

Обзор состояния (инвентаризация) стойких органических загрязнителей в объектах окружающей среды Мурманской области

Ткачева Н. И., кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (yaroshen@nioch.nsc.ru)

Морозов С. В., кандидат химических наук, заведующий Лабораторией экологических исследований и хроматографического анализа, Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (morozov@nioch.nsc.ru)

Третьяков Е. В., доктор химических наук, заместитель директора, Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук (treyakov@ioc.ac.ru)

Ткачев А. В., профессор, доктор химических наук, заведующий Лабораторией терпеновых соединений, Новосибирский институт органической химии имени Н. Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук (atkachev@nioch.nsc.ru)

Аннотация. В обзоре приведены сведения о современном состоянии загрязнения окружающей среды Мурманской области. Рассмотрены основные источники потенциального образования и выбросов СОЗ, включая ПАУ, объекты накопленного экологического ущерба и «горячие точки» Мурманской области. Приведены данные государственного мониторинга загрязнения и данные проведенных в период 2000-2019 гг. российских и международных исследований по содержанию СОЗ в различных объектах окружающей среды, включая продукты питания, Мурманской области. Источники информации включают научные публикации, отчеты и доклады российских и международных организаций, официальные издания о состоянии окружающей среды Мурманской области и Арктической зоны РФ.

Ключевые слова: загрязнение, мониторинг, Мурманская область, полициклические ароматические углеводороды, стойкие органические загрязнители

The State (Inventory) Overview of Persistent Organic Pollutants in Environmental Objects of the Murmansk Region

Tkacheva N. I., Ph.D. (Chemistry), senior researcher, N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (yaroshen@nioch.nsc.ru)

Morozov S. V., Ph.D. (Chemistry), Head of Laboratory of environmental studies and chromatographic analysis, N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (morozov@nioch.nsc.ru)

Treyakov E. V., Professor, Ph.D. (Chemistry), Deputy director, N. D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of the Russian Academy of Sciences (treyakov@ioc.ac.ru)

Tkachev A.V., Professor, Ph.D. (Chemistry), Head of the Terpenoids Laboratory, N. N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (atkachev@nioch.nsc.ru)

Abstract. The review provides information about the current state of environmental pollution in the Murmansk region. The main sources of potential formation and emissions of POPs, including PAHs, objects of accumulated environmental damage and "hot spots" of the Murmansk region are considered. The data of state pollution monitoring and data of Russian and international studies conducted in the period 2000-2019 on the content of POPs in various environmental objects, including food, of the Murmansk region are presented. Sources of information include scientific publications, reports and reports of Russian and international organizations, official publications on the state of the environment of the Murmansk region and the Arctic zone of the Russian Federation.

Keywords: persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons, pollution, monitoring, Murmansk region

Работа выполнена в рамках государственного задания АААА-А21-121011490018-2 (Проект «Высокотехнологическая аналитическая платформа для исследований в области химической экологии, фармакогнозии, фитохимии, клинической и экспериментальной медицины и для обеспечения экологической, фармацевтической и продовольственной безопасности») при поддержке Арктического совета (Проект АСАР «Инвентаризация использования СОЗ и ртути и их источников выбросов в Мурманской области»).

Используемые сокращения

АЗРФ — арктическая зона Российской Федерации, **АО** — акционерное общество, **ГОК** — горно-обогатительный комбинат, **ГМК** — горнометаллургический комбинат, **ГХБ** — гексахлорбензол, **ГХЦГ** — гексахлорциклогексан, **ДДД** — дихлордифенилдиэтилэтан, **ДДЕ** — дихлордифенилдиэтилэтан, **ДДТ** — дихлордифенилтрихлорэтан, **ЖКХ** — жилищно-коммунальное хозяйство, **ЗВ** — загрязняющие вещества, **ЛЭП** — линия электропередачи, **НЭУ** — накопленный экологический ущерб, **ООПТ** — особо охраняемые природные территории, **ОСПАР** (The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic or OSPAR) — Конвенция по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики, **СОЗ** — стойкие органические загрязнители, **ПАУ** — полициклические ароматические углеводороды, **ПБДЭ** — полибромированные дифениловые эфиры, **ПХДД** — полихлорированные дибензодиоксины, **ПХБ** — полихлорированные бифенилы, **ПХДФ** — полихлорированные дибензофураны, **ТЭ** — токсический эквивалент (=диоксиновый эквивалент), **ТЭЦ** — теплоэлектроцентраль, **ХОП** — хлорорганические пестициды, **АСАР** — Программа действий по борьбе с загрязнением Арктики, **АМАР** (Arctic Monitoring And Assessment Programme) — Программа арктического мониторинга и оценки, **EU** (European Union) — Европейский Союз, **JAMP** (Joint Assessment & Monitoring Programme) — Совместная программа оценки и мониторинга, **US EPA** (U.S. Environmental Protection Agency) — Агентство по охране окружающей среде США.

Мурманская область относится к наиболее индустриально развитым и урбанизированным районам арктической зоны Российской Федерации. Территория региона характеризуется довольно высокой плотностью населения и повышенной нагрузкой на окружающую среду, поскольку основой экономики является горнопромышленный комплекс с входящими в него предприятиями горно-химической промышленности, цветной и черной металлургии, деятельность которых оказывает существенное негативное воздействие на окружающую природную среду.

В городах Мончегорск, Заполярный, поселке городского типа Никель расположены комбинаты «Североникель» и «Печенганикель», входящие в состав ГМК «Норильский Никель», в городе Кандалакша — Кандалакшский алюминиевый завод. Предприятия черной металлургии представлены АО «Олкон» (г. Оленегорск), АО «Ковдорский ГОК» (г. Ковдор).

На территории области расположены три морских порта, два аэропорта. В Мурманске базируется атомный ледокольный флот.

Основные причины загрязнения природной среды всей территории российской Арктики:

- трансграничные атмосферные и водные переносы загрязняющих веществ (ЗВ), в том числе их атмосферный перенос продуктов сжигания топлива, пыли, тяжелых металлов из сопредельных промышленно развитых районов и перенос морскими водными массами системы Гольфстрим;

- вынос загрязняющих веществ со стоками крупных рек, в том числе в результате таяния в весенний период снежного покрова и речных льдов с накопленными за зиму загрязняющими веществами, принесенными атмосферными потоками с территорий разных континентов;

- выбросы в атмосферный воздух стационарными и передвижными источниками;

– сброс в воды (моря, реки, озера, водохранилища) загрязненных сточных вод промышленными предприятиями, объектами ЖКХ, передвижными источниками (все виды транспортных средств, включая морской и речной флот, авиацию, автомобильный транспорт и нефтепроводы);

– накопление твердых отходов производства и потребления, сопровождающееся их несанкционированным и неконтролируемым захоронением в отсутствие надлежащей системы сбора и утилизации;

– аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на суше и в морской среде;

– природные сифонирующие источники в нефтегазоносных районах побережья и на континентальном шельфе арктических морей;

– эксплуатация промышленных объектов и инженерных сооружений в прибрежной зоне арктических морей.

Установлено, что проблема химического загрязнения российской Арктики, которое, как правило, локализовано в горячих точках и в импактных районах, в первую очередь связана с тяжелыми металлами и нефтяными ЗВ [1].

Особую опасность для окружающей среды российской Арктики и здоровья человека представляют стойкие органические загрязнители (СОЗ), которые способны накапливаться в почве, воде и живых организмах, а далее передаваться по пищевым цепям и человеку.

Повышенную обеспокоенность вызывает нахождение в Арктике высокоопасного класса соединений — полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые, хотя и не входят в перечень СОЗ Стокгольмской конвенции, но включены в списки приоритетных загрязнителей Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) и Евросоюза.

Полной оценки загрязнения территории Мурманской области стойкими органическими загрязнителями нет, а имеющиеся данные носят локальный и выборочный характер.

Общие сведения о Мурманской области

Область расположена на северо-западе Российской Федерации (Рис. 1) и занимает всю территорию Кольского полуострова и часть территории материка. Её площадь составляет 144,9 тыс. км². Регион омывается двумя морями — Баренцевым с севера и Белым с юга, — на западе граничит с Норвегией и Финляндией, на юге соседствует с Республикой Коми. К территории области относятся и множество островов Баренцева и Белого морей.

Мурманская область — один из самых озёрно-речных регионов России. Крупнейшей рекой полуострова является Поной протяженностью 426 км. Крупнейшие озёра: Имандра (876 км²), Умбозеро (422 км²).

На территории области расположены 74 особо охраняемых природных территории, включая 1 национальный парк, 3 государственных природных заповедника, 12 государственных природных заказников, 54 памятника природы, 2 природных парка, Полярно-Альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского НЦ РАН (ПАБ СИ КНЦ РАН), общая площадь которых составляет 13,2 % от площади региона. На этих ООПТ находятся виды флоры и фауны, занесенные в Международный Красный список международного союза охраны природы, Красную книгу Российской Федерации, Красную книгу Мурманской области.

Мурманская область — самый населенный регион Арктики. В 2010 г. здесь проживало 842 тыс. человек, что составляет более 40 % численности всего населения арктических областей России (на 1 января 2020 г. — 741 404 человек) [2].

На территории области проживают коренные малочисленные народы Севера, среди которых самые многочисленные — саамы (по данным Всероссийской переписи населения 2010 г. — 1,6 тыс. человек) [3].

Районами проживания коренных малочисленных народов Севера являются Ковдорский, Кольский, Ловозерский и Терский.

