							
Пельмени							
Сосиски, сардельки							
Колбаса вареная							
Колбаса копченая							
Ветчины и другие копчености							
Яйца							
РЫБА							
Треска							
Минтай							
Хек							
Сельдь							
Скумбрия							
Палтус							
Другие виды рыбы:							
.....							
Рыбные консервы:							
.....							
Крабы, креветки							
ОВОЩИ							
Картофель							
Капуста							
Морковь							
Свекла							
Салат							
Редис							
Лук							
Помидоры							
Огурцы							
Другие овощи:							
.....							
Овощные консервы:							
.....							
ФРУКТЫ							
Апельсины							
Яблоки							
Другие фрукты:							
.....							
.....							

Продолжение таблицы 2.

МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ							
Молоко							
Кисломолочные продукты							
Масло сливочное							
Сыр							
Творог							
Другие молочные продукты:							
.....							
.....							
.....							
БАКАЛЕЯ							
Крупы							
Макаронные изделия							
Ржаной хлеб							
Пшеничный хлеб							
Сахар							
Соки							
Лимонад							
Минеральная вода							
Вода очищенная							

Б2. Откуда Вы получаете питьевую воду:

Источник воды	Потребление воды по месяцам (позначить галочками)											
	яне	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
Водопровод												
Колонка												
Колодец												
Водоем (ручей, река, озеро)												
Талая вода (снег, лед)												

Б3. Курите ли Вы? Да _____ Нет _____

Если да, то сколько лет подряд Вы курите?.....

В каком возрасте Вы начали регулярно курить?.....

Что Вы курите (сигареты с фильтром, папиросы, трубку, сигары)?.....

Сколько штук Вы выкуриваете за день?.....

Если не курите, то курили ли Вы раньше? Да _____ Нет _____

В каком возрасте Вы начали регулярно курить?.....

В каком возрасте Вы совсем бросили курить?.....

Сколько человек (кроме Вас) курят в Вашем доме?.....

Б4. Применяете ли Вы дома химикаты для борьбы с насекомыми (тараканами, мухами, клопами)

Да _____ Нет _____

химикаты для борьбы с насекомыми на своем огороде Да _____ Нет _____

химикаты для борьбы с насекомыми на работе (напр., для обработки животных)

Да _____ Нет _____

химикаты для борьбы с грызунами

Да _____ Нет _____

Какие именно химикаты Вы используете?

Как часто Вы используете химикаты - сколько раз
в неделю
в месяц
в год
Где Вы храните химикаты?

Б5. Ловите ли Вы рыбу? Да _____ Нет _____
Если да, то используете ли Вы свинцовые грузила в процессе ловли?
Да _____ Нет _____
Льёте ли Вы грузила самостоятельно? Да _____ Нет _____

Б6. Охотитесь ли Вы? Да _____ Нет _____
Если да, то какого типа и торговых марок свинцовые пули и дробь Вы используете для охоты?

—

—

Сколько коробок с патронами Вы используете в течение года?

Сколько дней в году Вы охотитесь? _____

Г. ИСТОРИЯ БОЛЕЗНИ
(ЗАПОЛНЯЕТ МЕД РАБОТНИК)

Г1. Перечень диагностированных хронических заболеваний:

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Корреляционный анализ

Таблица Б.1 – Одномерные ассоциации (значения коэффициента корреляции Спирмена – r_s) между элементами у всех исследованных образцов рыб

