



М.А. Новиков, А.М. Лаптева, М.Н. Харламова

АТЛАС ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ» (ФГБНУ «ВНИРО»)**

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича)



М.А. Новиков, А.М. Лаптева, М.Н. Харламова

АТЛАС ЗАГРЯЗНЕНИЯ промысловых гидробионтов БАРЕНЦЕВА МОРЯ

**Мурманск
2024**

FEDERAL AGENCY FOR FISHERIES

FEDERAL STATE BUDGETARY RESEARCH INSTITUTION
"RUSSIAN FEDERAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES AND OCEANOGRAPHY (FSBSI "VNIRO")"

Polar Branch of FSBSI "VNIRO" ("PINRO" named after N.M. Knipovich)



M.A. Novikov, A.M. Lapteva, M.N. Kharlamova

**ATLAS OF COMMERCIAL
species pollution
IN THE BARENTS SEA**

**Murmansk
2024**

УДК 574.632(268.45)
Н 73

Рецензент: А.А. Шавыкин, д-р геогр. наук, канд. техн. наук

Новиков, М.А.

Н 73 Атлас загрязнения промысловых гидробионтов Баренцева моря / М.А. Новиков, А.М. Лаптева, М.Н. Харламова; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2024. – 188 с.

ISBN 978-5-86349-296-4

Атлас представляет собой собрание карт, отражающих распределение содержания ряда приоритетных загрязняющих веществ и соединений в промысловых рыбах и беспозвоночных Баренцева моря и сопредельных акваторий. Представлены карты содержания пяти органических (ГХЦГ, ГХБ, ДДТ, ПХБ, хлорданы) и девяти неорганических (тяжелые металлы, мышьяк) загрязняющих веществ в организме восьми видов рыб и трех видов ракообразных. Всего в атлас вошли 280 стандартных карт распределения содержания загрязняющих веществ в гидробионтах (мышцы и печень) с 2009 по 2021 г. включительно и девять отдельных тематических карт. Последние включают в себя справочные и специальные карты распределения особей гидробионтов, в мышцах которых содержание нормируемых элементов превышает региональный фоновый уровень. С помощью карт превышения фоновых уровней изучается проблема локализации техногенного загрязнения в Баренцевом море.

Атлас предназначен для океанологов, геоэкологов, гидробиологов, технологов, а также специалистов широкого профиля, студентов и аспирантов, интересующихся проблемами загрязнения морских экосистем Арктики и Северной Атлантики.

Редакционная коллегия:

*А.Ю. Жилин, канд. хим. наук (научный редактор),
Е.В. Сентябов, канд. геогр. наук, Е.А. Горбачева, канд. биол. наук*

ISBN 978-5-86349-296-4

© «ПИНРО» им. Н.М. Книповича, 2024

Reviewer:
A.A. Shavykin (DSc., Geography; PhD., Tech. sciences)

Novikov, M.A.

Atlas of commercial species pollution in the Barents Sea. / M.A. Novikov, A.M. Lapteva, M.N. Kharlamova; Polar Branch of FSBSI «VNIRO» («PINRO» named after N.M. Knipovich). – Murmansk: PINRO named after N.M. Knipovich, 2024. – 188 p.

This Atlas comprises charts showing the content and distribution of main hazardous pollutants in commercial fish and invertebrate species in the Barents Sea and adjacent waters. The content of 5 organic (HCH, HCB, DDT, PCB, chlordane) and 9 inorganic (heavy metals, arsenic) pollutants in 8 fish and 3 crustacean species are shown in the charts. In total, the Atlas includes 280 standard charts of the distribution of pollutants' content in marine species (muscle and liver) for the period from 2009 to 2021 and 9 separate thematic charts. These thematic charts comprise reference and special charts of the distribution of marine species with muscles where the content of standardized elements exceeds the regional background level. Using charts showing the excess of background levels, scientists study the localization of technogenic pollution in the Barents Sea.

This Atlas is intended for oceanologists, geoecologists, hydrobiologists, technologists, as well as multi-discipline experts, undergraduate and post-graduate students who are interested in the pollution of marine ecosystems in the Arctic and North Atlantic.

Editorial Board:

*A.Yu. Zhilin (PhD., Chemistry; Executive editor), E.V. Sentyabov (PhD., Geography),
E.A. Gorbacheva (PhD., Biology)*

ОБ АТЛАСЕ

Настоящий атлас является собранием карт, отражающих распределение содержания ряда тяжелых металлов и органических загрязнителей в мышцах, печени и гепатопанкреасе промысловых гидробионтов Баренцева моря. Атлас составлен на основе собственной базы данных Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича, далее – ПИНРО), включающей в себя результаты обработки проб рыбы и ракообразных из морских экспедиций с 2009 по 2021 г. включительно (данные о северной креветке и крабе-стригуне опилио из-за малого количества ранее отобранных проб приведены за период до 2022 г. включительно). Представленная работа выполнена как завершение серии атласов Баренцева моря, изданных в ПИНРО (Драганов, Новиков, 2020; Новиков, Драганов, 2021).

Материал для исследований собирали в комплексных научных экспедициях главным образом на судах ПИНРО в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

Гидробионты – преимущественно представители ихтиофауны и креветки – были пойманы донным и пелагическим тралами с 2009 по 2021 г. на всей акватории Баренцева моря. Для донного траления в основном использовали учетный трал «Самрелен-1800», а пелагического – трал А8-623-000. Крабов также отбирали в процессе учетного ловушечного лова. По завершении отбора проб рыбу, крабов и креветку целиком замораживали при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и доставляли в лабораторию химико-аналитических исследований центра экологического мониторинга ПИНРО (г. Мурманск), где выполняли их количественный химический анализ. Отбор проб гидробионтов, их консервацию и хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО (Изучение экосистем рыбохозяйственных..., 2004).

У большинства рыб, кроме мойвы, для анализа после разморозки брали образцы филе (мышцы) и печень, у крабов – мышцы из клешней и фаланг, гепатопанкреас, у креветки – только мясо (мышцы). Печень мойвы не исследовали ввиду недостаточного объема материала для пробы. У крабов гепатопанкреас – это орган системы пищеварения, который совмещает функции поджелудочной железы и печени. Для единообразия и краткости на соответствующих картах по крабам вместо гепатопанкреаса приводится принятое в атласе наименование «печень». В процессе аналитических исследований проб гидробионтов применялись методы капиллярной хромато-масс-спектрометрии, пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Более подробную информацию об использованных методах химического анализа проб промысловых гидробионтов можно получить из опубликованных сотрудниками ПИНРО работ (Жилин, Плотицына, 2011; Новиков, Жилин, 2021; Новиков, Жилин, 2021, ч. 2; Новиков, Горбачева, Лаптева, 2021; Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 191; Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 194).

В ходе 51-го рейса научно-исследовательских судов (НИС) с 2009 по 2022 г. в разные сезоны года (преимущественно в феврале-марте и июле-сентябре) выполнены более 600 станций отбора проб рыбы и донных ракообразных (ряд станций – в Белом море), сведения о которых представлены в настоящем атласе. Краба-стригуна опилио изучали в Баренцевом и Карском морях. Морские экспедиции осуществлялись на НИС ПИНРО: «Смоленск», «Фритъоф Нансен», «Вильнюс», «Профессор Бойко» и «Протей». Результаты исследований в атласе сгруппированы по изучаемым объектам – промысловым гидробионтам, рыбам и ракообразным. Набор карт каждого гидробионта

предваряется кратким описанием его биологии, данными о современном состоянии промысла (промысловой значимости) и сведениями о пищевой ценности объекта.

В настоящий атлас вошли 280 стандартных аналитических карт распределения содержания загрязняющих веществ в гидробионтах Баренцева моря по видам организмов, а также три справочных и шесть специальных карт. Приведены аналитические карты загрязнения мышц и печени (гепатопанкреаса) промысловых гидробионтов 14 органическими и неорганическими загрязняющими веществами – поллютантами. Восемь из них являются тяжелыми металлами (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Co), остальные представляют собой группу приоритетных токсичных для гидробионтов органических соединений: гексахлорциклогексаны (Σ ГХЦГ), гексахлорбензол (ГХБ), ДДТ и его метаболиты (Σ ДДТ), полихлорбифенилы (Σ ПХБ) и хлорданы. Кроме того, дана информация о содержании общего мышьяка ввиду опасности этого микроэлемента, нормируемого в России в рыбной продукции (Технический регламент таможенного..., 2011). Краткие сведения об источниках и объемах поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, формах нахождения в воде, а также их токсичности для некоторых гидробионтов приведены в соответствующем разделе атласа.

Стандартные электронные карты выполняли в среде настольного ГИС-приложения ArcMap 10 из пакета ArcGIS компании ESRI. В качестве топографической основы использовалась глобальная цифровая модель рельефа – Etopo2 (Глобальная цифровая модель..., 2005), представленная привязанным растровым слоем в формате Tiff. Данная модель находится в открытом доступе и создана благодаря нескольким источникам. Для топографии суши применяли данные GLOBE – Global Land One-kilometer Base Elevation (разрешение 30 угловых секунд, 1 км), для батиметрии – обработанные определенным образом данные радарной альтиметрической съемки в 1978 г., совмещенные с данными о гравитационных аномалиях для получения глубин. При создании атласа была выбрана равнопромежуточная коническая проекция, которая хорошо подходит для картографирования географических объектов, расположенных в высоких широтах. Она основана на двух стандартных параллелях 70 и 80° с.ш. и центральном меридиане 45° в.д.

В основном окне каждой стандартной карты показано распределение содержания загрязняющих веществ в организмах отдельных видов на акватории Баренцева моря, приведены сведения о картографической проекции и масштабе. На рабочей странице атласа попарно сгруппированы карты содержания поллютанта в мышцах и печени (гепатопанкреасе) рассматриваемого объекта. Для представления информации выбран метод градуированных символов. Нулевые значения на аналитических картах означают, что содержание определяемого вещества в пробе гидробионтов было ниже предела обнаружения примененного метода анализа.

При классификации числовых данных стандартных цифровых карт (содержание поллютантов) использовался «встроенный» в приложение ArcMap 10.2 метод естественных границ, где границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между классами. Данная классификация опирается на алгоритм естественных границ Дженкса (Jenks' Natural Breaks algorithm). Каждый картографируемый элемент или загрязняющее вещество (поллютант) в атласе обозначены определенным цветом. Для отображения тяжелых металлов применялась цветовая схема, используемая молекулярным визуализатором Jmol (Jmol colors), для органических соединений цвета выбирались произвольно.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАННЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ

Ртуть (Hg). К природным источникам поступления Hg в водоемы относятся процессы выветривания горных пород, а также земная и подводная вулканическая деятельность (Химия окружающей среды, 1982). В поверхностные воды соединения ртути могут попадать в результате выщелачивания пород в районе ртутных месторождений во время разложения водных организмов, накапливающих Hg в числе других элементов из водной среды. Значительное количество Hg попадает в водоемы со сточными водами заводов, производящих красители, химикаты, а также фармацевтические препараты и некоторые взрывчатые вещества; при использовании в сельском хозяйстве в составе инсектицидов и фунгицидов (Резников, Муликовская, Соколов, 1970; Руководство по химическому..., 1977).

Хотя природные источники вносят основной вклад в загрязнение окружающей среды, доля Hg, попадающая в нее в результате антропогенной деятельности, значительно увеличивается. Главные антропогенные поставщики Hg в природных водах – сжигание ископаемого топлива, электротехническая промышленность и выбросы промышленных предприятий, из которых наиболее опасны сбросы с хлорощелочных заводов (Израэль, Цыбань, 2009).

Ртуть характеризуется малым временем пребывания в воде и быстро переходит в отложения в виде соединений с органическими веществами. Поскольку Hg адсорбируется отложениями, она может медленно освобождаться и растворяться в воде, что приводит к образованию вторичных источников хронического загрязнения, действующего длительное время после того, как исчезнет первоначальный источник загрязнения (Химия окружающей среды, 1982). Поступая в атмосферу с промышленными выбросами, в результате сгорания топлива различных видов, с пылью, поднятой ветром, продуктами вулканической деятельности Hg переносится воздушными потоками на большие расстояния и оседает на поверхности Земли в виде частиц или с атмосферными осадками. Поэтому основными факторами, определяющими степень антропогенного воздействия Hg на арктические регионы, являются глобальный атмосферный перенос и выпадение на подстилающую поверхность (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Загрязнение водоемов Hg вызывает отравления водных животных и очень опасно для человека из-за накопления ее соединений в пищевых гидробионтах. Металлическая Hg и ее неорганические соли менее токсичны для рыб, чем органические соединения. Высокая токсичность органических препаратов Hg объясняется тем, что органический радикал способствует проникновению их в организм, что приводит к тяжелому отравлению, поражению центральной нервной системы, печени, почек и других органов за счет ингибирования тиоловых ферментов и биосинтеза белков. Ртутные препараты обладают гонадотропным и эмбриотоксическим действием. Из неорганических соединений на рыб действуют в основном растворимые соли Hg – хлориды, сульфаты и нитраты. Ртутьсодержащие соединения высокотоксичны для большинства гидробионтов. Острая токсичность Hg для рыб тесно связана с температурой окружающей среды, с повышением температуры рыба становится более чувствительной к ртути (Мур, Рамамурти, 1987; Васильков,

Грищенко, Енгашев, 1989). Для крабов, напротив, отмечено, что снижение температуры повышает токсичность хлорида ртути (Филенко, Михеева, 2007).