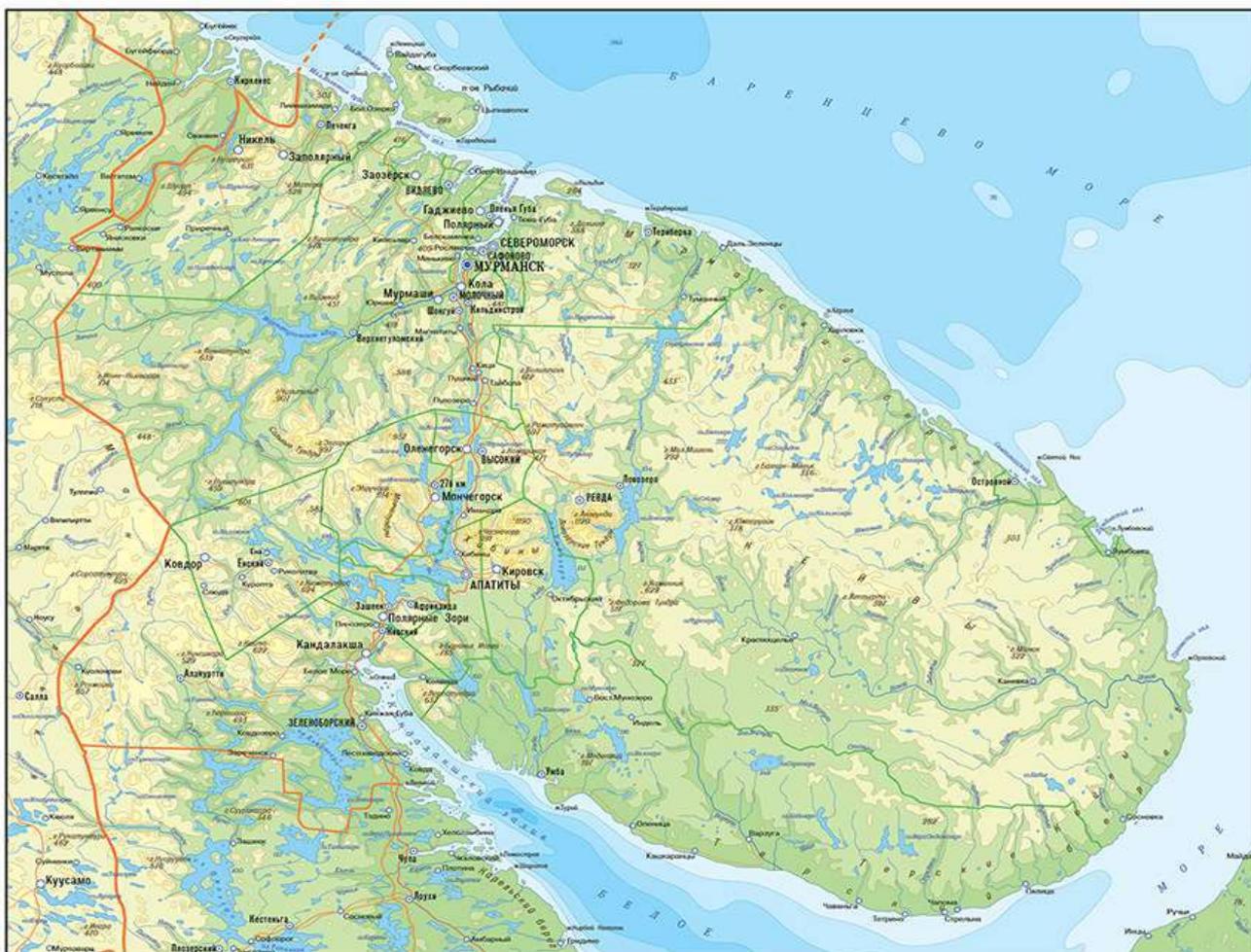


Рис.1. Физическая карта Мурманской области

К крупнейшим предприятиям Мурманской области относятся [4]: Кировский филиал АО «Апатит», АО «Кольская горно-металлургическая компания», АО «Ковдорский ГОК», АО «Оленегорский ГОК», ООО «Ловозерский ГОК», АО «Северо-Западная фосфорная компания», филиал АО «РУСАЛ Урал» в г. Кандалакше «ОК РУСАЛ КАЗ», АО «Мурманский морской торговый порт», АО «Кандалакшский морской торговый порт», Мурманский регион Октябрьской железной дороги (филиал ОАО «РЖД»).

Экологическая обстановка в области

Основной вклад в выбросы ЗВ в атмосферный воздух Мурманской области от стационарных источников вносят предприятия

следующих видов деятельности: «производство металлургическое», «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», «добыча полезных ископаемых». Общий вклад стационарных источников в суммарные выбросы основных загрязняющих веществ в атмосферный воздух области в 2020 г. составил 90,02 %.

Наибольшее количество выбросов основных загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферный воздух в 2020 г. отмечалось на территории г. Мончегорска — 46,17 тыс. тонн (в 2019 г. — 47,63 тыс. тонн), Печенгского района — 44,50 тыс. тонн (в 2019 г. — 68,55 тыс. тонн), где расположены крупнейшие предприятия цветной металлургии [5].

Загрязнение вод малых рек Кольского полуострова, испытывающих постоянную нагрузку сточными водами промышленных комплексов и населенных пунктов при низкой способности к самоочищению в условиях Арктики, в течение ряда десятилетий носит хронический характер. Деятельность промышленных предприятий приводит к попаданию ЗВ в водоемы, которые поступают как в составе сточных вод, так и в виде выпадений из атмосферы ЗВ, содержащихся в пылевых выбросах.

Высокие и экстремально-высокие уровни загрязнения вод металлами, сульфатами, дитиофосфатом, соединениями азота и фосфора, органическими веществами носят локальный характер и наблюдаются, в основном, в небольших водоемах.

В 2020 г. по Мурманской области объем сточных вод, содержащих ЗВ, увеличился по сравнению с 2019 г. (274,49 млн м³) на 38,97 млн м³ и составил 313,46 млн м³ [5]. К характерным ЗВ вод малых рек Кольского полуострова относятся соединения никеля, железа, меди, марганца, молибдена, дитиофосфат крезоловый.

В 2020 г. увеличилось число случаев высокого загрязнения поверхностных вод медью, никелем, ртутью, алюминием, бенз(а)пиреном и фтором, при этом сократилось число случаев загрязнения дитиофосфатом крезоловым и молибденом.

Негативное влияние на водные объекты Мурманской области оказывают сточные воды предприятий горнодобывающей, горнообработывающей и металлургической промышленности, предприятий ЖКХ [6].

Загрязнение вод Баренцева моря происходит за счет выноса ЗВ антропогенного происхождения с речным стоком, а также перенос их ЗВ морскими течениями из сопредельных морей. Загрязнение открытой части моря происходит также в результате водообмена с наиболее загрязненными губами и заливами, куда сбрасывают загрязненные воды предприятия и организации Мурманской области. Так, в районе торгового порта Мурманска в водах Кольского залива отмечается устойчивое загрязнение нефтепродуктами [5].

Наибольший вклад в количество образующихся на территории области отходов вносят предприятия горнодобывающей промышленности. На их долю приходится более 99 % от совокупного количества всех видов отходов производства и потребления в области [7].

В 2020 г. в организациях области образовалось 305,6 млн тонн отходов производства и потребления. При этом утилизировано и обезврежено 12,2 % от общего объема образовавшихся отходов; на объектах захоронения, принадлежащих организациям, размещено (захоронено) 28,8 % [5].

Проблема накопленного экологического ущерба (НЭУ) относится к одной из основных экологических проблем Мурманской области. Начиная с 2013 г., региональное правительство предпринимает практические меры по ее решению. Ежегодно проводится мониторинг объектов НЭУ, выполняются работы по выявлению новых объектов и их инвентаризации, классификации и ранжированию с учетом степени негативного воздействия на окружающую среду, готовятся предложения по реализации проектов ликвидации этих объектов, координируется исполнение таких проектов. Создан и постоянно актуализируется региональный реестр объектов НЭУ и загрязненных территорий.

Публичная карта объектов накопленного экологического ущерба доступна на портале «Реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду» [8].

В настоящее время перечень объектов НЭУ на территории Мурманской области включает 115 объектов, среди которых — несанкционированные свалки отходов, загрязненных нефтепродуктами, хранилища отработанных нефтепродуктов (нефтешламов), затонувшие объекты в акватории Кольского залива Баренцева моря и другие объекты, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду [9]. В 2018 г. 12 затонувших объектов в акватории Кольского залива Баренцева моря, требующих ликвидации в первоочередном порядке, включены приказом Минприроды в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде [10].

«Горячие точки»

Мурманская область — один из основных очагов экологической напряженности в АЗРФ (на область приходится 10 % от суммарного выброса ЗВ) [11]. Формирование загрязненных импактных территорий, связано, в основном, с горно-металлургическими предприятиями в Мончегорске, Печенге, Оленегорске, Кандалакше, Ковдоре. Для этих центров горно-металлургической промышленности характерны повышенные уровни накопления токсических веществ в экосистемах, загрязнение подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха тяжелыми металлами (особенно ртутью), нефтепродуктами.

Наиболее крупные импактные районы Мурманской области и находящиеся в них источники загрязнений [1,12]:

- Западно-Кольский (Никель, Заполярный) — цветная металлургия, горнодобывающая промышленность (оксиды азота, пыль, фтористый водород, тяжелые металлы — Cu, Ni, Co);

- Центрально-Кольский (Мончегорск, Оленегорск) — цветная металлургия, горнодобывающая промышленность, АЭС, транспорт (оксиды серы и азота, пыль, стронций, фосфор, радионуклиды, тяжелые металлы — Cu, Ni, Co, Pb, Cr);

- Хибинский (Кировск, Апатиты) — пыль, диоксид серы, оксид углерода, стронций, алюминий, бенз(а)пирен, флотреагенты, окислы азота, фосфаты, фториды, тяжелые металлы и пр.

Перечень горячих точек Баренцева региона, составленный в рамках региональной программы по охране окружающей среды Совета Баренцева/Евроарктического региона (СБЕР), в настоящее время включает 9 горячих точек Мурманской области [14] (Рис. 2).



Рис. 2. Горячие точки Мурманской области

M1 — Печенганикель, ОАО «Кольская ГМК», п. Никель и г. Заполярный; **M2** — Промышленная площадка г. Мончегорск, ОАО «Кольская ГМК»; **M3** — ОАО «Апатит», г. Кировск; **M4** — Апатитская ТЭЦ ОАО ТГК-1, г. Апатиты; **M5** — ОАО «Ковдорский ГОК», ОАО «Еврохим» г. Ковдор; **M6** — качество воды в р. Кола и оз. Большом; **M7** — обеспечение питьевой водой поселка Зеленоборский — 1; **M9** — брошенные и затопленные суда в Кольском заливе; **M10** — обращение с нефтесодержащими отходами.