	Вес	Длина	Липиды	ПХБ 28	ПХБ 52	ПХБ 101	ПХБ 105	ПХБ 118	ПХБ 128	ПХБ 138	ПХБ 153	ΣПХБ	<i>p,p'</i> -ДДЕ	ΣДДТ	ГХБ	цис-нонахлор	транс-нонахлор	транс-хлордан
Возраст	-0,254*	-0,200	-0,434**	0,181	-0,073	-0,137	-0,306**	-0,258*	-0,442**	-0,033	0,096	-0,103	-0,205	-0,234*	-0,078	-0,494**	-0,498**	-0,519**
Вес		0,975**	0,203	0,161	0,094	0,042	0,169	0,063	0,271*	-0,015	-0,183	-0,001	0,188	0,207	-0,068	0,212	0,247*	0,389**
Длина			0,126	0,151	0,038	0,009	0,142	0,030	0,248*	-0,016	-0,217	-0,046	0,088	0,106	-0,107	0,148	0,181	0,312**
Липиды				0,250*	0,647**	0,659**	0,727**	0,746**	0,588**	0,318**	0,436*	0,640**	0,603**	0,649**	0,610**	0,776**	0,806**	0,707**
ПХБ 28					0,662**	0,568**	0,347**	0,480**	0,302**	0,235*	0,541**	0,654**	0,505**	0,516**	0,478**	0,326**	0,406**	0,292*
ПХБ 52						0,770**	0,579**	0,674**	0,421**	0,255*	0,664**	0,780**	0,769**	0,774**	0,613**	0,587**	0,663**	0,505**
ПХБ 101							0,523**	0,827**	0,622**	0,133	0,813**	0,901**	0,788**	0,795**	0,549**	0,745**	0,774**	0,638**
ПХБ 105								0,718**	0,336**	0,741**	0,318**	0,585**	0,416**	0,468**	0,605**	0,675**	0,726**	0,525**
ПХБ 118									0,644**	0,421**	0,669**	0,878**	0,678**	0,708**	0,678**	0,855**	0,851**	0,674**
ПХБ 128										-0,149	0,362**	0,601**	0,495**	0,518**	0,239*	0,635**	0,675**	0,590**
ПХБ 138											0,159	0,302**	0,074	0,120	0,563**	0,382**	0,366**	0,226
ПХБ 153												0,884**	0,761**	0,750**	0,620**	0,583**	0,573**	0,475**
ΣПХБ													0,817**	0,833**	0,697**	0,772**	0,791**	0,634**
<i>p,p'</i> -ДДЕ														0,993**	0,523**	0,729**	0,763**	0,692**
ΣДДТ															0,549**	0,773**	0,808**	0,732**
ГХБ																0,606**	0,594**	0,442**
цис-нонахлор																	0,959**	0,889**
транс-нонахлор																		0,874**

*- корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя);
** - корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Уровни содержания СОЗ в мужчинах и женщинах семи поселков Ненецкого АО

Таблица В.1 – Содержание СОЗ в сыворотке крови мужчин и женщин в зависимости от места проживания в Ненецком АО, в нг/г липидов