Токсическое действие соединений Hg вызывает нарушение работы ионного насоса и Na-K проницаемости клеточных мембран, при этом соли ртути в тканях рыб вызывают устойчивое нарушение транспорта Na, а метилртуть – временное (Филенко, Михеева, 2007).

Согласно Техническому регламенту Таможенного союза – ТР ТС 021/2011 (2011), в мышцах (филе, фарш) морских рыб, а также в печени и продуктах из нее содержание Hg не должно превышать 0,5 мг/кг (мкг/г) сырой массы. В нерыбных объектах промысла (моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные) и продуктах их переработки допускается содержание Hg не более 0,2 мг/кг.

Кадмий (Cd). Относится к редким элементам и практически не встречается в земной коре в свободном состоянии (Чибисова, Долгань, 1998). Он присутствует в природе в составе цинк- и свинецсодержащих руд. Одним из источников соединений Cd в поверхностных водах являются процессы выщелачивания из полиметаллических и медных руд и почв (Войнар, 1953; Резников, Муликовская, Соколов, 1970). К основным антропогенным источникам поступления Cd в морские воды относятся горнорудные (горно-обогатительные) и металлургические предприятия, а также сточные воды. Для Cd важнейший источник эмиссии – цветная металлургия, объем выбросов которой в 1,5 раза превышает природную эмиссию этого металла. В больших количествах содержится Cd в фосфатных удобрениях (Руководство по химическому..., 1977; Диагностический анализ состояния..., 2011).

В последнее время увеличивается использование органических соединений Cd в основном в полимерной и электротехнической промышленности. Кадмий содержится в мазуте и дизельном топливе, сплавах (в качестве присадки), гальванических покрытиях, кадмиевых пигментах (используемых в производстве лаков, эмалей, керамики), пластмассах (как стабилизатор), электрических батарейках и т.д. В результате сжигания отходов пластмассы и промышленных производств Cd попадает в воздух.

Глобальное годовое поступление Cd из природных источников составляет примерно $8,43 \times 10^5$ кг – это жизнедеятельность растений, ветровой разнос почв, вулканические аэрозоли и лесные пожары. Годовое поступление в атмосферу вследствие работы промышленности оценивается в $7,9 \times 10^6$ кг, из них 76 % приходится на цветную металлургию, остальное – случайные выбросы (Мур, Рамамурти, 1987).

Кадмий присутствует в природных водах преимущественно в элементарной форме, имеют место также неорганические соединения с CO_2 и PO_4 . Во взвеси Cd преобладает в сорбированном комплексе, который часто десорбируется с поверхности взвеси при смешении речных и морских вод в зонах эстуариев (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Кадмий – один из самых токсичных элементов для гидробионтов (Лукьяненко, 1967; Метелев, Канаев, Дзасохова, 1971). Он обладает местнораздражающим и резорбтивным действием. При остром отравлении хлористым кадмием у рыб обнаруживают гиперплазию и распад респираторного эпителия жабр, эпидермиса кожи, некробиоз кишечника и проксимальных канальцев почек, гемопоэтической ткани. Хроническая интоксикация выражается замедлением роста, некробиотическими изменениями в жабрах, почках, печени, гемопоэтической ткани, отмечены образование доброкачественной опухоли в почках и деформация позвоночника (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). Кадмий относят к тиоловым ядам: он инактивирует ферменты и нарушает функции структурных белков. С повышением температуры

токсичность Cd для некоторых гидробионтов, в частности для ракообразных, возрастает. В то же время он снижает накопление гидробионтами Zn, Hg и других металлов (Филенко, Михеева, 2007).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) рыб содержание Cd не должно превышать 0,2 мг/кг (мкг/г) сырой массы, а в печени и продуктах из нее – 0,7 мг/кг. В нерыбных объектах промысла (моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные) и продуктах их переработки допускается содержание Cd не более 2,0 мг/кг.

Свинец (Pb). Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения эндогенных (галенит PbS) и экзогенных (англезит PbSO₄, церуссит PbCO₃ и др.) минералов. Содержащая Pb силикатная пыль природных почв, вулканические галогенные аэрозоли и силикатные дымы, попадая в атмосферу, возвращаются на землю с атмосферными осадками (Руководство по химическому..., 1977).

Техногенное загрязнение природных вод и воздуха Pb происходит в результате процесса обжига и плавки свинцовых руд в целях получения металлического свинца (Израэль, Цыбань, 2009). Значительное повышение концентрации Pb в окружающей среде (в том числе и в природных водах) – следствие широкого применения его в промышленности, сжигания угля, древесины и других органических материалов, включая городские отходы. Главным источником поступления Pb в окружающую среду является автомобильный транспорт. Применение тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе сопровождается загрязнением воздуха и воды. В зависимости от условий движения автомобиля от 25 до 75 % свинца выбрасывается в атмосферу. Почти в 10 раз ниже вклада сжигания топлива в цветной металлургии. В то время как основная масса этого металла осаждается на землю, значительное его количество может оставаться в воздухе. Во всем мире ежегодно в результате человеческой деятельности в атмосферу попадает 450 тыс. т свинца (Диагностический анализ состояния..., 2011; Clark, 2011). Соединения Pb выносятся в водоемы со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических предприятий, химических производств и шахт (Руководство по химическому..., 1977; Израэль, Цыбань, 2009). Освоение нефтегазовых месторождений также способно сильно загрязнять Pb почву и приповерхностную гидросферу.

Токсичность Pb несколько ниже, чем Hg и Cd, однако она достаточно большая (Лукьяненко, 1967; Метелев, Канаев, Дзасохова, 1971). Для действия свинца характерны потемнение хвостового стебля (симптом нейротоксикоза) и искривление тела рыбы. Вместе с тем обнаруживаются очаговый некроз паренхимы печени, почек и селезенки, дистрофия мышечных пучков миокарда, хроматолиз нейронов среднего мозга, резорбция половых клеток, гемосидероз в селезенке и почках (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). Как следует из ряда исследований, корреляция между содержанием Pb и возрастом (размером) рыб зачастую отсутствует. В отличие от Cd уровни накопления Pb в мышцах рыб обычно ниже, чем в органах, что отражает относительно невысокую степень связывания Pb с группой SH. Кроме того, низкая растворимость солей Pb ограничивает его движение через клеточные мембраны (Мур, Рамамурти, 1987). Тем не менее Pb также относят к тиоловым ядам, так как он необратимо инактивирует ферменты и нарушает функции структурных белков (Филенко, Михеева, 2007). Свинец менее токсичен для беспозвоночных, чем Cu, Cd, Zn и Hg, но в целом более токсичен, чем Ni и Co (Мур, Рамамурти, 1987).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) рыб, а также печени и продуктах из нее содержание Pb не должно превышать 1,0 мг/кг (мкг/г) сырой массы. В нерыбных объектах промысла (моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные) и продуктах их переработки допускается содержание Pb не более 10,0 мг/кг.

Медь (Cu). В природе Cu встречается как в самородном состоянии, так и в виде сульфидов, арсенидов, хлоридов и карбонатов. Основным источником поступления Cu в природные воды – сточные воды предприятий электротехнической, химической, металлургической промышленности, шахтные воды, альгициды, используемые для уничтожения водорослей. Медь может появляться в воде в результате коррозии медных трубопроводов и других сооружений, используемых в системах водоснабжения. Приток Cu от эрозии минерализованных пород оценивается в 325 000 т в год (Руководство по химическому..., 1977; Clark, 2011). Примерно 75 % выделяемой в атмосферу меди имеет антропогенное происхождение, производство цветных металлов – ее основной источник. Кроме того, Cu образуется при сжигании древесины и производстве стали. Все это может приводить к значительному загрязнению окружающей среды. Так, из-за выбрасываемых во внешнюю среду Норильским горно-металлургическим комбинатом загрязнений содержание Cu в почвах этого региона Арктики достигают экстремально высоких значений, превышающих ПДК в сотни раз – 0,4 % сухой массы (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Общая эмиссия Cu в атмосферу составляет около 75 тыс. т/год, из которых от 5 до 13 тыс. т осаждаются в океанах с атмосферными осадками и сухими выпадениями. Основным природным источником Cu в атмосфере – эоловый перенос – пыль, поднятая ветром (Мур, Рамамурти, 1987). Около 17 тыс. т меди, находящейся в различных отходах, ежегодно поступает в океаны (Израэль, Цыбань 2009; Химия окружающей среды..., 1982).

Значение Cu в биологических системах достаточно велико. Интенсивная сорбция Cu обуславливает ее высокие содержания в донных отложениях. Темпы сорбции зависят от присутствия глинистых частиц, лигандов, гуминовых кислот, железомарганцевых оксидов, pH и ряда других связывающих медь ионов. Десорбция Cu из отложений зависит от pH, солености, присутствия природных и синтетических хелатов (Мур, Рамамурти, 1987).

В высоких концентрациях соли Cu оказывают на рыб вяжущее, раздражающее и прижигающее действие, а в низких – инактивируют дыхательные ферменты. Токсичность Cu возрастает при снижении жесткости воды, температуры и содержания кислорода. Отмечен синергизм в комбинации Cu с Zn и Cd (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). Межвидовая изменчивость чувствительности к воздействию Cu у рыб может отличаться в 30 раз при аналогичных условиях среды содержания (Мур, Рамамурти, 1987). Личинки краба способны регулировать накопление Cu (Филенко, Михеева, 2007).

Медь, обладающая мутагенным эффектом, способна ингибировать микросомальную арилуглеводную гидролазу и эпоксигидразу, замедляя метаболизм бензпиренов и за счет этого снижая продукцию канцерогенных производных – метаболитов (Филенко, Михеева, 2007).

Цинк (Zn). Соединения Zn встречаются в природе довольно часто. Основные минералы: сфалерит ZnS (67 % Zn), содержащий примеси Cd, In, Ga, Ge, вюртцит ZnS (63 % Zn), смитсонит ZnCO₃ (52 % Zn) и каламин Zn₄[Si₂O₇](OH)₂·H₂O (53,7 % Zn).

Главные промышленные минералы свинцово-цинковых руд – галенит PbS и сфалерит ZnS (Чертко Н., Чертко Э., 2008). Цинк попадает в природные воды в результате процессов разрушения и растворения горных пород и минералов главным образом сфалерита, сульфидных комплексных железных руд и в результате коррозии трубопроводов. Эродированные ветром почвенные частицы дают до 58 % Zn, поступающего из природных источников. Поступление с растительной продукцией составляет около 20 %, с морскими солями, поднимаемыми ветром, – незначительно, несмотря на их большие объемы (Мур, Рамамурти, 1987).

Цинк интенсивно используют во многих отраслях промышленности. Существующее антропогенное поступление Zn в окружающую среду на 700 % превышает природное, причем производство и использование цветных металлов дает до 43 % общего антропогенного выброса цинка в атмосферу. Значительные источники цинка – сжигание древесины и отходов, сточные воды рудообогатительных фабрик и гальванических цехов многих предприятий, производство сплавов, электрических элементов (батареек), пергаментной бумаги, минеральных красок, искусственного волокна и др. (Лурье, Рыбникова, 1974; Руководство по химическому..., 1977; Химия окружающей среды, 1982).

Большое количество Zn переносится и выпадает с атмосферными осадками. Так, в снеге из южных районов Норвегии его содержание составляло 10-205 мкг/л. В зависимости от местонахождения доля атмосферного цинка в водных экосистемах может быть более 50 % от общего поступления (Мур, Рамамурти, 1987). Ряд исследователей отмечают, что для Zn характерно глобальное распространение преимущественно океаническим путем (с течениями), а также такими реками, как Енисей (Диагностический анализ состояния..., 2011; АМАР, 2005).

Ядовитые свойства Zn обусловлены в основном ионами, возможно, суспензиями гидроокиси и карбонатов. При увеличении жесткости, солености и взвешенных частиц его токсичность снижается, так как в этих случаях растворимость солей цинка уменьшается. Симптомы и патоморфологические изменения отравления Zn сходны с теми, которые вызывает Cu. При остром отравлении рыб Zn отмечают потемнение окраски тела, отек жаберных лепестков, гиперплазию и слущивание респираторного эпителия (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). Соединения Zn сильно повреждают жабры и вызывают повышенное образование слизистого секрета. По мере разрушения респираторного эпителия жабр наступает асфиксия (Метелев, Канаев, Дзасохова, 1971). Личинки краба способны регулировать накопление Zn (Филенко, Михеева, 2007).

Цинк (как и медь) обладает мутагенным эффектом и способен ингибировать микросомальную арилуглеводную гидролазу и эпоксигидразу, замедляя метаболизм бензпиренов и за счет этого снижая продукцию канцерогенных производных – метаболитов (Филенко, Михеева, 2007).

Никель (Ni). Один из распространенных компонентов, постоянно присутствующих в природных водах. Нахождение Ni в природной воде обусловлено составом слоев породы, через которые проходит вода. Например, он обнаруживается в водах рек и озер в местах залегания никельсодержащих горных пород, сульфитных месторождений (Лурье, Рыбникова, 1974). Эродированные почвенные частицы (эоловый перенос) поставляют до 77 % от общего количества Ni, вулканические частицы – до 15 %. Известно также, что тяжелая нефть часто обогащена металлами-примесями, в том числе Ni. В тяжелой нефти содержание ванадия и Ni сопоставимо с таковым в рудах (горных породах). Так, среднебассейновое содержание Ni в тяжелой нефти Тимано-Печорской провинции составляет, например, 0,031 % (Ященко, 2011).