Негативные изменения разной степени интенсивности в естественных ландшафтах Арктики приводят к формированию горячих точек. «Горячая точка» — это ограниченное пространство, в пределах которого техногенные источники загрязнения оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. На территориях таких пространств происходит многократно превышающее нормативное загрязнение природных компонентов, деградация экосистем, ухудшение здоровья населения, потеря биоразнообразия и нарушение систем жизнеобеспечения.

Всего на территории области выделены 12 горячих точек: города Никель, Апатиты, Заполярный, Мурманск, Ковдор, Ловозерск; поселки Кола, Полярные зори; Печенгский и Терский районы; город Заозерск и прилегающие морские акватории (губа Нерпичья, губа Большая Лопаткина, губа Малая Лопаткина, губа Андреева); ЗАТО г. Островной (Мурманская область) и побережье Баренцева моря вблизи Йоканьгских островов и полуострова Святой Нос; ЗАТО г. Снежногорск (Мурманская область) и бухта Кут Губы Оленьей [13].

Загрязнение окружающей среды СОЗ

Особую опасность для окружающей среды Мурманской области и здоровья человека представляет загрязнение стойкими органическими загрязнителями, что обусловлено их общими свойствами — высокой токсичностью, способностью накапливаться в тканях живых организмов, длительное время сохраняться в окружающей среде и крайне медленно разрушаться под воздействием естественных природных факторов и способностью к переносу на большие расстояния. Существуют обоснованные доказательства негативного влияния стойких органических загрязнителей на состояние окружающей среды и здоровье людей [15]. Даже малые концентрации некоторых стойких органических загрязнителей могут приносить существенный вред, приводя к развитию болезней иммунной и репродуктивной систем, врожденным дефектам у детей, раковым заболеваниям.

Стойкие органические загрязнители объединяют группу органических веществ, обладающих опасными биологическими свойствами и стойкостью к разложению в окружающей среде. К СОЗам относятся: используемые в сельском хозяйстве хлорорганические пестициды (например, ДДТ и ГХЦГ) и продукты их распада (например, ДДЭ), промышленные хлорорганические соединения (ПХБ и т.д.) и продукты горения (например, ПХДД и ПХДФ). В силу исключительной липофильности большинства хлорорганических соединений они накапливаются в жировых тканях видов, входящих в пищевую цепь. Это представляет потенциальную опасность для коренных народов региона, употребляющих в пищу большое количество продуктов дикой природы, богатых липидами.

Повышенную обеспокоенность вызывает нахождение в арктической среде высокоопасного класса соединений — ПАУ. Они представляют значительную угрозу для здоровья человека и экосистемы вследствие проявления мутагенных, канцерогенных и тератогенных свойств и их способности накапливаться в природных объектах. Кроме того, ПАУ подвержены атмосферному переносу на большие расстояния. Угрозу для живых организмов представляют не только сами ПАУ, но и продукты их метаболизма, которые могут быть более токсичными, чем исходные соединения. Конвенцией о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния ЕЭК ООН ПАУ определены как СОЗ и внесены в Протокол по стойким органическим загрязнителям в Орхусе (Дания) и в Конвенцию по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (ОСПАР) в 1998 г. [16]. ПАУ и их производные обнаружены в наземной, пресноводной и морской биоте Арктики. Отмечается, что концентрации многих СОЗ в Арктике за последние 25 лет уменьшаются, в то время как концентрации ПАУ возрастают в десятки раз [17].

В окружающую среду региона СОЗ поступают в результате дальнего переноса атмосферными потоками, реками и океанскими течениями из стран Азии, Европы и Северной

Америки. Также на территории Мурманской области находятся антропогенные источники потенциального непреднамеренного образования и выбросов СОЗ и ПАУ и другие локальные источники, которые, как правило, связаны с эксплуатируемым и вышедшим из обращения электротехническим оборудованием, бочками с отработанными маслами и другими горюче-смазочными материалами.

Локальные источники загрязнения СОЗ

В Арктическом регионе РФ выделяют следующие виды хозяйственной деятельности как наиболее типичные источники неблагоприятного воздействия на окружающую среду [1]: горноперерабатывающая, целлюлозно-бумажная, металлургическая промышленность; строительство гидротехнических сооружений; строительство и эксплуатация линейных сооружений (нефтегазопроводы, железные и автомобильные дороги, ЛЭП и др.); горнодобывающие предприятия, включая предприятия по добыче и транспортировке нефти и газа; топливно-энергетический комплекс (котельные, ТЭЦ); военные объекты; транспорт (морской, трубопроводный); предприятия жилищно-коммунального хозяйства; сельскохозяйственное производство; эксплуатация морских биоресурсов.

Категории антропогенных источников непреднамеренного образования и выбросов СОЗ определены в «Приложении С» Стокгольмской конвенции [18].

На территории Мурманской области расположены производства и предприятия, которые могут потенциально использовать и/или выделять стойкие органические загрязнители, но степень их распространения и воздействия неизвестна. К ним относятся предприятия металлургического производства (АО «Кольская ГМК», «ОК РУСАЛ КАЗ»), горнопромышленного комплекса (Кировский филиал АО «Апатит», АО «Ковдорский ГОК», АО «Олкон», ООО «Ловозерский ГОК», АО «Северо-Западная фосфорная компания»), оборонно-промышленного комплекса (судоремонтные, судостроительные

и др.), предприятия по производству электро- и теплоэнергии (ГЭС, ТЭЦ, котельные), предприятия по сбору, переработке и размещению отходов, предприятия транспорта и жилищно-коммунального хозяйства.

Данные государственного мониторинга СОЗ

Государственный мониторинг загрязнения окружающей среды в Российской Федерации осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Мониторинг химического загрязнения природной среды (почвы, воздуха, поверхностных и морских вод) осуществляет Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» — одно из ведущих научно-исследовательских учреждений Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета.

Мониторинг загрязнения окружающей среды Мурманской области ведет территориальное подразделение Росгидромета — ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». В Апатитах, Мончегорске и Никеле наблюдения за состоянием загрязнения окружающей среды проводят сетевые лаборатории мониторинга среды — ЛМС Апатиты, ЛМС Мончегорск, ЛМС Никель.

Результаты ежегодно публикуются в виде «Обзора состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации» и «Доклада о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области», а также в ежегодниках, содержащих информацию о загрязнении окружающей среды по компонентам (атмосферный воздух, поверхностные воды, морские воды, почвы).

В настоящее время мониторинг СОЗ в абиотической составляющей окружающей среды (атмосферный воздух, поверхностные воды и почвы) в полном объеме не осуществляется. В программы работы государственной наблюдательной сети Росгидромета включен

ограниченный перечень СОЗ (ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ, ГХБ) и ПАУ (бенз(а)пирен).

Комплексные исследования загрязнения окружающей среды арктических территорий России СОЗ, включая пестициды, ПХБ, токсафены, бромированные антипирены и др., проводились в рамках отдельных проектов силами ФГБУ «НПО «Тайфун». Мурманская область в район проводимых исследований не входила.

Контроль качества атмосферного воздуха в области осуществляется в 31 мониторинговой точке. Эти точки расположены в городах Мурманск, Мончегорск, Кандалакша, Кировск, Ковдор, Апатиты, Кола, Печенгский район (г. Заполярный, пгт Никель), Оленегорск [19]. В программы мониторинга атмосферного воздуха населенных пунктов включены 23 загрязняющих веществ, включая газовые и аэрозольные примеси, в том числе тяжелые металлы. Мониторинг СОЗ в атмосферном воздухе не проводится.

Для группы ПАУ исследуются пробы атмосферного воздуха на содержание бенз(а)пирена. В 2019 г. наибольшие среднемесячные концентрации превышали норматив с максимумом в Никеле — 4,4 ПДК и Мончегорске — 3,0 ПДК (ПДКс.с. (1,0 нг/м³) [20].

Анализ результатов наблюдений гидрохимической сети Росгидромета в течение 2011–2019 гг. свидетельствует о стабилизации высокого уровня загрязненности воды малых рек Мурманской области. Основными источниками загрязнения водных объектов являются предприятия горно-металлургической и горнодобывающей промышленности (горно-металлургическими комбинаты в г. Мончегорске и Никеле), ЖКХ в населенных пунктах, а также транспортный и рыболовный флот. Наиболее загрязненные водные объекты области: р. Ньюдай (г. Мончегорск), руч. Варничный (г. Мурманск), р. Хаукилампи-Йоки (г. Заполярный) [20].

ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» проводило мониторинг качества поверхностных вод на 38 водных объектах

(50 пунктов и 38 створов наблюдений) в соответствии с утвержденной Росгидрометом Программой наблюдений на сети ГНС [21].

В рамках наблюдений за загрязнением поверхностных вод велось наблюдение за содержанием пестицидов в поверхностных водных объектах и донных отложениях. В пробах воды в пунктах режимных наблюдений определялось содержание хлорорганических пестицидов (ХОП), относящихся к СОЗ, — α -, γ -ГХЦГ, ДДТ, ДДЭ и ДДД, а в отдельных пунктах — β -ГХЦГ, ГХБ. Данные пестициды отсутствовали в воде бассейнов рек и озер Кольского полуострова.

Проводилось также наблюдение за содержанием ХОП в донных отложениях рек и озер бассейнов Баренцева и Белого морей Кольского полуострова. В донных отложениях водных объектов Кольского полуострова бассейна Белого моря ХОП не обнаружены.

Высокие уровни содержания β -ГХЦГ и ДДД наблюдаются в бассейне рек Кольского полуострова (бассейна Баренцева моря). Так, в 2016 г. β -ГХЦГ (2,1 мкг/кг) и ДДД (40 мкг/кг) выявлены в бассейне рек и озер Кольского полуострова у пгт Никель, в 2017 г. обнаружены высокие содержания β -ГХЦГ (3,3 мкг/кг) и ДДД (8,2 мкг/кг) в р. Роста в районе г. Мурманск [22].

По данным наблюдений в 2018 г. загрязненность донных отложений ХОП в бассейнах рек Кольского полуострова Баренцева моря снизилась. Среднее содержание α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, ДДТ, ДДЭ, ДДД составило 0,90, 0,100, 0,130, 1,09, 0,190 и 1,00 мкг/кг с.о. соответственно.