Соединения	Меры	Бугрино		Варнек		Шойна		Амдерма		Индига		Нельмин-Нос		Красное		Всего		
		Ж n=25	М n=13	Ж n=11	М n=6	Ж n=32	М n=11	Ж n=33	М n=17	Ж n=35	М n=15	Ж n=28	М n=22	Ж n=41	М n=8	Ж n=205	М n=92	
o,p'-ДДЕ	M _{геом.}	15,3	19,4	24,4	27,5	12,7	23,0	5,01	6,57	3,34	3,80	21,8	14,8	42,3	35,0	12,6	12,6	
	95% ДИ	9,7-24,4	11,1-34,2	16,0-37,4	13,5-56,1	8,76-18,5	17,3-30,5	3,05-8,25	3,79-11,4	2,44-4,56	2,23-6,50	12,7-37,2	9,18-23,9	32,0-55,9	25,1-49,0	10,4-15,3	9,90-15,9	
	Мин.	<ПКО	2,70	8,73	11,01	<ПКО	11,80	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	17,97	<ПКО	<ПКО
	Макс.	77,0	58,6	67,0	61,8	244	38,5	275	23,7	19,7	24,0	138	65,6	597	75,2	597	75,2	
	Ме	21,5	25,2	29,0	27,9	15,1	23,31	1,98	11,4	<ПКО	<ПКО	34,8	17,5	44,9	35,0	17,1	14,8	
p,p'-ДДЕ	M _{геом.}	73,5	98,5	95,5	188	109	152	150	123	39,1	41,8	59,5	21,4	63,2	102	75,2	68,3	
	95% ДИ	47,6-113	66,7-146	28,8-317	102-346	69,2-171	85,5-272	110-205	73,1-207	27,3-56,1	23,4-74,6	44,4-79,7	11,4-40,1	42,7-93,4	52,4-200	64,0-88,5	52,4-88,9	
	Мин.	<ПКО	30,64	<ПКО	103	<ПКО	43,3	28,0	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	35,2	<ПКО	<ПКО	
	Макс.	733	264	1239	467	1318	549	1314	1315	336	336	233	181	2578	278	2578	1315	
	Ме	61,8	117	156	187	122	166	142	124	37,8	38,7	66,8	26,0	60,5	74,2	67,6	76,3	
p,p'-ДДЦ	M _{геом.}							<ПКО				38,5	41,4	74,3	69,6	10,4	9,6	
	95% ДИ							-				28,4-52,1	32,8-52,2	61,9-89,1	52,7-92,0	8,70-12,4	7,55-12,3	
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	17,27	<ПКО	42,78	<ПКО	<ПКО	
	Макс.							30,5				129	183	194	109	194	183	
	Ме							<ПКО				42,1	38,9	80,1	73,6	<ПКО	<ПКО	
ΣДГТ	M _{геом.}	111	137	165	229	148	193	175	146	53,4	55,0	148	98,6	230	234	136	125	
	95% ДИ	80,3-153	105-180	76-360	134-390	103-211	122-306	131-234	91,8-231	40,1-71,3	33,2-91,0	123-179	77,8-125	187-284	152-360	119-154	105-147	
	Мин.	<ПКО	61,3	<ПКО	124	<ПКО	72,4	32,2	41,1	<ПКО	<ПКО	<ПКО	36,2	88,4	98,3	<ПКО	<ПКО	
	Макс.	760	276	1258	506	1338	570	1348	1321	348	342	297	301	2726	534	2726	1321	
	Ме	88	144	174	208	162	200	162	136	50,9	56,0	168	93,5	204	220	147	127	
ПХБ138	M _{геом.}	<ПКО	21,6	87,4	125	17,6	30,7	16,4	19,1	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	16,9	
	95% ДИ	8,76-16,7	13,2-35,5	30,6-250	47,7-328	13,3-23,2	17,0-55,6	12,6-21,5	13,9-26,3	7,86-13,1	7,41-22,1	7,34-11,0	6,86-11,5	7,50-11,7	4,70-15,0	11,7-15,1	13,7-20,9	
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	47,02	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	
	Макс.	117	61,2	811	515	114	96,8	67,7	60,0	144	163	45,5	54,6	96,9	39,0	811	515	
	Ме	<ПКО	30,22	143,88	99,75	17,74	35,61	15,97	18,25	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	
ПХБ153	M _{геом.}	15,8	43,2	200	448	19,1	41,6	25,1	31,5	8,18	12,7	6,34	13,4	10,2	2,28	14,5	22,7	
	95% ДИ	8,85-28,1	21,7-86,3	43,8-915	109-1838	11,9-30,7	22,8-76,1	16,9-37,3	19,6-50,5	5,12-13,1	5,68-28,6	3,83-10,5	8,3-20,7	6,06-17,2	1,08-4,81	11,6-18,2	16,4-31,3	
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	82,12	<ПКО	8,84	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	
	Макс.	261	136	2413	2641	172	142	197	83,2	247	292	66,0	77,2	165	19,8	2413	2641	
	Ме	20,0	66,5	559	483	24	55	31,1	29,3	10,7	11,1	ПКО	15,8	15,1	<ПКО	18,6	27,3	
ПХБ180	M _{геом.}	9,26	24,9	122	270	7,69	11,9	10,7	15,7	ПКО	3,32	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	3,76	5,83	
	95% ДИ	6,59-13,0	12,9-48,2	33,7-441	51,5-1412	5,14-11,5	6,48-21,7	6,96-16,6	9,59-25,6	-	1,41-7,82	-	-	-	-	2,98-4,75	3,91-8,69	
	Мин.	5,04	6,55	3,33	25,8	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	
	Макс.	270	144	1006	1423	74,6	37,4	96,6	52,4	77,8	118	1,17	1,20	65	1,12	1006	1423	
	Ме	7,32	24,8	299	355	8,60	14,2	13,2	20,0	ПКО	3,38	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	3,33	5,96	