Современное антропогенное поступление Ni в окружающую среду на 180 % превышает природное. Это может приводить к значительному загрязнению окружающей среды. Так, из-за выбрасываемых во внешнюю среду Норильским горно-металлургическим комбинатом загрязнений содержание Ni в почвах этого региона Арктики достигает экстремально высоких значений, превышающих ПДК в сотни раз – 0,5 % сухой массы (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Никель широко применяется в производстве источников тока и гальванических операциях. Он является общепринятым компонентом сплавов, используемых для чеканки монет (Химия окружающей среды, 1982). Соединения Ni выносятся в водоемы со сточными водами цехов никелирования, заводов синтетического каучука, производства электротехники, никелевых обогатительных фабрик и других производств (Руководство по химическому..., 1977). Один из наиболее значительных источников загрязнения Ni – отходящие газы производства никеля карбонильным методом. Огромные выбросы сопровождают сжигание ископаемого топлива, при этом в атмосферу переходит около 70 тыс. т Ni ежегодно (Химия окружающей среды, 1982). Поставщики никеля в океан: речной сток – около $1,35 \times 10^9$ кг/год, атмосферные выпадения – $2,5 \times 10^7$ кг/год, промышленные и городские сбросы – $3,8 \times 10^6$ кг/год (Посохов, 1965).

Никель представляет собой один из наименее токсичных тяжелых металлов, тем не менее он способен понижать диффузионную активность жабр и содействует увеличению толщины жаберных пластинок, что может привести к гибели рыб от асфиксии (Мур, Рамамурти, 1987). При отравлении Ni жабры рыб покрываются слизью и приобретают темную окраску (Метелев, Канаев, Дзасохова, 1971). Острая токсичность Ni существенно снижается в морской воде вследствие присутствия катионов макроэлементов (Мур, Рамамурти, 1987).

Хром (Cr). В поверхностные воды соединения Cr (III и IV) поступают в результате выщелачивания горных пород – серпентинитов и других хромсодержащих минералов (Войнар, 1953). Некоторое количество Cr попадает в воду в процессе разложения организмов и растений, из почв, особенно сформировавшихся над обогащенными хромом породах (Руководство по химическому..., 1977). Основные поставщики хромсодержащих аэрозолей в порядке уменьшения масштаба выбросов: производство и переработка феррохрома, изготовление огнеупоров, сжигание угля и производство хромированных сталей. Для производства нержавеющей сталей, красителей, химикатов, хромирования металлических изделий используется огромное количество хромитовых руд. Уровень содержания Cr в аэрозолях в зоне перерабатывающих хром заводов может достигать 1 мг/м^3 при фоновом природном уровне 10^{-6} мг/м^3 . В зависимости от климатических условий эти частицы разносятся ветром на большие расстояния или выпадают на поверхность земли в виде дождя и снега. Показатель обогащения атмосферных частиц Cr относительно земной коры равен 11 (Мур, Рамамурти, 1987).

Значительное количество Cr может поступать в водоемы со сточными водами гальванических цехов машиностроительных, станкостроительных, автомобильных, авиационных заводов, красильных цехов текстильных производств, кожевенных заводов и предприятий химической промышленности (Диагностический анализ состояния..., 2011). Неконтролируемые выбросы представляют большую опасность загрязнения природных вод относительно токсичной формой Cr^{6+} . Источники загрязнения Cr^{3+} – жидкие стоки кожевенных производств и красильных, содержащие до нескольких граммов хрома на 1 л.

Хром обычно не накапливается в рыбах, его содержание в морских и пресноводных рыбах незначительно (Мур, Рамамурти, 1987). При остром отравлении соединениями Cr рыба обильно покрывается слизью и погибает от асфиксии, которая развивается за счет распада и слущивания респираторного эпителия жабр. Поражается и эпидермис кожи. Хроническое отравление шестивалентным хромом (Cr^{6+}) сопровождается скоплением в брюшной полости оранжево-желтой жидкости (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). В целом рыбы менее чувствительны к отравляющему действию Cr, чем беспозвоночные. Место проявления отравляющего действия Cr на рыб может зависеть от pH среды: при $pH \geq 7,5$ воздействие Cr приводит к гистологическим повреждениям в почках, желудке и, по-видимому, слабо повреждает жабры (Мур, Рамамурти, 1987). Отмечено усиление действия Cr на рыб при повышении температуры (Филенко, Михеева, 2007).

Кобальт (Co). Соединения Co попадают в поверхностные воды в результате выщелачивания их из медноколчеданных и других руд, а также изверженных главным образом основных и ультраосновных пород, в которых около 90 % Co находится в рассеянном состоянии. Соединения Co выносятся в водоемы со сточными водами металлургических, металлообрабатывающих и химических заводов (Резников, Муликовская, Соколов, 1970; Руководство по химическому..., 1977). Это может привести к значительному загрязнению окружающей среды. Так, из-за выбрасываемых во внешнюю среду Норильским горно-металлургическим комбинатом загрязнений содержание Co в почвах региона достигают экстремально высоких значений, превышающих ПДК в десятки раз – 0,02 % сухой массы (Диагностический анализ состояния..., 2011). Показано, что значительное загрязнение дневной поверхности Co может происходить в результате пылегазовых выбросов предприятий, производящих радиоэлектронику, электротехнику, строительную керамику, а также котельные и энергетические установки (Иванов, Черкасова, 2011).

По экспертным оценкам, ежегодно с речным стоком в составе взвесей и растворенных форм в океан выносится 0,34 и 0,01 млн т Co соответственно. Этот металл относится к элементам, интенсивно концентрирующимся в морских илах, особенно в тех, где преобладают глинистые компоненты (Добровольский, 2003).

Кобальт принадлежит к наиболее важным эссенциальным химическим элементам. Он активизирует аргиназу, костную и кишечную фосфатазу, инактивирует уразу, пепсин, используется при синтезе мышечных белков. Поступает в организм рыб с пищей и осмотическим путем. Дефицит его сопровождается снижением синтеза гемоглобина, что может привести к возникновению анемии и снижению общей резистентности организма, повышению смертности при одновременном замедлении роста рыб. С другой стороны, Co может вызвать наступление полицитемии, т.е. нарастания количества эритроцитов и гемоглобина без изменения объема крови, стимулирует образование ретикулоцитов и созревание эритроцитов в костном мозге (Обмен химических элементов..., 2012; Anke, 1999).

Мышьяк (As). Поскольку As и его соединения широко применяются в народном хозяйстве, он содержится в сточных водах различных отраслей промышленности – металлургической, химико-фармацевтической, текстильной, стекольной, кожевенной, химической по производству инсектицидов, гербицидов, красок. Мышьяковистые ядохимикаты, используемые в сельском и лесном хозяйствах для борьбы с вредителями растений, могут появиться в водоемах с поверхностным стоком. В воде As обнаруживается в форме арсената или арсенита, а также встречаются

метилированные соединения. Осажденные его формы при повышении температуры способны растворяться и вызывать вторичное загрязнение (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989).

Поступающий с пищей или водой As в организме рыбы может подвергаться метилированию с образованием менее токсичных органических форм (Zhang, Huang, Wang, 2012; Biotransformation of inorganic..., 2016). В рыбах из северных европейских морей содержание неорганического As было очень низким: в 94 % случаев – ниже предела обнаружения примененного метода анализа ($<0,002$ мкг/г сырой массы) (Total and inorganic..., 2012).

Накопление в органах и тканях морских гидробионтов многих микроэлементов обусловлено их способностью замещать другие, близкие по свойствам микроэлементы. Арсениты – аналоги фосфатов, определяют в известной степени накопление As в организме гидробионтов (Мур, Раммамурти, 1987). В морских животных преобладающей формой As является арсенобетайн, триметилированное пятивалентное соединение As, обнаруженное в 1977 г. (Филенко, Михеева, 2007; Isolation, crystal structure..., 1977). Содержание As в гидробионтах зависит от сезона и связано с особенностями питания. Следует отметить, что As поглощается гидробионтами в основном с пищей, и его токсичные неорганические соединения способны быстро образовывать прочные комплексы с низкомолекулярными органическими соединениями, которые не представляют опасности для человека и к тому же быстро выводятся из организма (Мур, Раммамурти, 1987). Планктонные водоросли способны производить соединения метиларсенатов, которые в свою очередь могут восстанавливать арсенаты до арсенитов (Емельянов, Кравцов, 2007). По некоторым данным, As в заметных количествах находится в морской взвеси, составляя 11-14 мкг/г, и океаническом планктоне – около 10 мкг/г (Батурин, Емельянов, Стрюк, 1993; Емельянов, Кравцов, 2007).

В больших концентрациях соединения As прижигающе действуют на жабры и кожу рыб. Проникая внутрь организма, As связывается с SH-группами ферментов и вызывает сосудистые нарушения и деструктивные изменения во внутренних органах. Поскольку As является медленно действующим ядом, картина острого отравления рыб нехарактерна. Рыбы угнетены, малоподвижны, перед смертью наступает сильное возбуждение и судороги. Патоморфологические изменения характеризуются дистрофией респираторного эпителия, водяночно-жировой дистрофией и некробиозом печеночных клеток и эпителия канальцев почек (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). Полагают, что As проникает в клетку через транспортную систему фосфатов (Филенко, Михеева, 2007). В основе механизма токсического действия соединений мышьяка лежит взаимодействие с сульфгидрильными группами (SH-группы, тиольные группы) белков и энзимов. Это действие обусловлено главным образом реакцией соединений As (III) с молекулами со смежным расположением SH-групп, в результате чего образуются прочные циклические структуры (Альберт, 1989).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) морских рыб содержание общего As не должно превышать 5,0 мг/кг (мкг/г) сырой массы; в печени рыбы содержание этого микроэлемента в РФ не нормируется. В нерыбных объектах промысла (моллюски, ракообразные и другие беспозвоночные) и продуктах их переработки допускается содержание общего As не более 5,0 мг/кг.

ГХЦГ (гексахлорциклогексан) относится к группе хлорорганических пестицидов (ХОП). ХОП являются токсикантами глобального распространения, не

имеющими природных аналогов. Они широко используются в сельском хозяйстве и промышленности, очень устойчивы. ГХЦГ – инсектицид широкого спектра действия, представляет собой смесь из восьми изомеров, но в Советском Союзе использовалась обогащенная смесь ГХЦГ, которая не менее, чем на 90 % состояла из γ -ГХЦГ (линдана). Непосредственно линдан в СССР не производили, однако технический и обогащенный ГХЦГ выпускали в Самарской области. После 1990 г. производство линдана было прекращено (Мельников, 1974; Диагностический анализ состояния..., 2011).

В настоящее время в РФ применение всех препаратов, содержащих изомеры (альфа-, бета-, гамма-) ГХЦГ, запрещены Стокгольмской конвенцией в 2009 г. (Запечалов, 2018). Россия ратифицировала Стокгольмскую конвенцию в 2011 г. (ФЗ № 164 от 27.06.2011 «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях»).

Известно, что линдан разлагается микроорганизмами и фотохимически изомеризуется в α -ГХЦГ, который наиболее стабилен в окружающей среде. Поэтому, несмотря на большую токсичность, γ -ГХЦГ оказывает менее сильное отрицательное воздействие на окружающую среду, чем α - и β -изомеры ГХЦГ, которые обладают канцерогенными свойствами и относятся к экологически опасным соединениям. В пресные водоемы ГХЦГ поступает преимущественно из почвы с поверхностными стоками и ирригационными водами, в Мировой океан – в результате дальнего атмосферного переноса. Из воды изомеры ГХЦГ мигрируют по водным биологическим цепям: вода – фитопланктон – зоопланктон – рыбы – рыбающие птицы; рыбы – морские млекопитающие; рыбы – человек. ГХЦГ длительно сохраняется в почве: через 3 года после обработки в ней обнаруживали 5 % препарата (Диагностический анализ состояния..., 2011; АМАР, 2004).

Механизм действия ХОП на рыб во многом сходен с влиянием на теплокровных животных. Рыба и другие водные организмы более чувствительны к ХОП, чем наземные животные. Особенно чувствительны к ХОП водные ракообразные, которых нередко используют для контроля загрязнения воды как индикаторные организмы. В организм рыб ХОП попадает осмотически через жабры и пищеварительный тракт с кормом. Интенсивность поглощения ХОП рыбами увеличивается при повышении температуры воды. Гидробионты способны концентрировать ХОП в гораздо больших количествах, чем в окружающей среде (воде, грунте), коэффициент накопления этих веществ составляет в грунте 100, зоопланктоне и бентосе – 100-300, рыбе – 300-3000 и более. По этому показателю они относятся к группе веществ со сверхвысокой или выраженной кумуляцией. Суммарные концентрации ХОП в воде пресных и морских водоемов обычно ниже микрограмма на 1 л. ХОП относят к ядам политропного действия с преимущественным поражением центральной нервной системы и паренхиматозных органов, особенно печени. Кроме того, они вызывают расстройство функций эндокринной и сердечно-сосудистой системы, почек и других органов. ХОП также резко угнетают активность ферментов дыхательной цепи, нарушают тканевое дыхание. Некоторые препараты блокируют SH-группы тиоловых ферментов (Васильков, Грищенко, Енгашев, 1989). При воздействии ХОП значительно (наполовину) уменьшается содержание в костях аскорбиновой кислоты, последствием которого становится замедление скорости образования коллагена и торможение роста организма в целом (Филенко, Михеева, 2007).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) морских рыб общее содержание (сумма) ГХЦГ не должно превышать 0,2 мг/кг (мкг/г) сырой массы, а в печени – 1,0 мг/кг.