За состоянием морской среды в прибрежных районах Белого и Баренцева морей следят на станциях государственной службы наблюдения и контроля загрязнения объектов природной среды (станции ГСН). Станции отбора проб: водопост на территории торгового порта г. Мурманск (Кольский залив Баренцева моря), водопост «Кандалакша» на территории Кандалакшского морского торгового порта (Кандалакшский залив Белого моря).

Антропогенное загрязнение Баренцева моря в основном происходит вследствие выноса ЗВ в результате водообмена из губ и заливов,

куда сбрасывают сточные воды промышленные и муниципальные предприятия и коммунальные организации области. Свой вклад вносит и перенос ЗВ морскими течениями из сопредельных морей. В Кольский залив осуществляют сброс производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод муниципальные организации, флот и береговые предприятия разных ведомств. Основные «поставщики» сточных вод: ГОУП «Мурманскводоканал», МУП «Североморскводоканал», АО «Главное управление жилищно-коммунального хозяйства, ОАО «Мурманский морской рыбный порт».

Высоким уровнем загрязнения характеризуется Кольский залив — рыбохозяйственный водоем высшей категории. Это закономерный результат непрекращающегося сброса в залив неочищенных сточных вод. В водах и донных отложениях залива постоянно отмечается повышенное содержание нефтепродуктов, фенолов и тяжелых металлов. Дополнительным источником поступления ЗВ служит индустриальная деятельность непосредственно на морских акваториях, включая движение морского транспорта, разработку месторождений, захоронение (дампинг), прямой сброс, а также аварийные ситуации [23]. Среднегодовая концентрация γ -ГХЦГ, α -ГХЦГ и ДДТ в водах Кольского залива в 2016 г. составляла 0,3 нг/дм³, 0,5 нг/дм³ и 4,1 нг/дм³ соответственно [23].

По данным мониторинга 2017–2019 гг. пестициды ГХЦГ и ДДТ на водопосту в торговом порту Мурманска не обнаружены [23–25].

Значительным источником загрязнения вод Белого моря является сброс сточных вод предприятиями городов и поселков, расположенных в прибрежных районах и устьевых областях рек. В Кандалакшский залив Белого моря сбрасывают сточные воды ряд предприятий, из них наиболее крупные — ООО «Кандалакшаводоканал-3», Князегубский рыбоводный завод ФГБУ «Мурманрыбвод», АО «Апатитыводоканал». Среднегодовая концентрация γ -ГХЦГ, α -ГХЦГ и ДДТ в водах Кандалакшского залива в 2016 г. составляла 0,4 нг/дм³, 1,07 нг/дм³ и 5,08 нг/дм³ соответственно [24].

По данным мониторинга 2017–2019 гг. пестициды ГХЦГ и ДДТ в водах Кандалакшского залива не обнаружены [25].

Основными факторами загрязнения почвы в Мурманской области являются промышленные и бытовые отходы, а также аэрогенное загрязнение за счет выбросов предприятий. Пестициды применяются в ограниченном количестве, в основном — в закрытом грунте. За период 2015–2017 гг. на территории области осуществлялся контроль за химическим загрязнением почвы по бенз(а)пирену. Средняя за три года концентрация бенз(а)пирена в почве Мурманска и Кировска — 1,1–2 ПДК [26]. Наблюдения за уровнем загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения — тяжелыми металлами, ПХБ на территории Мурманской области не проводились [27].

Данные научных исследований

Данные по загрязнению СОЗ отдельных регионов Мурманской области получены в основном в рамках выполнения проектов и программ различных уровней.

В 1999–2000 гг. в рамках Многостороннего совместного проекта по поэтапному отказу от использования ПХД и управлению отходами, загрязненными ПХД, в Российской Федерации. Этап I — Инвентаризация и предложения по приоритетным корректирующим действиям / AMAP (*Multilateral Cooperative Project on Phase-out of PCB Use, and Management of PCB-contaminated Wastes in the Russian Federation. Phase I — Inventory and proposals for priority remedial actions*) [28] и проекта «Разработка технологических и логистических решений для внедрения системы сбора и утилизации полихлорбифенилов (ПХБ) и ПХБ-содержащего оборудования в Арктической зоне Российской Федерации» [29] в Мурманской области была проведена оценка отходов ПХБ и ПХБ-содержащего оборудования. Было выявлено использование ПХБ марки Совтол в г. Кировске (ОАО «Апатит»), общее количество ПХБ — 36 т, содержится в трансформаторах (13 ед.).

В исследованиях по проекту *Reduction/Elimination of dioxin and furan emissions in the Russian Federation with Focus on the Arctic and Northern Regions Impacting the Arctic* (АСАР, 2001–2004 гг.) [30] проведена оценка выбросов диоксинов и фуранов из основных источников — предприятий цветной и черной металлургии, предприятий электро- и теплоэнергетики, Мурманского завода по сжиганию твердых бытовых отходов. Общее количество выделенных диоксинов и фуранов оценивается в 8388 мг ТЭ, или ~8,4 г ТЭ.

Наиболее значительные выбросы диоксинов и фуранов приходились на Мурманский завод по сжиганию твердых бытовых отходов — 4800 мг ТЭ, на предприятия черной металлургии (935 мг ТЭ) и цветной металлургии (1280 мг ТЭ), лесные пожары (610 мг ТЭ). Небольшие выбросы связаны с транспортом (382 мг ТЭ), электро- и теплоэнергетикой (219 мг ТЭ), жилищно-коммунальным хозяйством (153 мг ТЭ), незначительные — с другими отраслями.

Пилотный проект «Очистка донных отложений Кольского залива от опасных веществ» (2007–2008 гг.), реализованный в рамках проекта ЮНЕП-ГЭФ «Российская Федерация —

Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» (Проект НПБ-Арктика) направлен на проведение мониторинга донных отложений Кольского залива для определения степени их загрязнения в результате антропогенного воздействия [30]. Был выполнен лабораторный анализ проб донного осадка на загрязненность тяжелыми металлами, нефтеуглеводородами (н-парафинами, ПАУ), ХОП и ПХБ.

Результаты исследования показали, что загрязнение донных отложений сосредоточено преимущественно в районах портов и судоремонтных заводов. Установлены высокие уровни ЗВ в донных отложениях Кольского залива, особенно в местах свалок судов (Табл. 1).

Основными ЗВ являются нефтепродукты, тяжелые металлы, ДДТ, ПХБ. На всех точках исследований 2007 г. отмечалось «заметное загрязнение» содержания ПАУ, ДДТ и преимущественно «заметное загрязнение» содержания ПХБ. Значительные загрязнения отмечались по содержанию алифатических углеводородов и ΣГХЦГ.

Таблица 1

Результаты анализа проб донных отложений Кольского залива

Загрязняющее вещество	Min	Max	Свалки судов		Фоновое значение	
			min	Max	min	max
НУ (общий анализ)	0,016	48	0,54	18,6	—	—
Н-парафины, ppm	16,2	127	—	—	1,0	52,5
Σ ПАУ*, нг/г	467 ²⁾	9593 ⁴⁾	3406 ³⁾	14496 ⁴⁾	1,8	97,0
ΣГХЦГ, нг/г	0,81	3,58	0,66	4,78	0,1	0,33
ГХБ*, нг/г	0,271 ¹⁾	3,72 ¹⁾	0,41 ¹⁾	5,55 ³⁾	0,01	0,08
ΣДДТ*, нг/г	4,48 ³⁾	47,8 ⁴⁾	60,5 ⁵⁾	118 ⁵⁾	0,42	1,53
ПХБ*, нг/г	11,0 ²⁾	80,5 ³⁾	108 ⁴⁾	329 ⁴⁾	0,24	1,33
Бенз (а)пирен*, нг/г	37,3 ²⁾	871 ⁵⁾	73,7 ³⁾	1111 ⁵⁾	0,01	10,0

* Степень загрязненности донного осадка в соответствии с классификацией Норвежского агентства по контролю за загрязнением окружающей среды (SFT): 1) фоновое содержание; 2) умеренное загрязнение; 3) заметное загрязнение; 4) сильное загрязнение; 5) очень сильное загрязнение.

В рамках проекта «Исследование содержания полихлорированных бифенилов (ПХБ) в окружающей среде Мурманской области» (исполнитель — Мурманская областная молодежная экологическая организация «Природа и молодежь») были получены данные о содержании ПХБ в трансформаторных маслах, почвах (на территориях городских свалок, полигонов для хранения твердых бытовых отходов, промышленных предприятий, морских портов), а также в пресноводных рыбах и донных осадках озер Кольского Севера [31]. Содержание ПХБ в трансформаторных маслах определено в лаборатории Akvarlan Niva (г. Тромсё, Норвегия), в почве и рыбе — в Северном отделении Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО). Небольшое количество проб не может дать детальной оценки об уровнях содержания ПХБ в окружающей среде, но эти исследования выявили наличие проблемы в исследуемых районах.

Для анализа трансформаторных масел на содержание ПХБ в районе города Апатиты были выбраны два объекта: центральные электрические сети ОАО «Колэнерго» и трансформаторная подстанция Апатитской ТЭЦ. Анализ масел, используемых в сетях «Колэнерго», показал незначительный уровень ПХБ — от 16,5 до 116,4 нг/г. Самое высокое содержание ПХБ среди отобранных проб отмечено в масле, используем в трансформаторах Апатитской ТЭЦ (2729,5 нг/мл). Таким же высокое содержание ПХБ характерно и для пробы с Кандалакшской дистанции электрооборудования ЭЧС-13 (2164,5 нг/мл).

Для исследования почв на содержания ПХБ были определены территории городских свалок городов Кандалакша и Апатиты, Апатитской ТЭЦ (ОРУ-150), Мурманского морского порта, а также территории электроподстанции и промышленной свалки комбината «Североникель» (Мончегорск).

Наиболее высокое содержание ПХБ в пробах почвы обнаружено в Мурманском морском порту — порядка 1700 нг/г. Для анализа были отобраны пробы, содержащие частицы старой краски с бортов кораблей. Столь

высокое содержание ПХБ, очевидно, обусловлено использованием данных веществ в производстве красителей.

Исследования почв в районе г. Апатиты, г. Кандалакши и г. Мончегорска показали довольно низкое содержание ПХБ в почве. В пробе грунта действующего полигона хранения твердых бытовых отходов в Апатитах содержание ПХБ составило 1,06 нг/г, в донных отложениях ручья, протекающего на старой городской свалке — 33,69 нг/г. Содержание ПХБ в почве, отобранной для анализа между трансформаторами на территории Апатитской ТЭЦ, составило 0,31 нг/г. Пробы, отобранные с городской свалки Кандалакши, показали уровень ПХБ в 11,97 нг/г.