Продолжение таблицы В.1

Соединения	Меры	Бугрино		Варнек		Шойна		Амдерма		Индига		Нельмин-Нос		Красное		Всего	
		Ж n=25	М n=13	Ж n=11	М n=6	Ж n=32	М n=11	Ж n=33	М n=17	Ж n=35	М n=15	Ж n=28	М n=22	Ж n=41	М n=8	Ж n=205	М n=92
ПХБ118	Мгеом.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	18,28	14,66	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	95% ДИ	-	-	-	-	-	-	14,4-23,2	10,6-20,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.	34,6	23,4	184	45,0	76,9	24,0	48,2	42,1	129	89,0	51,6	9,60	57,6	8,92	184	89,0
	Ме	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	18,30	14,39	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
ПХБ183	Мгеом.			13,8	18,7												<ПКО
	95% ДИ			7,13-26,7	7,52-46,7												
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.			48,5	45,6												48,5
	Ме			17,7	22,4												
ΣПХБ	Мгеом.	57,3	115	499	925	71,0	110	82,4	92,2	<ПКО	52,5	<ПКО	<ПКО	42,2	<ПКО	58,6	74,1
	95% ДИ	42,1-78,6	72,9-180	153-1625	244-3502	54,7-92,2	74,5-163	62,8-108	68,6-124	32,0-55,7	30,1-91,6	27,0-42,3	30,4-46,5	32,6-54,4	17,7-34,8	51,0-67,4	59,2-92,9
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	178,03	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.	679	354	4265	4604	427	257	325	217	605	666	161	137	349	53,39	4265	4604
	Ме	47,5	121	1054	982	71,7	123	89,5	82,3	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	47,5	62,6
ГХБ	Мгеом.	49,1	86,9	72,1	75,4	21,0	26,3	33,2	34,2	96,6	133	37,1	59,2	76,9	84,6	48,7	61,3
	95% ДИ	27,7-87,1	40,5-187	27,7-188	40,5-141	14,0-31,4	16,2-42,9	24,3-45,5	23,5-49,6	55,6-168	82,0-215	25,4-54,4	38,6-90,8	56,1-105	45,9-156	40,8-58,2	49,6-75,6
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	47,9	<ПКО	10,8	<ПКО	9,38	<ПКО	22,2	<ПКО	12,5	ПКО	24,5	ПКО	ПКО
	Макс.	255	358	363	213	121	109	114	250	768	469	152	713	335	199	768	713
	Ме	57,7	94,7	77,9	55,6	26,2	23,2	39,3	36,7	150	169	38,8	45,4	98,3	99,0	57,7	54,3
β-ГХЦГ	Мгеом.	9,40	13,3	16,7	13,1	22,1	26,4	32,2	17,1	20,4	19,8	10,5	10,2	19,7	23,2	18,1	15,9
	95% ДИ	5,55-15,9	9,83-18,0	7,57-36,9	5,64-30,5	14,1-34,7	12,1-57,5	22,2-46,7	11,0-26,7	14,2-29,2	12,2-32,0	6,65-16,6	7,53-13,8	13,7-28,3	9,59-56,0	15,4-21,4	13,2-19,0
	Мин.	<ПКО	5,41	<ПКО	ПКО	<ПКО	3,17	7,27	ПКО	<ПКО	7,21	<ПКО	<ПКО	<ПКО	6,12	<ПКО	<ПКО
	Макс.	137	31,4	81,5	26,4	276	178	232	118	123	139	92,3	26,1	314	89,2	314	178
	Ме	9,11	12,7	17,8	17,0	25,0	26,2	41,5	17,6	19,0	14,7	12,9	11,2	20,4	20,4	18,8	14,4
Альдрин	Мгеом.	19,68	<ПКО	<ПКО	36,37			<ПКО	<ПКО								<ПКО
	95% ДИ	10,8-35,7	6,16-28,1	5,50-26,2	3,16-419			-	-								-
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.	352	269	352	987			50,5	24,6								352
	Ме	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО			<ПКО	<ПКО								
Мирекс	Мгеом.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО					<ПКО							<ПКО
	95% ДИ	-	-	-	-					-							-
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.	36,6	36,6	<ПКО	10,5					111							111
	Ме	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО					<ПКО							<ПКО
транс- Нонахло р	Мгеом.			26,0	30,6	<ПКО	<ПКО	<ПКО		<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	95% ДИ			11,8-57,7	10,7-87,8	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
	Мин.	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
	Макс.			132	95,7	64,98	34,83	44,78		43,65	26,12	53,39	12,42	26,38	10,04	131,63	95,73
	Ме			40,7	44,3	<ПКО	<ПКО	<ПКО		<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО
1,2,3,5- ТХБ	Мгеом.							ПКО	ПКО	50,2	64,9						ПКО
	95% ДИ							-	-	27,3-92,5	34,1-124						-
	Мин.	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	<ПКО	<ПКО	<ПКО	12,48		ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	<ПКО
	Макс.									373	502						373
	Ме							<ПКО	<ПКО	86,3	66,3						<ПКО