За содержание ГХЦГ в гидробионтах Баренцева моря, отображенное на картах атласа, принимали сумму изомеров (Σ ГХЦГ): α -, β - и γ -ГХЦГ.

ГХБ (гексахлорбензол) также относится к группе хлорорганических пестицидов. Как и другие ХОП является токсикантом глобального распространения, не имеющим природных аналогов, широко используемым в сельском хозяйстве и промышленности. В сельском хозяйстве гексахлорбензол в основном применяли для протравливания семян в качестве фунгицида, реже – как инсектицид. Гексахлорбензол уничтожает грибки, наносящие вред продовольственным культурам. Образуется непреднамеренно в качестве побочного продукта в процессе изготовления некоторых химикатов, например хлора и хлорированных соединений, а также некоторых пестицидов. Кроме того, ГХБ использовался как промышленное химическое вещество при производстве взрывчатых веществ и синтетического каучука (Мельников, 1974; Диагностический анализ состояния..., 2011), поливинилхлорида, пентахлорфенола и его производных, красителей, в качестве флюса в алюминиевой промышленности, а также для консервации древесины. До 1991 г. для нужд сельского хозяйства отпускалось ежегодно до 120-150 т ГХБ, который входил в состав таких фунгицидов, как гамма-гексан, гексатиурам, меркурбензол, фагус и др. В настоящее время применяется оборонной промышленностью при изготовлении пиротехнических средств (URL: <http://ecoaccord.org/>). До 1990 г. гексахлорбензол был разрешен для сельскохозяйственных работ, в лесном и коммунальном хозяйствах как компонент препаратов гексатиурам и гаммагексан, в 1990-1996 гг. использовались только остатки гексатиурама и гаммагексана от применения за предшествующий период. После 1996 г. в качестве пестицида не был разрешен ни один препарат, содержащий ГХБ (Диагностический анализ состояния..., 2011).

ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) относится к группе хлорорганических пестицидов. Является токсикантом глобального распространения, не имеющим природных аналогов. ДДТ и его метаболиты плохо растворимы в воде. ДДТ – самый известный из пестицидов: широко применялся во время Второй мировой войны для защиты военнослужащих и гражданского населения от малярии, тифа и других заболеваний, распространяемых насекомыми (Диагностический анализ состояния..., 2011). ДДТ широко использовался в сельском хозяйстве в качестве эффективного инсектицида. Устойчив в окружающей среде (период полураспада составляет несколько лет.), к химическому и биологическому разрушению и обнаружен во всех частях света. Известно, что ДДТ концентрируется в цепи питания с коэффициентом обогащения, превышающим 500000. До тех пор, пока ДДТ может сохраняться и концентрироваться в живых тканях организмов, он непрерывно будет представлять опасность (Химия окружающей среды, 1982). В связи с воздействием ДДТ на популяции диких животных и птиц (особенно хищных) в 1970-е годы многие страны постепенно отказались от его применения. В некоторых регионах мира до последнего времени продолжали использовать этот пестицид для борьбы с малярией (Диагностический анализ состояния..., 2011).

ДДТ и его метаболиты включены в список ограничений Стокгольмской конвенции в 2001 г. Россия ратифицировала Стокгольмскую конвенцию в 2011 г. (ФЗ № 164 от 27.06.2011 «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких

органических загрязнителях») (Запечалов, 2018). С 1980 по 2000 г. объемы эмиссии ДДТ в северном полушарии уменьшились в 400 раз.

В техническом ДДТ преобладающим компонентом является изомер *p,p'*-ДДТ (77,7 %). В результате физико-химических и биологических процессов, происходящих в море, *p,p'*-ДДТ трансформируется в более стойкие метаболиты ДДД и ДДЕ (Кольский залив: освоение..., 2009). Хлорорганические пестициды типа ДДТ в поверхностных водах присутствуют преимущественно в сорбированном состоянии (Израэль, Цыбань, 2009).

Из группы стойких органических соединений, подпадающих под действие Стокгольмской конвенции, в программы наблюдения Росгидромета до недавнего времени были включены только ДДТ и гексахлорбензол. Также они вошли в программы контроля состояния загрязнения почв пестицидами, ДДТ – в контроль состояния загрязнения морей и фонового загрязнения атмосферы (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) морских рыб общее содержание (сумма) ДДТ не должно превышать 0,2 мг/кг (мкг/г) сырой массы, а в печени – 3,0 мг/кг.

За общее содержание ДДТ (Σ ДДТ), отображенное на картах атласа, принимали сумму содержания его метаболитов: *o,p'*-ДДЕ; *p,p'*-ДДЕ; *o,p'*-ДДД; *p,p'*-ДДД; *o,p'*-ДДТ, *p,p'*-ДДТ.

Хлордан относится к группе хлорорганических пестицидов. Является токсикантом глобального распространения, не имеющим природных аналогов. Создан в качестве контактного и кишечного инсектицида широкого спектра действия и протравителя (Вредные вещества в промышленности, 1976). Широко использовался для защиты от насекомых-вредителей картофеля, технических и зерновых культур, овощей и фруктов, газонов, садовых насаждений и борьбы с термитами (ATSDR, 1994).

Хлордан как разновидность инсектицидов циклодиенового ряда, применяемых главным образом для борьбы с термитами, ни в Советском Союзе, ни в России по основному назначению не использовался, так как был запрещен. По решению Стокгольмской конвенции в 2001 г. имеет место глобальный запрет на его производство, применение и реализацию. Однако хлордан продолжали использовать в некоторых странах, например, в Китае для уничтожения термитов при строительстве зданий и плотин. Будучи очень устойчивым в окружающей среде, хлордан может переноситься атмосферными потоками на дальние расстояния (Мельников, 1974; Диагностический анализ состояния..., 2011). Несмотря на фактическое отсутствие производства и применения хлордана, остаточное его количество по-прежнему поступает в атмосферу из почвы. Так, хлордан и его метаболит гептахлорэпоксид обнаруживался в Арктике в середине 1990-х годов (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Хлордан классифицируется как вещество, относительно которого имеются свидетельства разрушительного влияния на иммунную систему в здоровом организме и, возможно, канцерогенное воздействие на человека (Regionally based assessment..., 2002).

За содержание хлорданов в гидробионтах Баренцева моря, отображенное на картах атласа, принимали сумму изомеров: *цис*-, *транс*-хлордан; *цис*-, *транс*-нонахлор и оксихлордан.

ПХБ. Полихлорированные бифенилы представляют собой синтетические ароматические соединения. Теоретически возможно существование 209 различных родственных соединений – конгенов, 130 из них уже идентифицированы в промышленных продуктах. ПХБ, как и другие хлорированные углеводороды, относятся к группе неприродных компонентов среды (ксенобиотикам). Природных источников поступления ПХБ в Мировой океан нет и присутствие ПХБ обусловлено хозяйственной деятельностью. Они широко используются в трансформаторах и крупных конденсаторах в качестве диэлектриков, гидравлических системах и системах теплопередачи, рецептуре трансформаторных, смазочных и охлаждающих масел, пестицидов, а также как пластификаторы в красителях, копировальной бумаге, клее и пластических массах (Израэль, Цыбань, 2009; Занавескин, Аверьянов, 1998). ПХБ очень устойчивы в окружающей среде и имеют период полураспада на открытом воздухе от 10 до 100 лет, т.е. значительно больше, чем ДДТ (Другов, Родин, 2012).

Загрязнение ПХБ через атмосферу и гидросферу имеет глобальный характер, а Мировой океан играет роль «конечного резервуара» для этих соединений. Для ПХБ свойственны устойчивость к химическому и биологическому разложению в морской среде, высокий потенциал биоаккумуляции, поэтому они относятся к наиболее опасным химическим веществам – суперэкоксикантам (Израэль, Цыбань, 2009).

Среди стойких органических загрязнителей ПХБ – одни из самых распространенных, их массово производили и использовали начиная с 1929 г. С тех пор и до прекращения промышленного выпуска в 1986 г. в мире было выпущено около 2 млн т ПХБ. По решению Стокгольмской конвенции в 2001 г. существует глобальный запрет на производство и применение ПХБ. Характер и динамика распределения ПХБ в окружающей среде во многом определяются их физическими свойствами, такими как химическая инертность, достаточно высокая плотность паров и способность сорбироваться на частицах. Несмотря на постепенное сокращение использования ПХБ в хозяйственной деятельности, они продолжают загрязнять окружающую среду (Клюев, Бродский, 2000). Недавно установлено, что источниками загрязнения ПХБ могут быть морские и речные порты и отслужившие срок военные объекты, например радиолокационные станции, авиационные базы, «кладбища» кораблей и др. (Кольский залив: освоение..., 2009; Диагностический анализ состояния..., 2011).

При воздействии ПХБ на организмы отмечены нарушения уровня коллагена, кальция и фосфора. По общему характеру влияния эти соединения относят к наркотикам, так как они поражают клетки нервной системы, при хроническом воздействии в малых концентрациях – органы выделения и пищеварения, а при длительном влиянии могут быть причиной мутагенных нарушений (Филенко, Михеева, 2007).

В арктических регионах ПХБ переносятся воздушными потоками из средних широт и интенсивно накапливаются в объектах окружающей среды. Низкие температуры воздуха и поверхности земли в Арктике, снежный покров и отсутствие света продолжительной зимой резко замедляют интенсивность биологической (микробной) деградации и ассимиляции (Диагностический анализ состояния..., 2011).

Согласно ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), в мышцах (филе, фарш) морских рыб общее содержание (сумма) ПХБ не должно превышать 2,0 мг/кг (мкг/г) сырой массы, а в печени – 5,0 мг/кг.

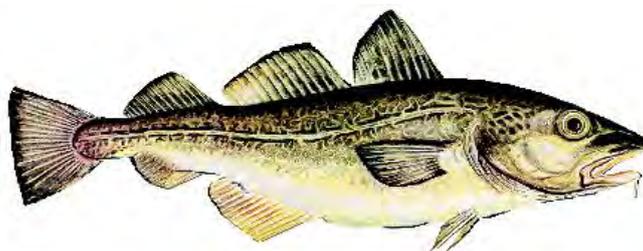
За общее содержание ПХБ (Σ ПХБ), показанное на картах атласа, принимали сумму его конгенов с номерами по номенклатуре IUPAC 28, 31, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180.