Содержание ПХБ в образцах грунта в районе подстанций комбината «Североникель» в г. Мончегорск составило 13,13 и 11,48 нг/г, а в донных отложениях ручья, протекающего в районе промышленной свалки комбината, — 33,9 нг/г.

На содержание ПХБ были исследованы озера Имандра (губа Белая и район станции ихтиологического мониторинга) и Чуозеро. В озере Имандра пробы биоматериала отбирались в двух точках: в условно чистом районе станции ихтиологического мониторинга, и в губе Белая, испытывающей многофакторную техногенную нагрузку, в том числе, за счет сточных вод ОАО «Апатит». При этом губа Белая привлекает рыб обилием корма, что объясняет более высокую степень жирности рыб по сравнению с образцами, отобранными в районе станции (процент жирности от 3,74 до 1,84, соответственно).

Таким образом, более высокая техногенная нагрузка и более высокая степень жирности рыбы в районе губы Белой определяют более высокое содержание ПХБ в органах и тканях рыбы по сравнению с содержанием в органах и тканях рыбы в районе станции (уровень ПХБ в печени меняется от 27,08 нг/г до 13,54 нг/г соответственно).

Озеро Чуна испытывает меньшую антропогенную нагрузку по сравнению с озером Имандра, и при этом она носит исключительно азротехногенный характер. Содержание ПХБ

в отобранном биоматериале гораздо ниже, чем в обоих районах озера Имандра: 10,8 нг/г для печени сига и 2,14 нг/г для мышц. Наблюдается очень низкое содержание ПХБ в мышцах — 2,14 нг/г, что может быть объяснено низким процентом жирности (0,49 %).

Особое внимание заслуживают результаты анализа печени налима. Они показывают самое высокое из отобранных нами проб значение — 319 нг/г. Очевидно, это вызвано более высоким положением налима как хищника в трофической цепи. Печень налима характеризуется повышенной жирностью (43,06 %), что также играет немаловажную роль в биокумуляции ПХБ, учитывая его высокую степень липофильности.

В 2003–2006 гг. НПО «Тайфун» совместно с норвежским институтом Акваплан-нива проводили работы по определению уровней СОЗ в пробах донных отложений и биоты, отобранных в реке Пасвик и озерах Кольского полуострова вблизи российско-норвежской границы. Исследования проводились в рамках проекта *Development and implementation of an environmental monitoring and assessment system in the joint Finnish, Norwegian and Russian border area* [32,33].

Водосбор реки Пасвик находится на приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией. Водосбор включает в себя, главным образом, озеро Инари (Финляндия), на российской стороне — озеро Куэтсъярви с его главным притоком, р. Шуонийоки, текущей с юго-востока. Антропогенное влияние на эту территорию вызвано в основном выбросами металлургического комбината «Печенганикель», стоками плавильных цехов и рудников, а также хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками.

В образцах донных отложений определялись СОЗ (ПХБ, ДДТ, хлорбензолы, изомеры ГХЦГ, хлорированные фенолы, полихлорированные нафталины, ПБДЭ и др.) и ПАУ (21 соединение), в образцах рыб (сиг обыкновенный и щука) — СОЗ (ХОП, ПХБ, планарные ПХБ, токсафен, ПБДЭ, ПХДД/ПХДФ и др.) и 40 индивидуальных

ПАУ (включая алкилпроизводные ПАУ и 16 незамещенных ПАУ, рекомендованных ЕРА). Анализ образцов был проведен в НПО «Тайфун» (г. Обнинск, Россия).

Средние уровни содержания Σ ПХБ, планарные ПХБ, ГХБ, Σ ПБДЭ и ПХДД/ПХДФ в донных отложениях реки Пасвик и озера Куэтсъярви составили 19,97 и 28,3 нг/г, 1,84 и 6,83 нг/г, 0,32 и 0,87 нг/г, 67,35 и 80,46 пг/кг, 2,26 и 3,58 ТЭ нг/кг, соответственно. Средние уровни содержания Σ ПХБ, планарные ПХБ, ГХБ, Σ ПБДЭ и ПХДД/ПХДФ в донных отложениях оз. Стуораярви составили 8,67 нг/г, 2,57 нг/г, 0,4 нг/г, 19,6 пг/кг и 1,16 ТЭ нг/кг соответственно. Данные показывают, что практически по всем показателям донные отложения р. Пасвик и оз. Куэтсъярви загрязнены больше.

Наибольшие концентрации Σ ПАУ (без пирилена) — 2,1–12,9 мг/кг сухого веса обнаружены в пробах донных отложений оз. Куэтсъярви вблизи металлургического комбината «Печенганикель», они значительно превышает концентрации Σ ПАУ в донных отложениях озер, расположенных в непромышленных районах Норвегии (оз. Стуораярви) и Финляндии (оз. Инари). В ПАУ преобладали пирогенные составляющие — флуорантен, пирен, бензофлуорантен.

Средние данные по содержанию СОЗ и ПАУ в образцах исследуемой рыбы (сига и щуки) из оз. Куэтсъярви приведены в Табл. 2. Основными загрязнителями рыб были ПАУ петрогенного происхождения. Уровни СОЗ в тканях рыб не превышали российские и международные критерии качества пищевых продуктов.

Наибольшие концентрации Σ ПХБ были обнаружены в печени сига и щуки в оз. Куэтсъярви — 150 и 283 нг/г живого веса. Для сравнения: концентрации Σ ПХБ в печени рыб оз. Стуораярви (Норвегия), которые рассматривались как эталонные, составили 25 и 32 нг/г живого веса соответственно.

Результаты исследования показали, что металлургический комбинат можно рассматривать как потенциальный источник стойких органических загрязнителей.

Таблица 2

Содержание загрязняющих веществ в образцах рыбы из оз. Куэтсъярви

Загрязняющее вещество	Сиг (<i>Coregonus lavaretus</i>)		Щука (<i>Esox lucius</i>)	
	Мышечная ткань, $n=10$	Печень, $n=15$	Мышечная ткань, $n=10$	Печень, $n=10$
Липиды, %	1,86	6,99	0,41	25,9
Σ ДДТ	17,5	88,1	3,59	109
Гексахлорбензол	0,58	2,81	0,20	3,71
Σ Хлорданы	0,18	0,46	0,05	3,00
Σ ГХЦГ	0,29	1,51	н/о	5,50
Σ ПХБ	21	150	5,84	283
Токсафен	6,27	н/о	3,24	138,9
Σ ПХДД/Ф	н/о	н/о	н/о	7,39
Σ ПБДЭ	137	758	29,4	2968
Σ ПАУ	2,48	286	н/о.	155,5

Примечания

1. Концентрации даны в нг/г, для Σ ПБДЭ — в пг/г живого веса.

2. Σ ДДТ — сумма о,р'-ДДЕ, р,р'-ДДЕ, о,р'-ДДД, р,р'-ДДД, о,р'-ДДТ и р,р'-ДДТ; Σ Хлорданы — сумма гептахлора, гептахлор эпоксида, окси-хлордана, транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора и цис-нонахлора; Σ ГХЦГ — сумма α -, β - и γ -ГХЦГ; Σ ПХБ — сумма 53 конгенов ПХБ; токсафен — конгены Р26, Р50 и Р62; Σ ПБДЭ — сумма конгенов 28, 47, 99, 100, 153, 154 и 183; Σ ПАУ — сумма 40 индивидуальных ПАУ; н/о-не обнаружено.

В рамках проекта «Мониторинг опасных веществ в прибрежных районах Белого моря: гармонизация с Единой программой оценки и мониторинга ОСПАР (JAMP) — 2006» было исследовано содержание СОЗ в пробах донных отложений и биообъектов — представителей ихтиофауны (рыб и мидий), отобранных в 2006 г. в Кандалакшском заливе Белого моря. Самые высокие уровни содержания ПХБ, ДДТ, ГХЦГ и ПБДЭ были обнаружены в пробе донных отложений, отобранной вблизи побережья у г. Кандалакши. Так, содержание Σ ПХБ(планарн.), Σ ПХБ, Σ ДДТ, Σ ГХЦГ и Σ ПБДЭ составило 3,05, 4,17, 5,23, 0,86 и 19,3 нг/кг соответственно. Данные по загрязнению биообъектов (в частности, мидий) согласуются с данными по содержанию СОЗ в донных отложениях. Кроме того, согласно полученным данным, количество СОЗ, накапливаемых в мидиях, на порядок меньше, чем в печени трески и наваги [34].

Работы по оценке уровней загрязнения вод из питьевых источников, донных отложений и водорослей были проведены Северо-Западным

филиалом ГУ НПО «Тайфун» в сентябре – октябре 2006 г. в районе месторасположения Кольской АЭС [35]. В отобранных пробах определялось содержание хлорорганических соединений, включая ПХБ. Превышений допустимых нормативов содержания контролируемых хлорорганических соединений в пробах воды и донных отложений не выявлено. Уровни содержания хлорорганических соединений и ПХБ в водорослях пресноводных водоемов в районе расположения Кольской АЭС не выходили за пределы многолетнего фона, характерного для водоемов субарктической тундры Кольского полуострова.

Для исследования уровней загрязнения донных осадков Кольского залива образцы поверхностного слоя донных осадков были отобраны в июне 2007 г. вблизи предполагаемых локальных источников ПАУ [36]. Содержание Σ ПАУ находилось в диапазоне от 435 до 9228 нг/г сухой массы осадка. Уровни загрязнения ПАУ Кольского залива в сравнении с урбанизированными прибрежными районами других регионов варьируют от относительно низкого до умеренно высокого. Максимальные

уровни Σ ПАУ (9228 нг/г, 4387 нг/г и 2700 нг/г) выявлены в трех точках на акватории рыбного порта. В осадках ПАУ имеют пирогенное происхождение, вероятнее всего, из-за интенсивного выпадения в акватории залива продуктов сжигания топлива и поступления городских стоков Мурманска.