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБАХ

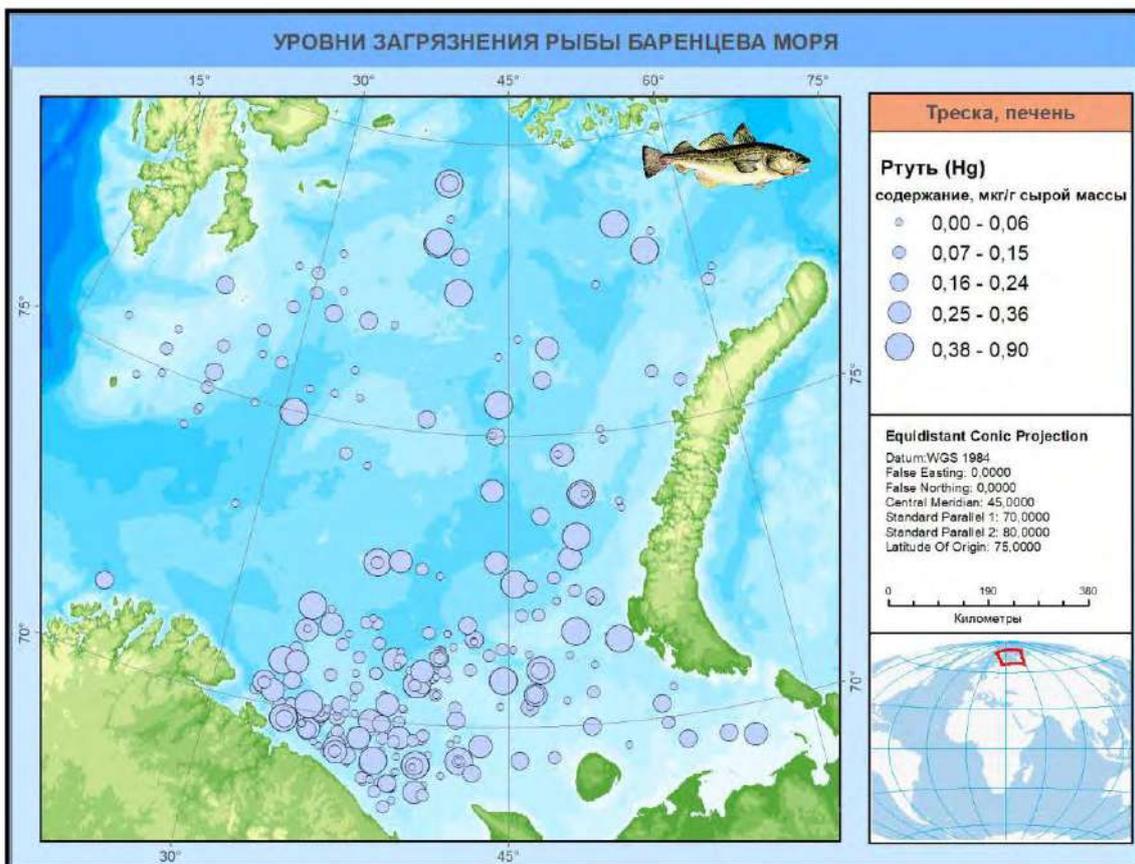
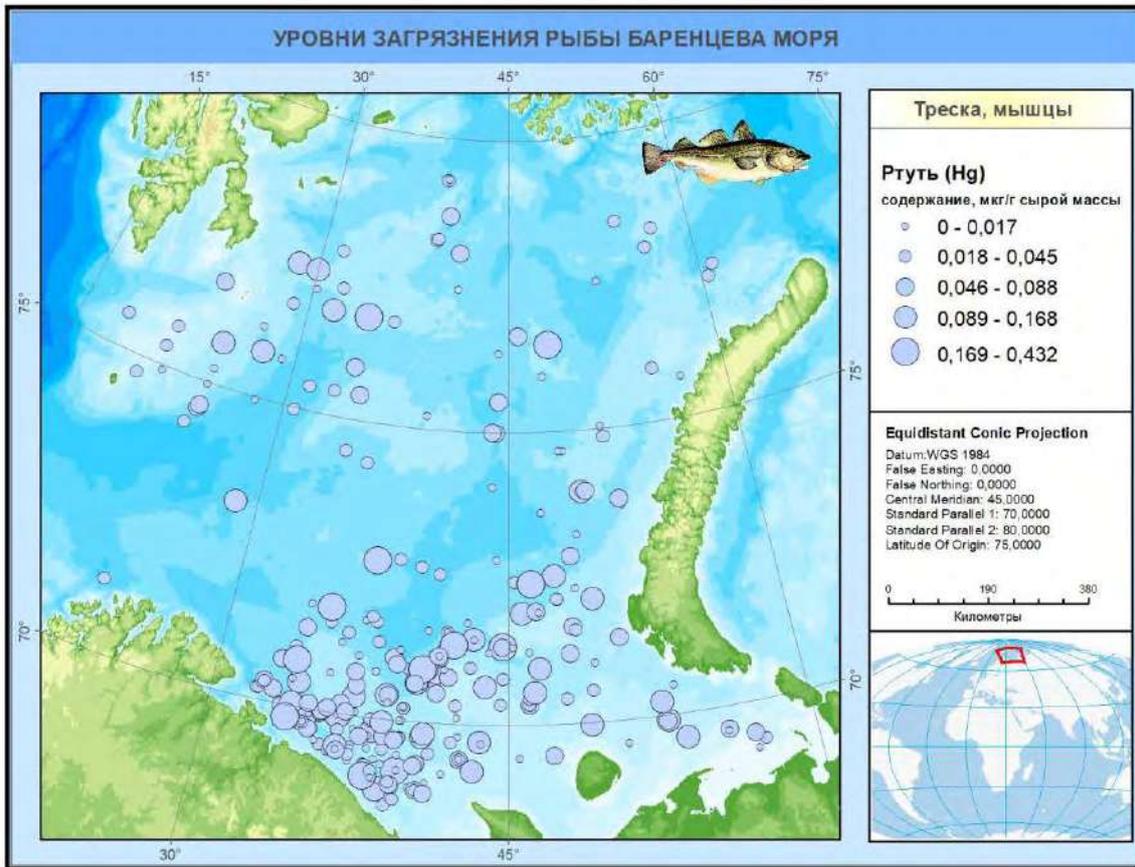
Треска

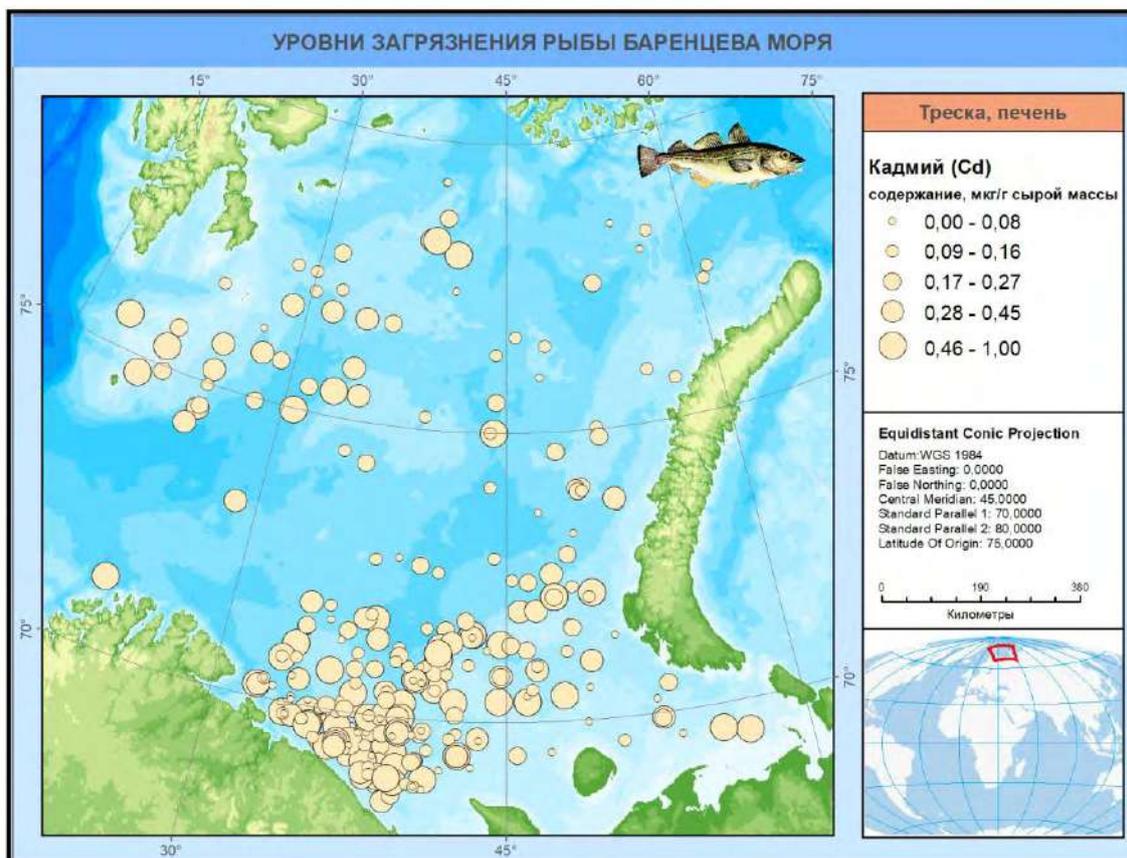
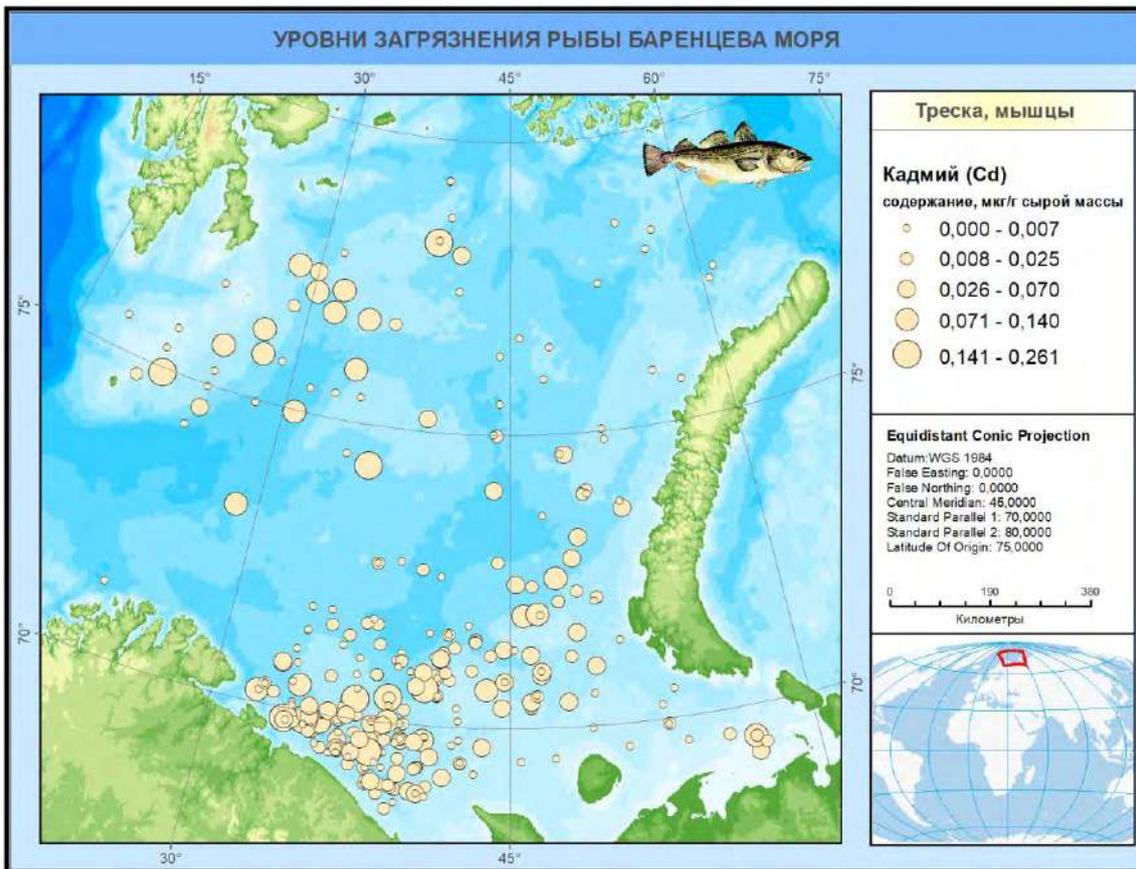
Атлантическая треска (*Gadus morhua*). Рыба из отряда Трескообразных (*Gadiformes*). Треска – пелагический, преимущественно бореальный атлантический вид. Длина тела – до 1,8 м, масса – до 40 кг. В промысле преобладает рыба длиной 40-80 см, в возрасте 3-10 лет. Треска встречается от прибрежной полосы до континентального шельфа, но в открытом море над большими глубинами – редко. Нерестится один раз в год в зимне-весенний период. Жизненный цикл привязан к атлантическим течениям. Во всем ареале треска образует несколько обособленных популяций. В Баренцевом море обитает северо-восточная арктическая популяция атлантической трески (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Основу питания трески Баренцева моря составляют планктоноядные рыбы – мойва, сайка, сельдь, молодь пикши, окуня, трески (каннибализм) и др. Летом она часто кормится эвфаузиевыми рачками, гипериидами и креветками, реже – донными ракообразными (Треска Баренцева моря..., 2003). Треска – основной промысловый объект в Баренцевом море в последние десятилетия. Общий вылов этой рыбы всеми странами за последние 10 лет (2010-2019 гг.) изменялся в пределах 610,0-986,2 тыс. т. Российский вылов в 2010 г. составил 267,5 тыс. т, после отмечались его рост до локального максимума в 2013-2014 гг. и последующее снижение (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Особенность мяса трески заключается в его плотности, нежности и низкой калорийности (около 70 ккал на 100 г). Используется для выработки пищевой продукции в свежем, мороженом, сушеном и соленом виде. Печень арктической трески – деликатесный продукт, имеет очень высокую степень жирности (48-57 %) и вследствие этого является источником рыбьего жира (Технохимические свойства..., 1997).