Донные осадки исследованных участков Кольского залива обладают канцерогенным потенциалом. Токсичность по бенз(а)пиреновому эквиваленту для образцов донных осадков изменяется в интервале от 61 до 1355 нг/г со средним значением 438 нг/г сухой массы осадка. Вероятность того, что такие уровни содержания ПАУ в осадках способны оказывать острое токсическое воздействие на бентосные организмы залива, оценивается авторами как невысокая.

В рамках Федерального целевого проекта «Мировой океан» выполнен проект «Эколого-геохимические исследования российских арктических морей». В ходе исследования создан электронный атлас распределения антропогенных примесей в российских арктических морях на основе ГИС-технологий [37].

Атлас включает карты химического и радиоактивного загрязнения донных отложений для трех районов Баренцева моря: побережье от Варангер-фьорда до мыса Териберский; юго-восточная часть (Печорское море) и центральная часть (для примера см. *Рис. 3* и *Рис. 4*).

Первый район для более наглядного представления разбит на три области: западную, центральную и восточную. Информация для Атласа собрана в экспедициях Мурманского морского биологического института Кольского научного центра РАН (1991–2001 гг.) и получена из других источников, что показано в легенде каждой из карт.

В Атлас вошли карты загрязнения донных отложений хлорорганическими соединениями (Σ ДДТ, ГХБ, Σ ГХЦГ, Σ 7-ПХБ) и ПАУ (Σ ПАУ). Наблюдения за уровнями содержания ЗВ в воде, донных отложениях и промысловых видах гидробионтов ведет Полярный НИИ рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО, г. Мурманск) в рамках работ по мониторингу состояния водных биологических ресурсов и среды их обитания в Баренцевом море.

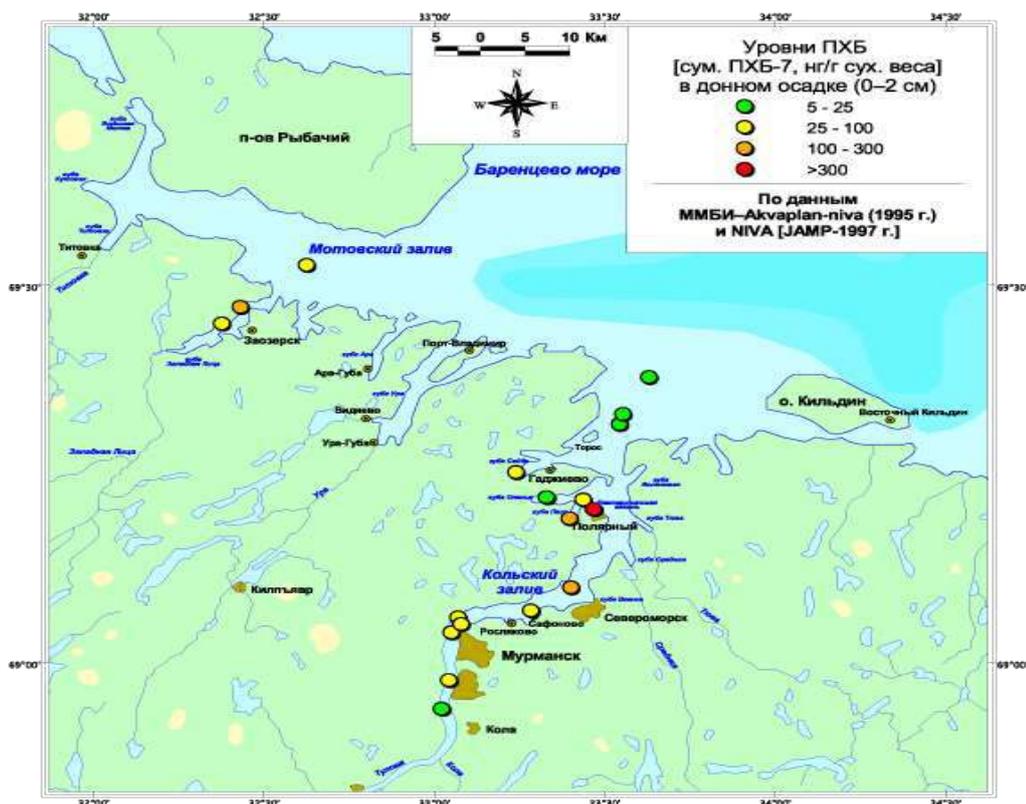


Рис. 3. ПХБ в донных отложениях (центральная часть) [37]

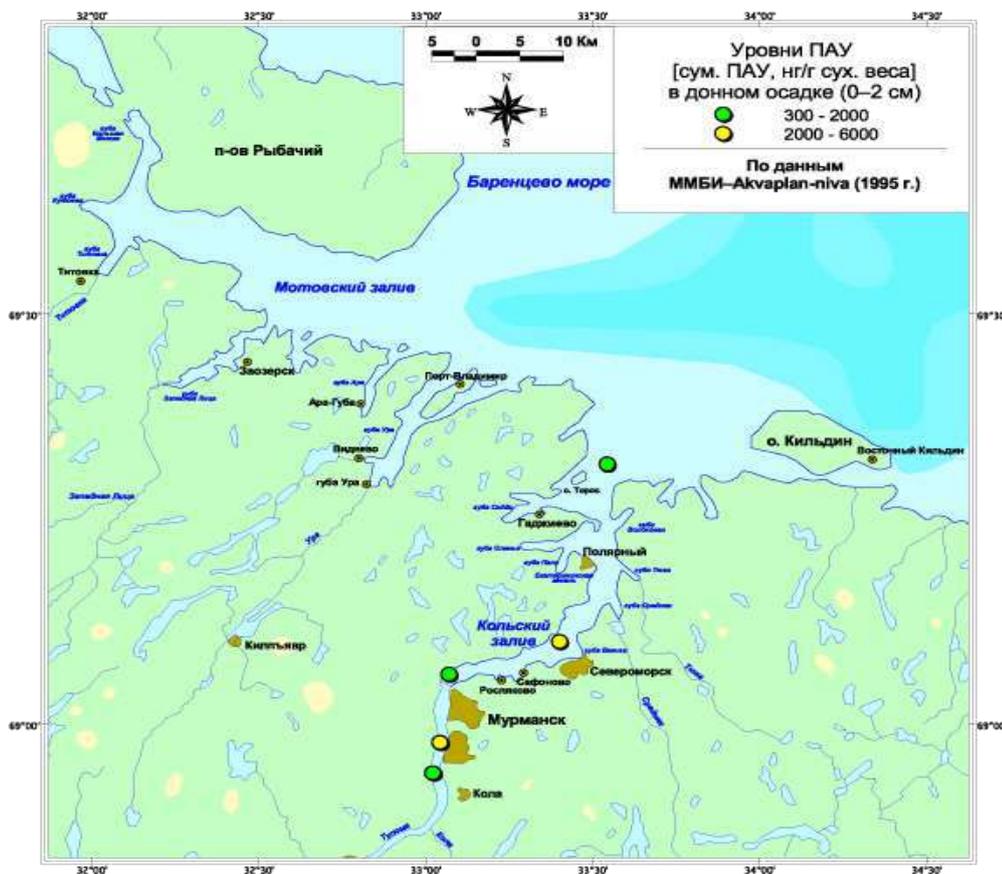


Рис. 4. ПАУ в донных отложениях (центральная часть) [37]

Программа мониторинга предусматривает наблюдение за уровнями ПАУ, ХОП, ПХБ в воде, донных отложениях и промысловых видах гидробионтов. Результаты исследований ПИНРО в период с 2003 по 2016 гг. собраны в базу данны (БД).

Цифровой атлас представляет собой визуализацию БД. Атлас включает 400 карт различного содержания. Атлас и БД постоянно пополняются полученными в процессе исследований данными и используются для изучения трендов антропогенного загрязнения вод Баренцева моря [38].

В 2002 г. НПО «Тайфун» провело исследования по определению содержания СОЗ в образцах тканей морских птиц (сем. *Laridae* — обыкновенная моевка *Rissa tridactyla*; сем. *Alcidae* — гагарка *Alca torda*, атлантический тупик *Fratercula arctica*, тонкоклювая кайра *Uria aalge*, толстоклювая кайра *Uria lomvia*) на островах архипелага Семь островов (Кандалакшский заповедник, Мурманская область).

Во всех образцах печени птиц были обнаружены СОЗ (ПХДД/ПХДФ, ПБДЭ, ПХБ), причем наибольшие концентрации ПХДД/ПХДФ и ПХБ были найдены в образцах атлантического тупика. Больше всего ПБДЭ (Σ ПБДЭ 19,422 пг/г влажного веса) выявлено в образцах гагарки [39].

Исследование содержания диоксинов и диоксиноподобных ПХБ в субпродуктах и мышечной ткани европейского и сибирского северных оленей (*Rangifer tarandus tarandus* L. и *Rangifer tarandus sibiricus* Murray) на территории Мурманской области проведено во Всероссийском государственном Центре качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ВГНКИ) [40–42]. Уровни диоксинов в образцах мышечной ткани составляли 0.92 пг ТЭ/г жира (2013 г.) и 1.30 пг ТЭ /г жира (2014–2016 гг.), что ниже установленных пределов (в России — 3 пг ТЭ /г жира). В почках содержание ПХДД/Ф и ПХБ примерно в 2 раза

выше, чем в мышечной ткани [41]. Уровни диоксинов и диоксиноподобные ПХБ (42,2 и 145,6 пг ТЭ/г жира) существенно превышают допустимые значения (в России — 6 пг ТЭ/г жира). Сравнение этих результатов с данными, полученными в 2001 г. в рамках Программы по мониторингу и оценке состояния Арктики, позволяет заключить, что содержание диоксинов в органах и тканях у северных оленей за прошедшие 15 лет значительно снизилось [42].

В 2000 г. исследованы образцы грудного молока первородящих женщин Мурманска (число женщин, принимавших участие в эксперименте — 14, средний возраст — 21 год) [43]. Хлорорганические соединения были обнаружены во всех образцах грудного молока. Средние концентрации Σ ГХЦГ, Σ ГХБ и Σ ПХБ в образцах составили 196, 19,7 и 316 мкг/кг липидов. Уровни Σ ДДТ (900 мкг/кг липидов) и Σ ГХЦГ (235 мкг/кг липидов) превышали соответствующие уровни в образцах грудного молока в Норвегии (195 и 12 мкг/кг липидов соответственно). В исследуемых образцах были идентифицированы бромированные антипирены — ПБДЭ. Среднее значение Σ ПБДЭ — 1,1 мкг/кг липидов и гексабромциклододекан — 0,45 мкг/кг липидов. Сравнение полученных результатов с уровнями содержаний в 1993 г. показало заметное снижение концентраций ХОП и ПХБ в образцах грудного молока.