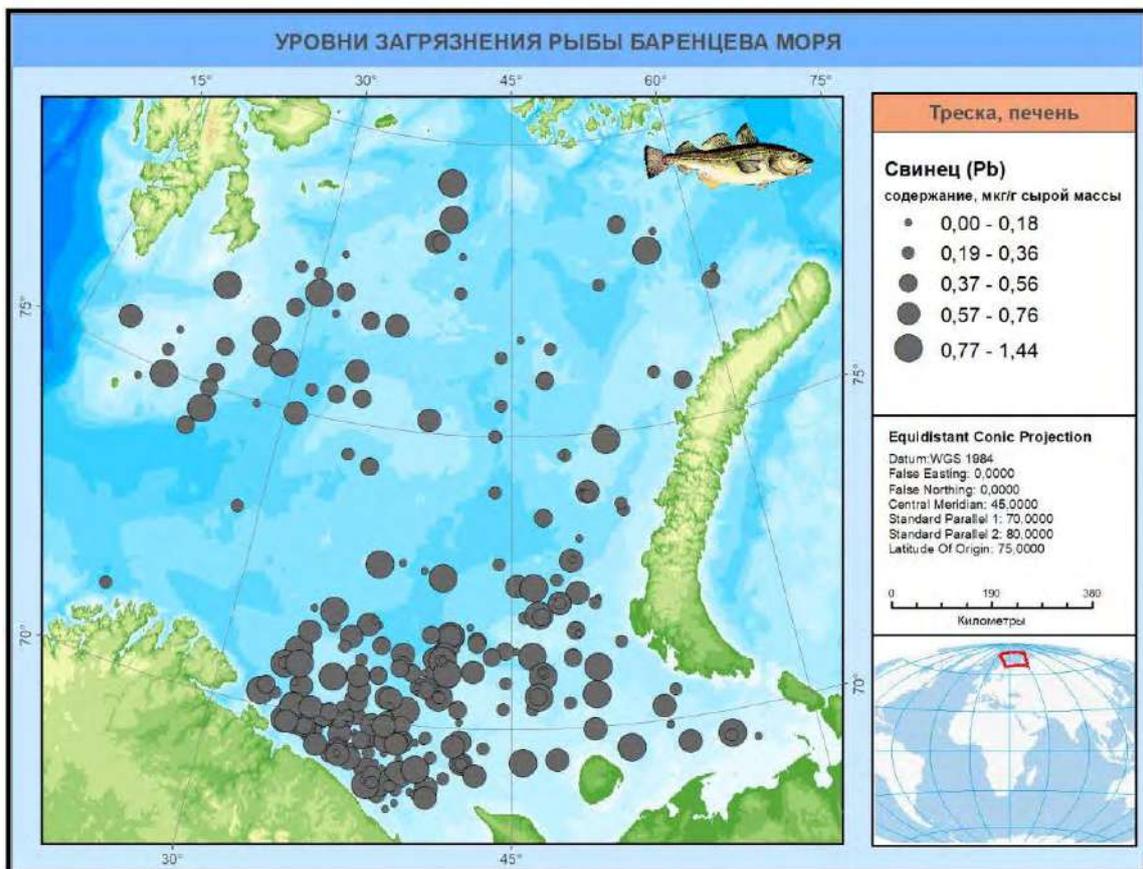
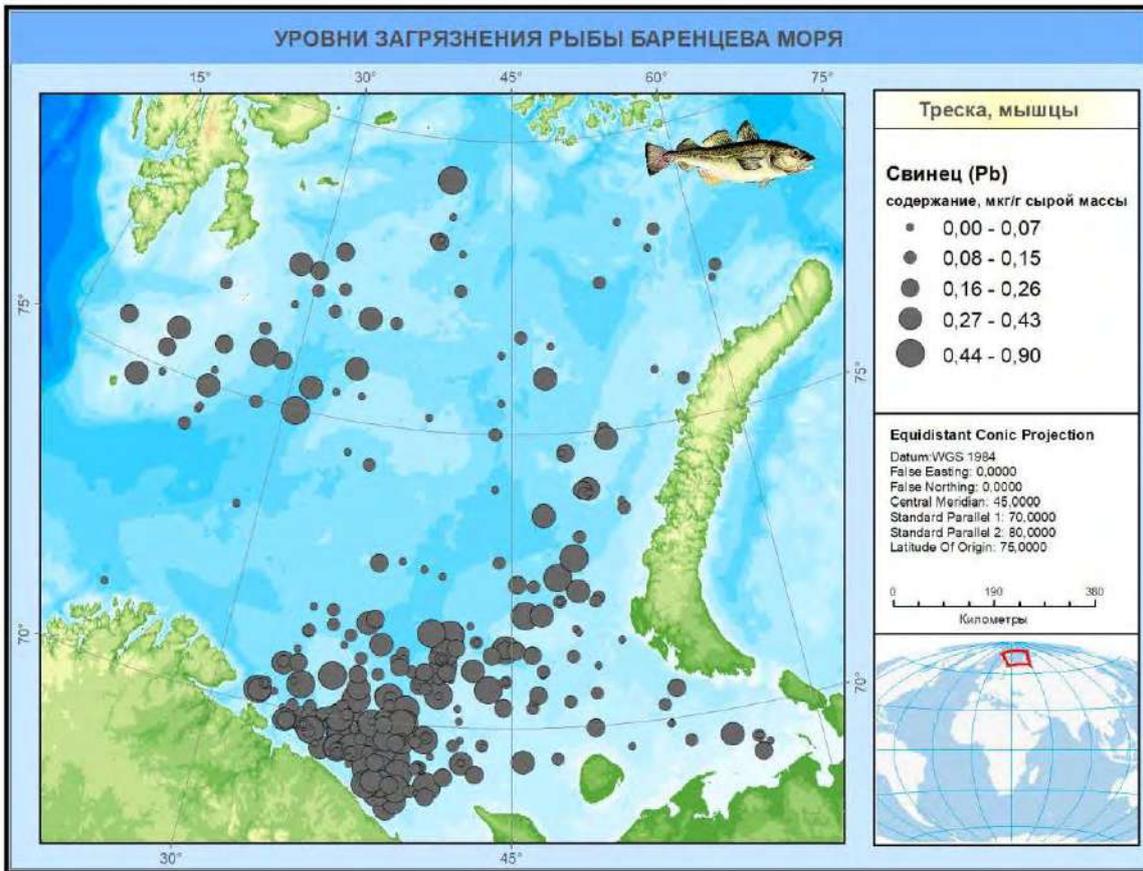
По фоновым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах трески составляет $0,043 \pm 0,056$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,022 \pm 0,038$ мкг/г, Pb – $0,19 \pm 0,18$ мкг/г, Cu – $0,44 \pm 0,24$ мкг/г, Zn – $5,44 \pm 2,69$ мкг/г, Ni – $0,22 \pm 0,16$ мкг/г, Cr – $0,26 \pm 0,21$ мкг/г, Co – $0,16 \pm 0,13$ мкг/г и As – $4,20 \pm 3,25$ мкг/г (N=401); Σ ГХЦГ – $1,32 \pm 1,90$ нг/г, ГХБ – $1,18 \pm 2,68$ нг/г, Σ ДДТ – $1,45 \pm 1,03$ нг/г, Σ ПХБ – $1,43 \pm 0,88$ нг/г и суммы хлорданов – $0,41 \pm 0,57$ нг/г сырой массы (N=404).

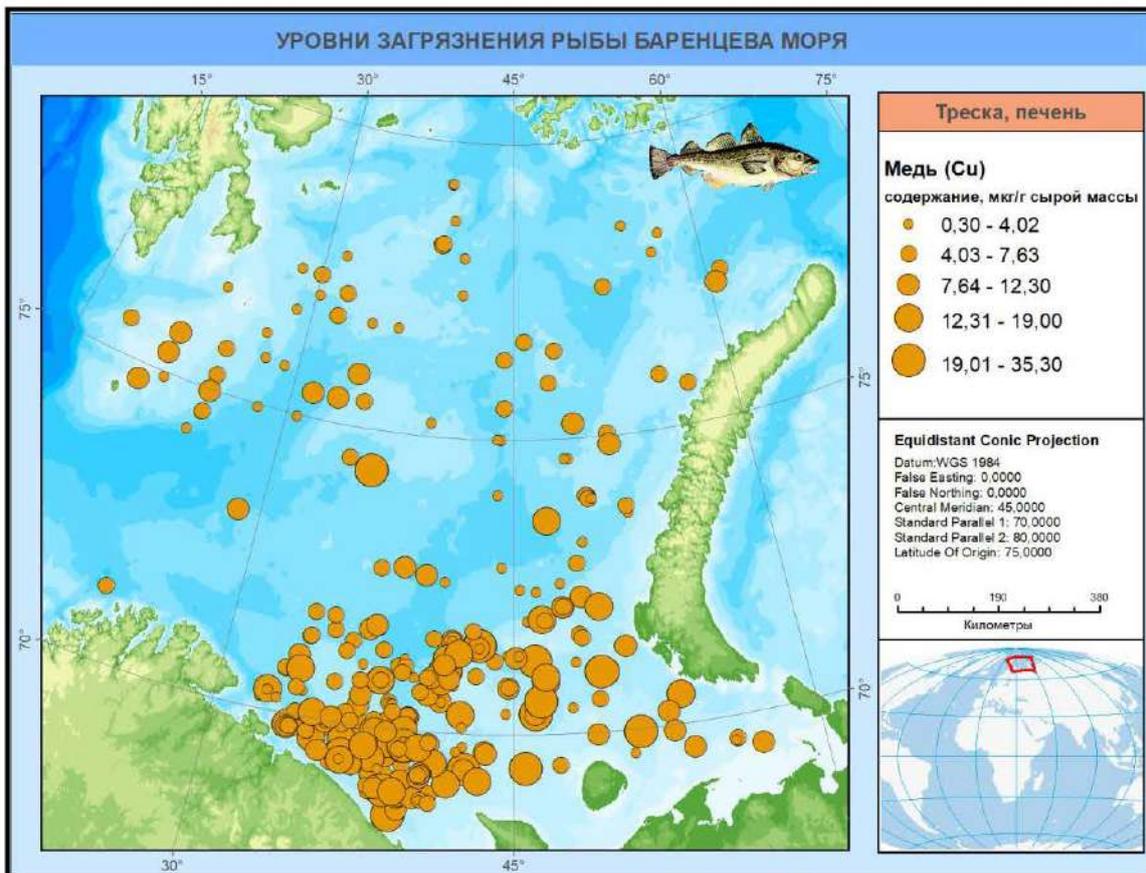
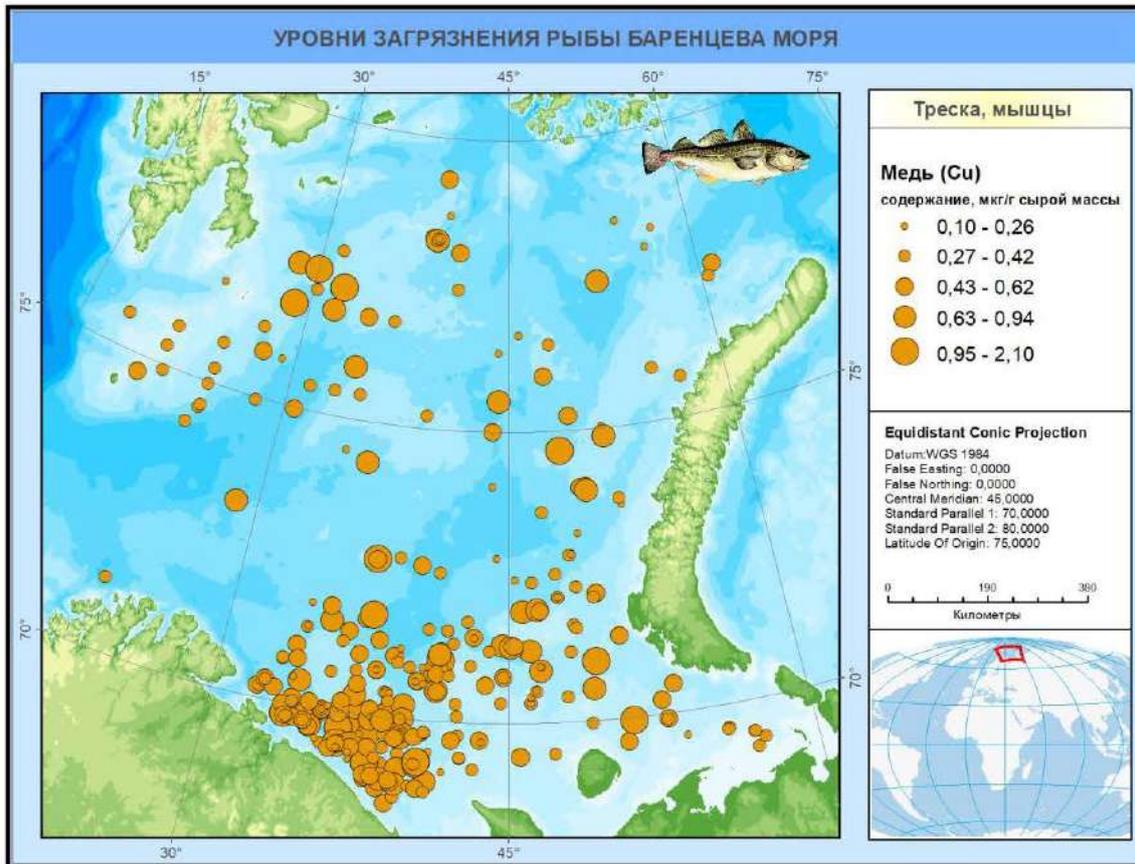