Мурманская область была объектом комплексных эколого-гигиенических исследований, проводимых в рамках совместных международных проектов, осуществляемых под эгидой Международной программы арктического мониторинга и оценки (Arctic Monitoring and Assessment Programme — AMAP), программы КолАрктик (инструмент реализации совместных приграничных проектов Мурманской, Архангельской областей, Ненецкого автономного округа и приграничных территорий Финляндии, Швеции и Норвегии, служит дополнительным источником финансирования региональных инициатив), во взаимодействии с международными ассоциациями коренных народов Крайнего Севера [44].

Международный проект *GEF/AMAP/RAIPON «Стойкие токсичные вещества, безопасность питания и коренные народы Российской Арктики»* был частью комплекса мероприятий, направленных на ликвидацию пробелов в понимании проблем загрязнения российской Арктики, его влияния на коренные народы и разработку предложений по улучшению ситуации в регионе. Работы проводили в месте компактного проживания саамов в п. Ловозерово, его окрестностях и п. Краснощелье. Были определены уровни ЗВ в пробах окружающей среды (вода, донные отложения, почва), биоты (растительные и животные объекты), а также в организме человека. Зафиксированы высокие уровни загрязнения диоксинами мяса и печени северных оленей, превышающие установленные в России нормативы на содержание диоксинов в мясе (0,9 нг/кг). Уровни Σ ГХЦГ и Σ ДДТ во всех тканях животных, птиц и рыб были значительно ниже допустимых концентраций, установленных в России. В крови беременных женщин и взрослого коренного населения исследуемых районов обнаружены все рассматриваемые хлорорганические СОЗ, также в крови взрослого коренного населения были идентифицированы ПХДД/Ф и ПБДЭ. Максимальное значение Σ ПБДЭ (934 пг/г липидов) выявлено в крови населения п. Краснощелье, что выше уровней содержания Σ ПБДЭ в крови населения других районов российской Арктики [45].

В рамках международного проекта «КолАрктик» – «Безопасность пищи и здоровье в приграничных районах России, Финляндии и Норвегии» в Печенгском районе Мурманской области в 2013 г. проведен отбор проб местных продуктов питания животного происхождения, включая рыбу из озера разном расстоянии от п. Никель. В продуктах питания (мясе лося, глухаря, куропатки и девяти видов рыбы) были обнаружены ГХБ, метаболиты ДДТ и весь спектр ПХБ, концентрации которых были в десятки и сотни раз ниже ПДК. Отмечено снижение уровней СОЗ в озерной рыбе по мере удаления комбината Печенганикель. На примере трех видов рыб (окуня, сига, щуки)

показано, что с ростом расстояния от комбината наблюдается 3-4-кратное снижение суммарных концентраций ПХБ. Наиболее загрязнена рыба из озера Куэтсъярви, куда сбрасываются сточные воды комбината [46].

В крови обследованного населения обнаружены ГХБ, группа ГХЦГ, группа ДДТ и группа ПХБ. Средние уровни Σ ПХБ не превышают международных рекомендуемых уровней содержания в крови. Самое низкое содержание ГХБ, 4,4'ДДЕ и ПХБ 153 выявлено в крови населения Печенгского района в сравнении с другими арктическими регионами РФ (от Мурманской области до Чукотки) [47].

На территории Мурманской области находятся антропогенные источники потенциального непреднамеренного образования и выбросов СОЗ и ПАУ:

- предприятия металлургической и горнодобывающей промышленности: комбинаты «Североникель» и «Печенганикель» (г. Мончегорск, г. Заполярный, пгт Никель, в котором плавильный цех закрыт 23 декабря 2020 г.), входящие в состав ГМК «Норильский Никель»; Кандалакшский алюминиевый завод (г. Кандалакша); ОАО «Олкон» (г. Оленегорск); ОАО «Ковдорский ГОК» (г. Ковдор);
- предприятия по производству электроэнергии, объекты хранения и переработки отходов (экотехнопарк по обращению с ТКО в Кольском районе, п. Междуречье);
- завод по термической обработке твердых бытовых отходов (г. Мурманск),
- объекты размещения твердых коммунальных отходов.

Девять «горячих точек», расположенных на территории Мурманской области, входят в перечень «горячих точек» Баренцева региона. В их числе объекты — промышленные и другие объекты, находящиеся под сильным воздействием загрязняющих веществ.

Мониторинг загрязнения окружающей среды в Мурманской области осуществляется территориальным подразделением

Росгидромета. В программы государственного мониторинга включен ограниченный перечень СОЗ (ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ, ГХБ) и ПАУ (бенз(а)пирен).

Мониторинг СОЗ в атмосферном воздухе и почве Мурманской области не осуществляется.

Данные государственного мониторинга за загрязнением окружающей среды свидетельствуют о следующем:

- существующие методы наблюдений за содержанием ХОП (группы ГХЦГ и группы ДДТ) на территории Мурманской области не выявляют определяемые пестициды в воде бассейнов рек и озер Кольского полуострова;
 - наблюдается загрязнение определяемыми пестицидами (группы ГХЦГ и ДДТ) донных отложений рек и озер бассейна Баренцева моря, с наблюдением максимальных содержаний β -ГХЦГ и ДДД в разные годы в отдельных водных объектах, не превышающих нормативы (ПДК в почве 0,1 мг/кг);
 - пестициды (группы ГХЦГ и ДДТ) регулярно обнаруживаются в морской воде в районах расположения водопостов Кандалакшского и Кольского (торговый порт г. Мурманск) заливов, уровни их содержания не превышают норматива (ПДК 0,00001 мг/дм³);
 - средние за год концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов Мурманской области не превышают ПДКс.с.; вместе с тем, наблюдаются среднемесячные концентрации, превышающие норматив, с максимумом в Никеле (4,4 ПДК) и Мончегорске (3,0 ПДК);
 - почвы городов Мурманской области загрязнены бенз(а)пиреном; средние за три года концентрации бенз(а)пирена в почвах Мурманска и Кировска составляют 1,1–2 ПДК.
- Научные исследования уровней содержания СОЗ в различных средах на территории Мурманской области не носят системного характера. Данные, полученные в рамках выполнения проектов и программ разных уровней, позволяют сделать следующие выводы.
- СОЗ содержатся практически во всех компонентах экосистем (почва, вода, донные

отложения, рыба, животные, продукты питания, трансформаторное масло, грудное молоко, человеческая кровь).

- Высокий уровень загрязнения ХОП, ПХБ и ПАУ (превышение фоновых уровней в десятки раз) в 2007 г. был отмечен в донных отложениях в Кольском заливе в районе морских портов (Σ ПХБ_{max} — 80,5 нг/г, (Σ ПАУ_{max} — 9593 нг/г) и местах свалок судов (Σ ПХБ_{max} — 329 нг/г, (Σ ПАУ_{max} — 14496 нг/г).

- Территории вблизи промышленных объектов подвержены загрязнению СОЗ и ПАУ, что способствует их интенсивному накоплению в органах и тканях водных гидробионтов, особенно у рыб, как высшего трофического звена в водных экосистемах. Так, концентрации Σ ПХБ и Σ ПАУ в печени сига и щуки в оз. Куэтсьярви (в зоне влияния комбината «Печенганикель») составили 150 и 283, 331 и 156 нг/г живого веса соответственно, что в разы превышает концентрации в рыбе из озер непромышленных районов.

- Основные источники выбросов диоксинов — это Мурманский завод по сжиганию твердых бытовых отходов (4800 мг ТЭ), предприятия черной и цветной металлургии (2215 мг ТЭ) (данные 2001 г.).

Стойкие органические загрязнения обладают высоким потенциалом биоаккумуляции и биомагнификации, поэтому, несмотря на низкие их концентрации в воде и почве, уровни содержания в наземной и водной биоте могут быть высокими, что может представлять риск для экосистем и населения области.

Необходимы дальнейшие исследования для получения целостной картины загрязнения территории Мурманской области, оценки масштабов загрязнения, выявления наиболее характерных групп ЗВ и территорий с опасными уровнями загрязнения СОЗ, изучения процессов распределения, накопления и биоаккумуляции СОЗ в экосистемах Мурманской области.

Источники информации

1. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме). / Отв. редактор Б. А. Моргунов. — М.: Научный мир, 2011. — 200 с.
2. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. / Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения — 09.11.2021).
3. Общая информация о коренных малочисленных народах Севера: численность. / Правительство Мурманской области. [Электронный ресурс] URL: https://gov-murman.ru/region/saami/general_info/population/ (дата обращения — 09.11.2021).
4. Крупнейшие предприятия Мурманской области. / Министерство развития Арктики и экономики Мурманской области. [Электронный ресурс] URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/devel_mo/sub02/sub01/ (дата обращения — 09.11.2021).
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2020 году. / Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. — Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области [Электронный ресурс] URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения — 09.11.2021).
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 г. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). — Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ) [Электронный ресурс] URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения — 09.11.2021).
7. Территориальная схема обращения с отходами. / Министерство энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Мурманской области. [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov-murman.ru/files/ter-skHEMA.pdf> (дата обращения — 09.11.2021).

8. Реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду (публичная часть). / Геоинформационный портал Мурманской области. [Электронный ресурс] URL: http://portal.kgils.ru/private/neu_public/ (дата обращения — 09.11.2021).
9. «Об утверждении перечня объектов накопленного экологического ущерба на территории Мурманской области». Постановление Правительства Мурманской области от 29.03.2013 № 139-ПП/5 (с изм. на 23 октября 2020 г.). / Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/465600568> (дата обращения — 09.11.2021).
10. «О внесении изменений в приложение к приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 августа 2017 г. № 470». Приказ Минприроды России от 30.01.2018 №27. / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. [Электронный ресурс] URL: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/6ae/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%2027.tif> (дата обращения — 09.11.2021).
11. Шевчук А. В., Куртеев В. В. О развитии основных направлений научных исследований Арктической зоны Российской Федерации. // Арктика и Север. — 2016. — № 22. — С. 75–86.
12. Душкова Д. О., Евсеев А. В. Анализ техногенного воздействия на геосистемы Европейского Севера России. // Арктика и Север. — 2011. — № 4. — С. 1–34.
13. Горячие точки Севера России (Мурманская обл., Республика Карелия, Архангельская обл., Ненецкий АО, Республика Коми, Ямало-Ненецкий АО, север Красноярского края, Республика Саха, Чукотский АО). Прибрежные морские импактные районы Российской Арктики. / Проект ЮНЕП/ГЭФ «Российская Федерация — Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды» [Электронный ресурс] URL: http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.iwlearn.org/Documents/PINS/hot_spots_2008.pdf (дата обращения — 09.11.2021).
14. Горячие точки Баренцева региона. / Баренцево Евро-Арктическое сотрудничество. [Электронный ресурс] URL: <https://www.barentscooperation.org/HS/HotSpots> (дата обращения — 09.11.2021).
15. Toxicological Profiles. / Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). [Электронный ресурс] URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/> (дата обращения — 09.11.2021).
16. AMAP Assessment 2016: Chemicals of Emerging Arctic Concern. / Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. [Электронный ресурс] URL: <https://www.amap.no/documents/download/3003/inline> (дата обращения — 09.11.2021).
17. Balmer J. E., Hung H., Yu Y., Letcher R. J., Muir D. C. Sources and environmental fate of pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Arctic. // Emerging Contaminants. — 2019. — Vol. 5. — P. 128–142. DOI: 10.1016/j.emcon.2019.04.002.
18. Stockholm Convention. [Электронный ресурс] URL: <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx> (дата обращения — 09.11.2021).
19. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2019 году. / Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. — Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области [Электронный ресурс] URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения — 09.11.2021).
20. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 г. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). — Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ) [Электронный ресурс] URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения — 09.11.2021).
21. Пункты наблюдений качества поверхностных вод. / ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». [Электронный ресурс] URL: <http://kolgimet.ru/monitoring-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/obzory-tekushchego-sostojanija-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/punkty-nabljudenii-kachestva-poverkhnostnykh-vod/?type=0> (дата обращения — 09.11.2021).
22. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2018. / Глав. редактор М. М. Трофимчук. — Ростов-на-Дону, 2019. — 560 с. [Электронный ресурс] URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202018_3.pdf (дата обращения — 09.11.2021).
23. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2017. / Редактор А. Н. Коршенко. — М.: Наука, 2018. — 295 с. [Электронный ресурс] URL: <http://oceanography.institute/index.php/component/jdownloads/finish/41/1814> (дата обращения — 09.11.2021).
24. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2018. / Редактор А. Н. Коршенко. — М.: Наука, 2019. — 287 с. [Электронный ресурс] URL: <http://oceanography.institute/index.php/component/jdownloads/finish/41/1845> (дата обращения — 09.11.2021).
25. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2019. / Редактор А. Н. Коршенко. — М.: Наука, 2020. — 281 с. [Электронный ресурс] URL: <http://oceanography.institute/index.php/component/jdownloads/finish/41/1848> (дата обращения — 09.11.2021).

26. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2017 году. / Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. — Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области [Электронный ресурс] URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения — 09.11.2021).
27. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2019 году. Ежегодник. — Обнинск: НПО «Тайфун», 2020. — 129 с. [Электронный ресурс] URL: http://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/aec/TPP_2019.pdf (дата обращения — 09.11.2021).
28. PCB in the Russian Federation: Inventory and Proposals for Priority Remedial Actions Executive Summary of the report of Phase 1: Evaluation of the Current Status of the Problem with Respect to Environmental Impact and Development of Proposals for Priority Remedial Actions of the Multilateral Cooperative Project on Phase-out of PCB Use, and Management of PCB-contaminated Wastes in the Russian Federation. AMAP Report 2000:3. — Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway [Электронный ресурс] URL: <https://www.amap.no/documents/doc/pcb-in-the-russian-federation-inventory-and-proposals-for-priority-remedial-actions/797> (дата обращения — 09.11.2021).
29. Разработка технологических и логистических решений для внедрения системы сбора и утилизации полихлорбифенилов (ПХБ) и ПХБ-содержащего оборудования в арктической зоне Российской Федерации. / Итоговый отчет по реализации пилотного проекта ЮНЕП/ГЭФ «Российская Федерация — Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды». — Научно-производственное объединение «Центр благоустройства и обращения с отходами» [Электронный ресурс] URL: <http://archive.iwlearn.net/npa-arctic.iwlearn.org/Documents/demos/new/grpts/pcb.pdf> (дата обращения — 09.11.2021).
30. ACAP Project on «Reduction/Elimination of dioxin and furan emissions in the Russian Federation with Focus on the Arctic and Northern Regions Impacting the Arctic». — Arctic Council Working Group: Arctic Contaminants Action Program (ACAP) [Электронный ресурс] URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/12> (дата обращения — 09.11.2021).
31. Исследование содержания полихлорированных бифенилов в окружающей среде мурманской области. / Отчет Мурманской областной молодежной общественной экологической организации «Природа и Молодежь». [Электронный ресурс] URL: http://pim.org.ru/old/final_report_PCB_rus.pdf (дата обращения — 09.11.2021).
32. Screening studies of POP levels in fish from selected lakes in the Paz watercourse. / Akvaplan-niva report No APN- 514.3665.02. — Akvaplan-niva, Norway [Электронный ресурс] URL: [http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/Screening_Studies_of_POPs_in_fish\[1\].pdf](http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/Screening_Studies_of_POPs_in_fish[1].pdf) (дата обращения — 09.11.2021).
33. Screening studies of POP levels in bottom sediments from selected lakes in the Paz watercourse. / Akvaplan-niva report No APN- 514.3665.01. — Akvaplan-niva, Norway [Электронный ресурс] URL: [http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/5_Screening_Studies_of_POPs_in_sediments\[1\].pdf](http://www.pasvikmonitoring.org/pdf/5_Screening_Studies_of_POPs_in_sediments[1].pdf) (дата обращения — 09.11.2021).
34. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2007 г. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). — Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ) [Электронный ресурс] URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения — 09.11.2021).
35. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2006 г. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ) [Электронный ресурс] URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения — 09.11.2021).
36. Жилин А. Ю., Плотицына Н. Ф. Состав, источники и токсикологический потенциал ПАУ в донных осадках Кольского залива Баренцева моря. // Известия ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 247–253.
37. Атлас химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря. / Министерство промышленности, науки и технологий РФ; Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН; Отдел антропогенной экологии. [Электронный ресурс] URL: <http://pollution.mmbi.info/> (дата обращения — 09.11.2021).
38. Новиков М. А., Драганов Д. М. Атлас и база данных «Загрязнение водных масс Баренцева моря» // Актуальные вопросы и инновационные технологии развития географических наук: сборник трудов всероссийской научной конференции, Ростов-на-Дону, 31 января — 01 февраля 2020 г. — С. 612–615.
39. Savinova T., Batterman S., Konoplev S., Savinov V., Gabrielsen G. W., Alekseeva L., Kochetkov A., Pasyukova E., Samsonov D., Koryakin A., Chernyak S. New Environmental Contaminants in Seabirds from the Seven Islands Archipelago (Barents Sea, Russia). // *Organohalogen Compounds*. — 2007. — Vol. 69. — P. 1681–1684.
40. Holma-Suutari A., Ruokojärvi P., Komarov A. A., Makarov D. A., Ovcharenko V. V., Panin A. N., Kiviranta H., Laaksonen S., Nieminen M., Viluksela M., Hallikainen A. Biomonitoring of selected persistent organic pollutants (PCDD/Fs, PCBs and PBDEs) in Finnish and Russian terrestrial and aquatic animal species. // *Environmental Sciences Europe*. — 2016. — Vol. 28. — No. 1. — P. 5. DOI: 10.1186/s12302-016-0071-z.
41. Holma-Suutari A., Ruokojärvi P., Komarov A. A., Makarov D. A., Ovcharenko V. V., Panin A. N., Kiviranta H., Laaksonen S., Nieminen M., Hallikainen A. Persistent organic pollutants in the Finnish and Russian semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.). // *Organohalogen Compounds*. — 2014. — Vol. 76. — P. 178–181.

42. Макаров Д. А., Комаров А. А., Овчаренко В. В., Небера Е. А., Кожушкевич А. И., Калантаенко А. М., Афанасьева Е. Л., Демидова С. В. Загрязнение диоксинами и токсичными элементами субпродуктов северных оленей в регионах Крайнего Севера России. // *Сельскохозяйственная биология*. — 2018. — Т. 52. — № 2. — С. 364–373.
43. Polder A., Gabrielsen G. W., Odland J. Ø., Savinova T. N., Tkachev A., Løken K. B., Skaare J. U. Spatial and temporal changes of chlorinated pesticides, PCBs, dioxins (PCDDs/PCDFs) and brominated flame retardants in human breast milk from Northern Russia. // *The Science of the total environment*. — 2008. — Vol. 391. — No. 1. — P. 41–54. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.10.045.
44. Горбанев С. А. Основные направления и задачи научных исследований ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия на территории Арктической зоны Российской Федерации // *Мат-лы науч.-практ. конф. с междунар. участием «Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике»*, Санкт-Петербург, 5–6 октября 2017 г. — С. 8–13.
45. AMAP, 2004. Persistent Toxic Substances, Food Security and Indigenous Peoples of the Russian North. Final Report. — Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway [Электронный ресурс] URL: <https://oarchive.arctic-council.org/handle/11374/697?show=full> (дата обращения — 09.11.2021).
46. Дударев А. А., Душкина Е. В., Сладкова Ю. Н., Бурова Д. В., Гущин И. В., Талькова Л. В., Никанов А. Н., Лукичева Л. А. Стойкие органические загрязнители (СОЗ) в местных продуктах питания Печенгского района Мурманской области. // *Токсикологический вестник*. — 2015. — № 4. — С. 18–25.
47. Дударев А. А., Душкина Е. В., Сладкова Ю. Н., Чупахин В. С., Лукичева Л. А. Уровни экспозиции к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) населения Печенгского района Мурманской области. // *Токсикологический вестник*. — 2016. — № 3. — С. 2–9.