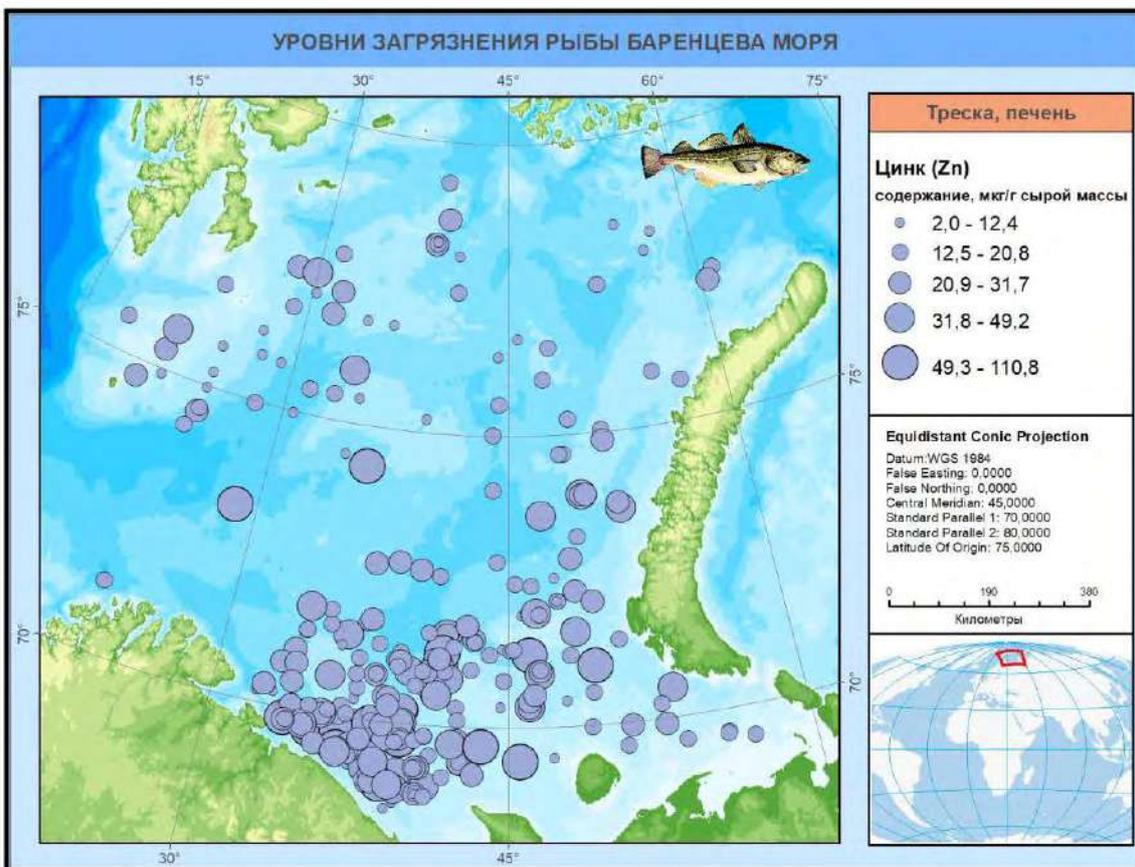
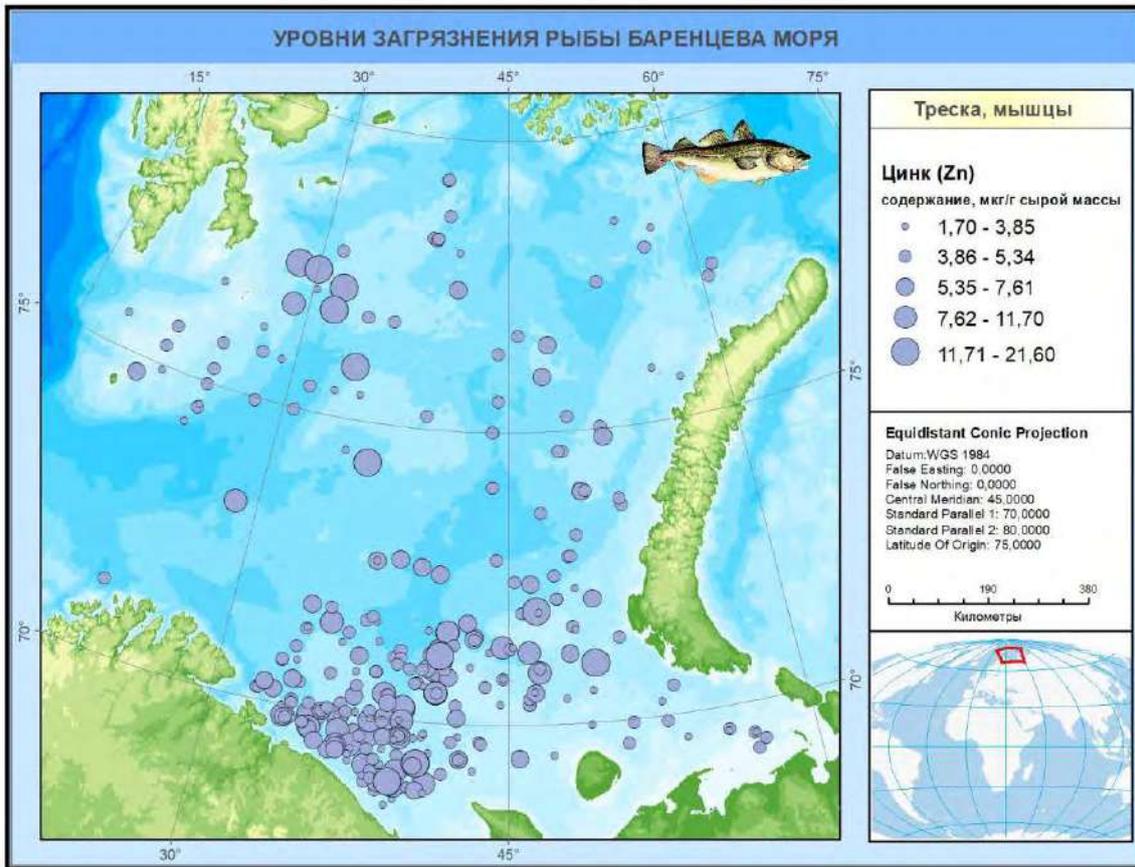
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в треске в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

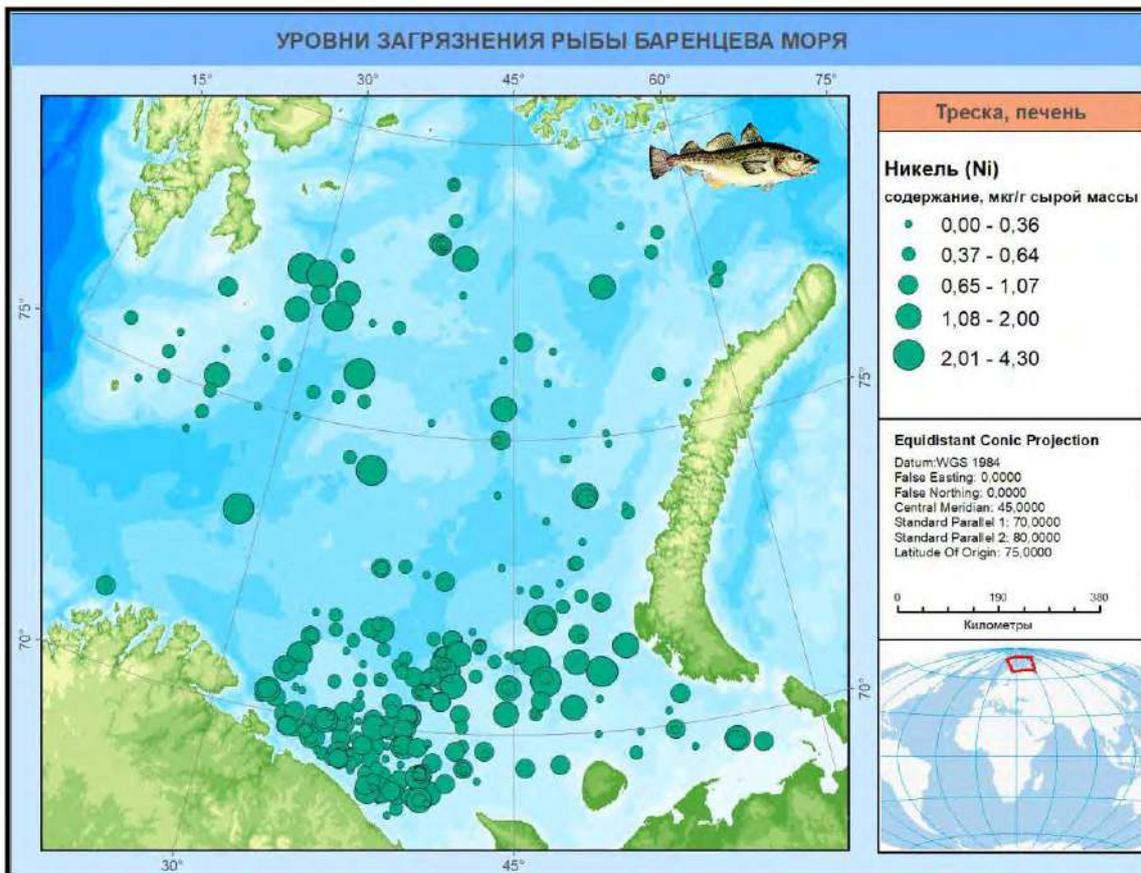
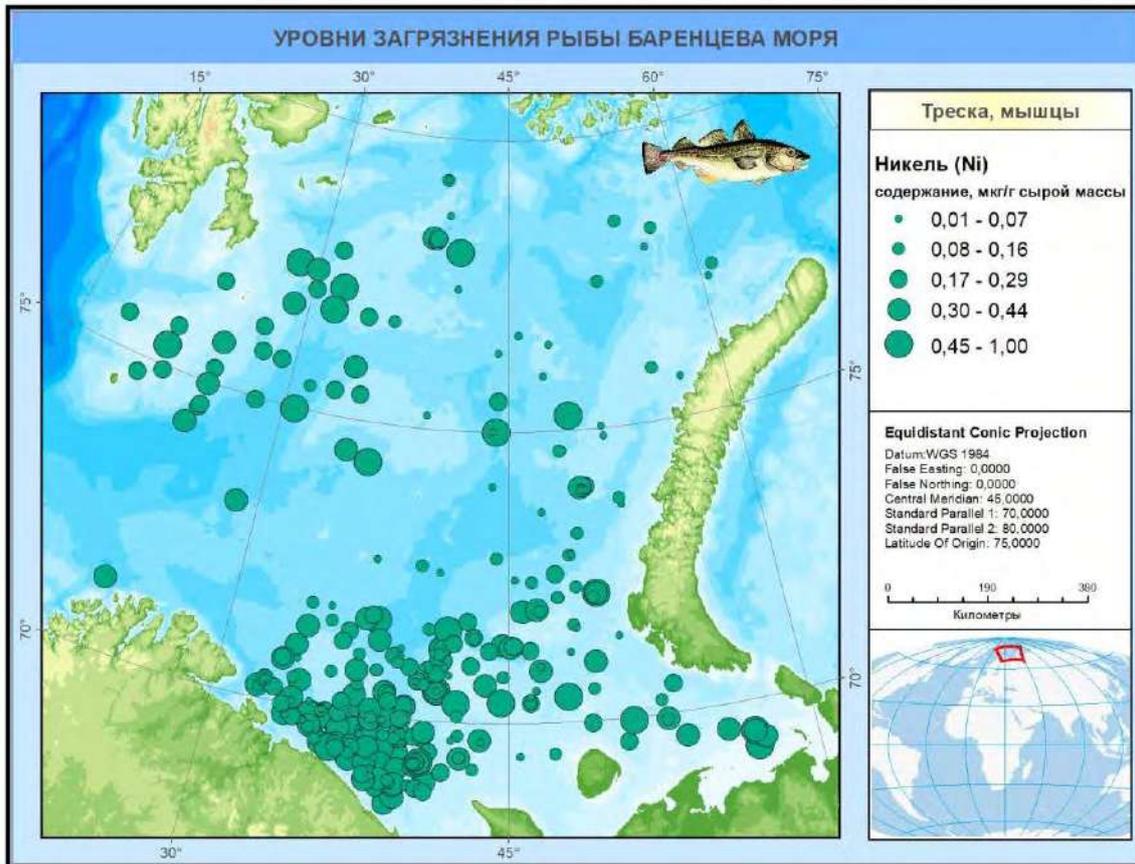


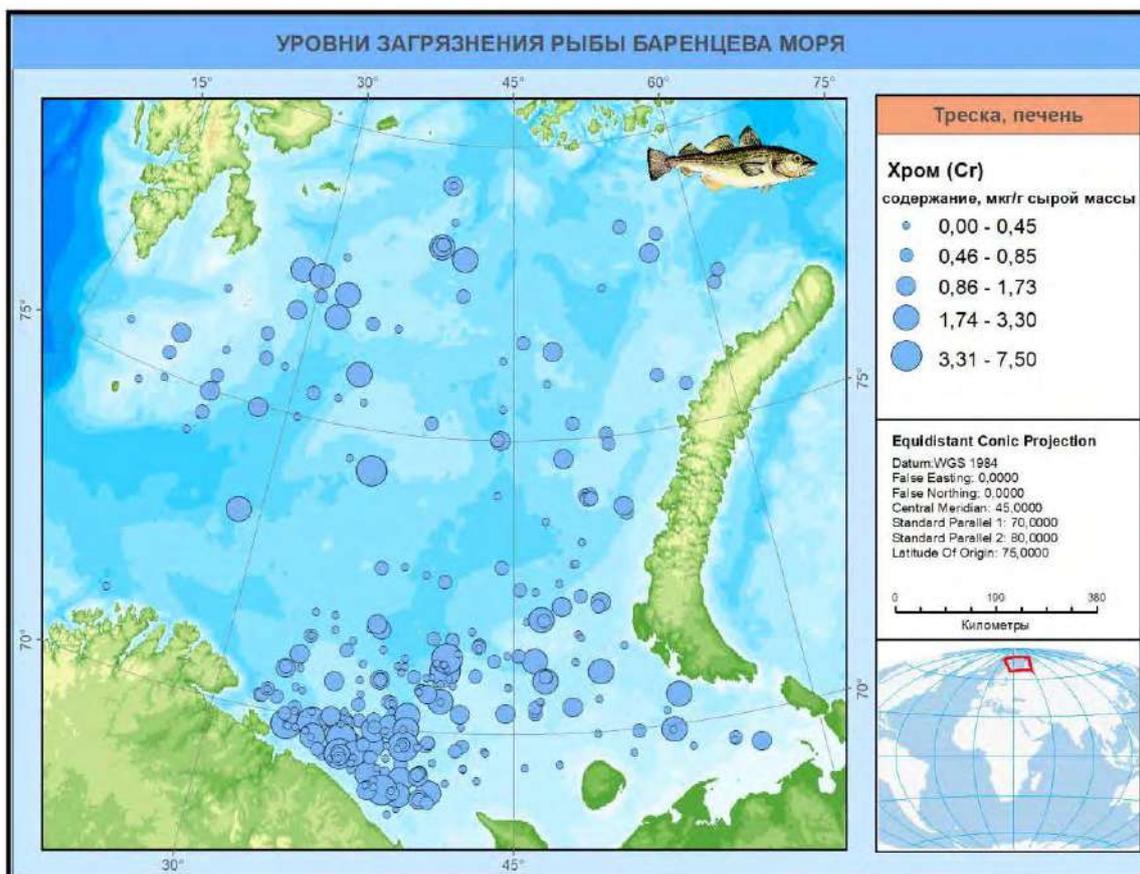
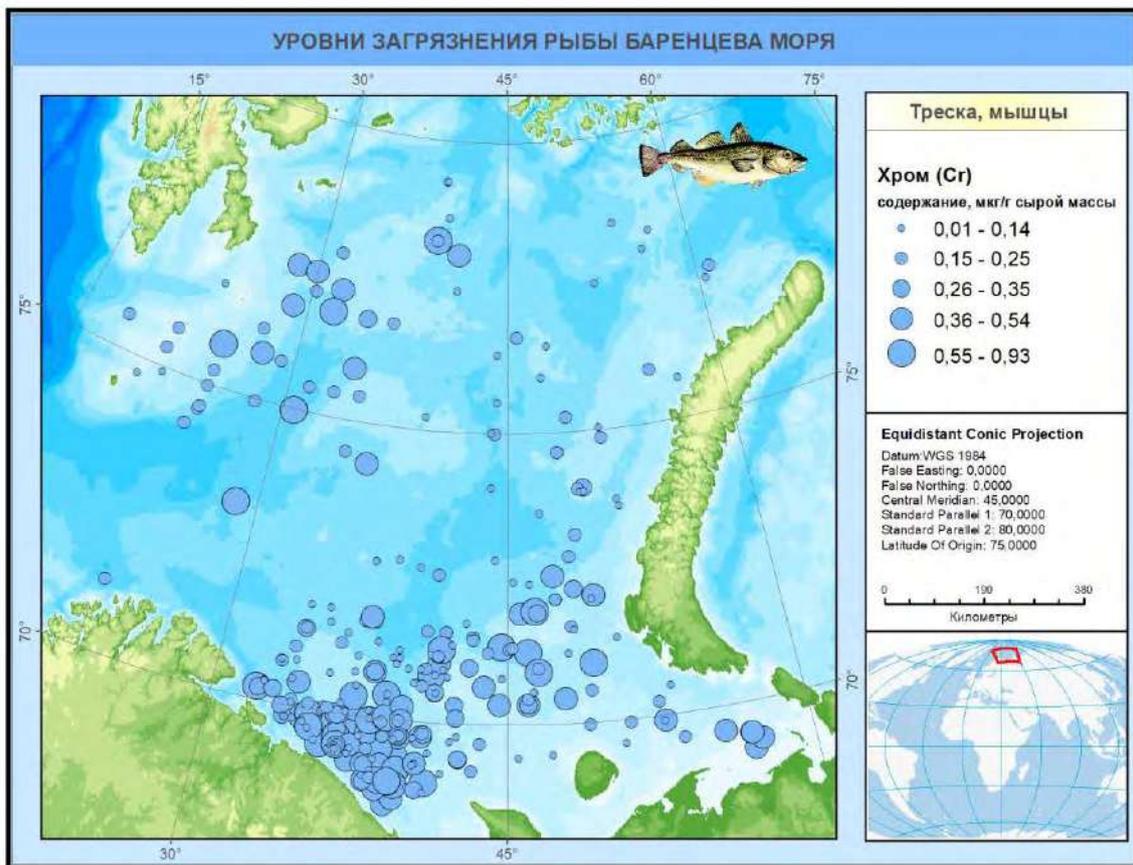


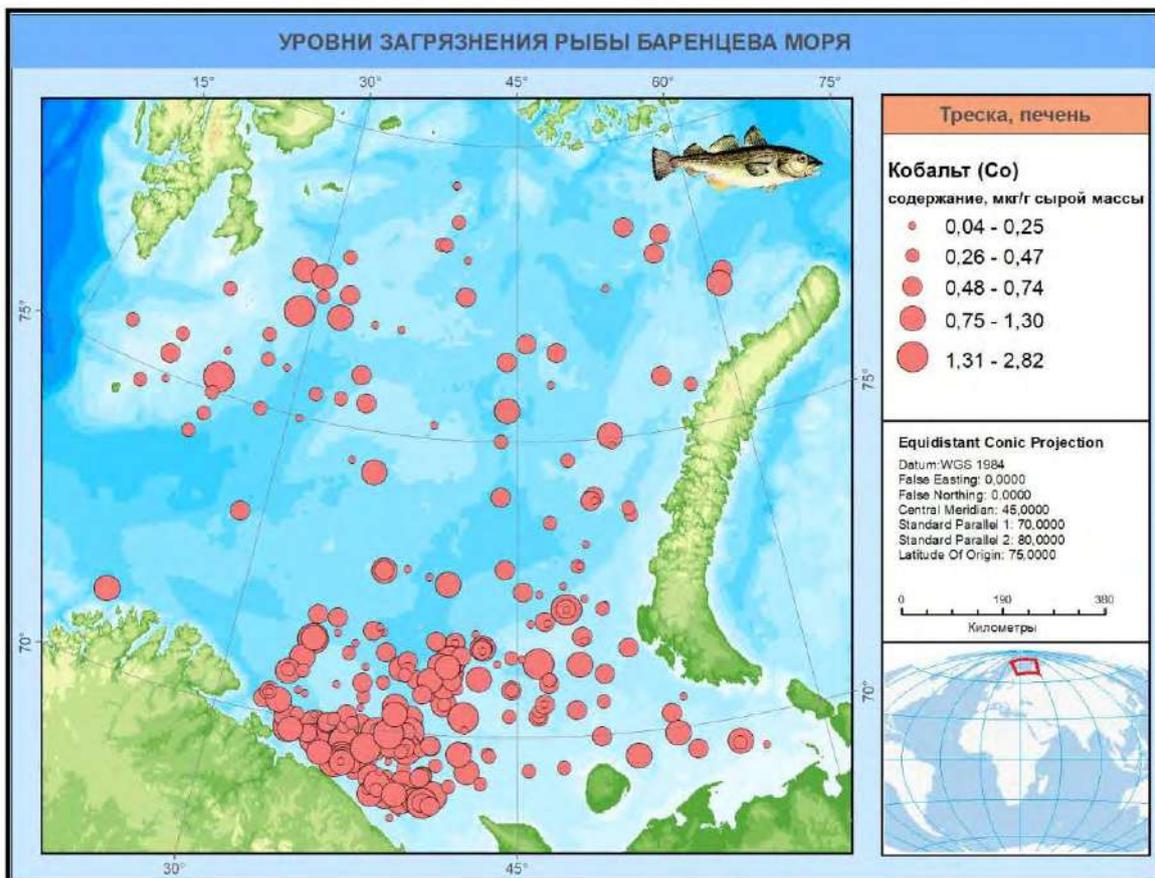
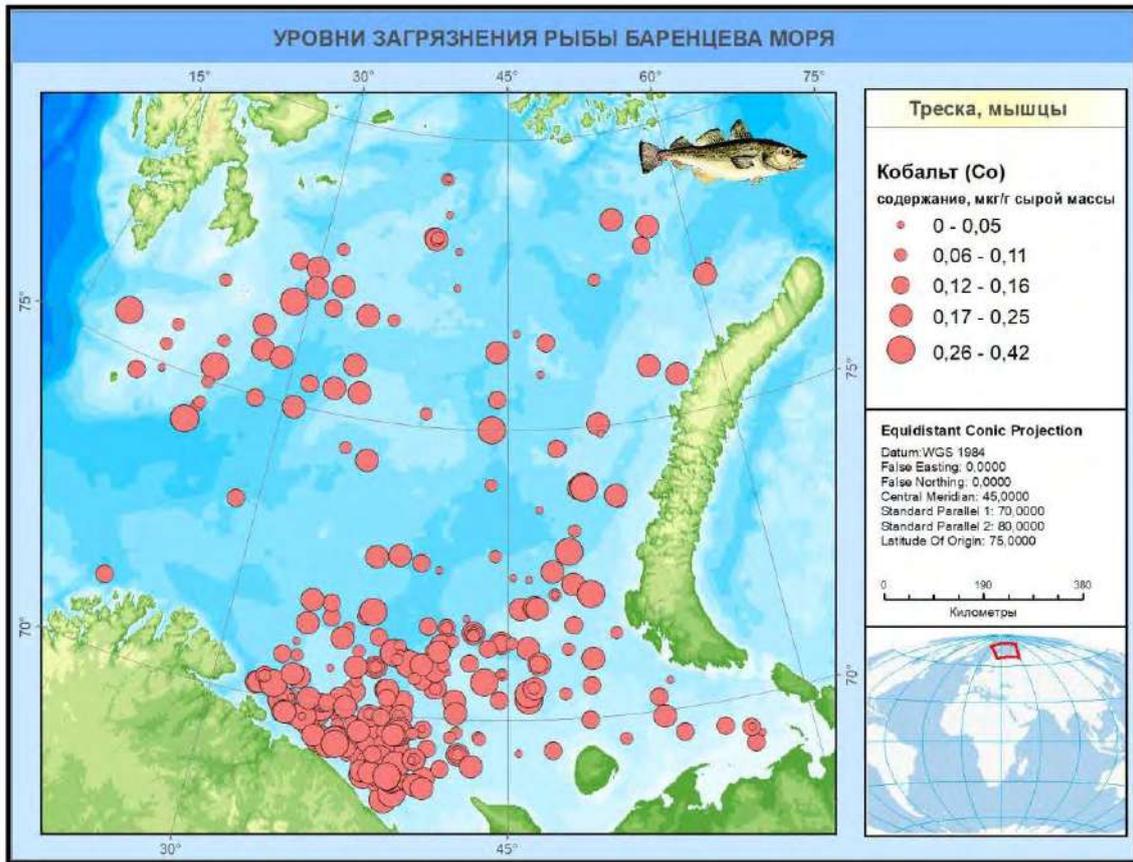


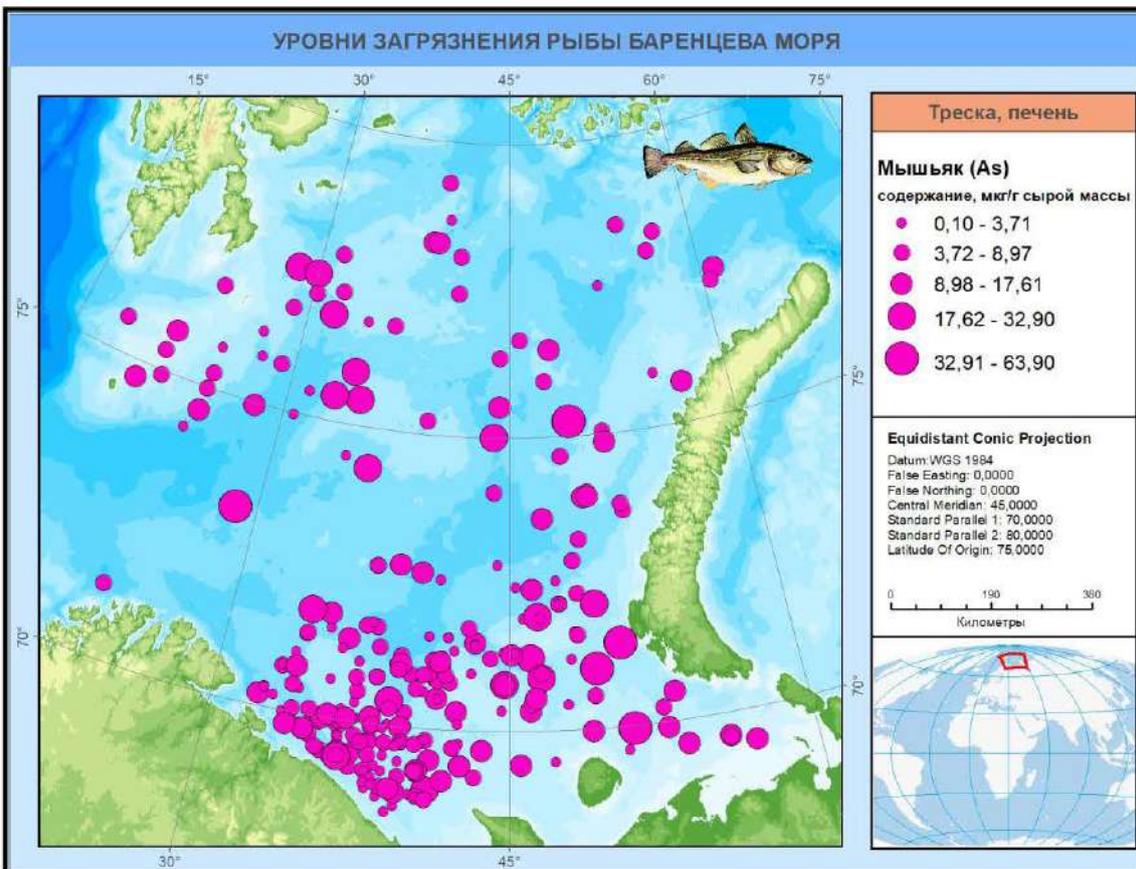
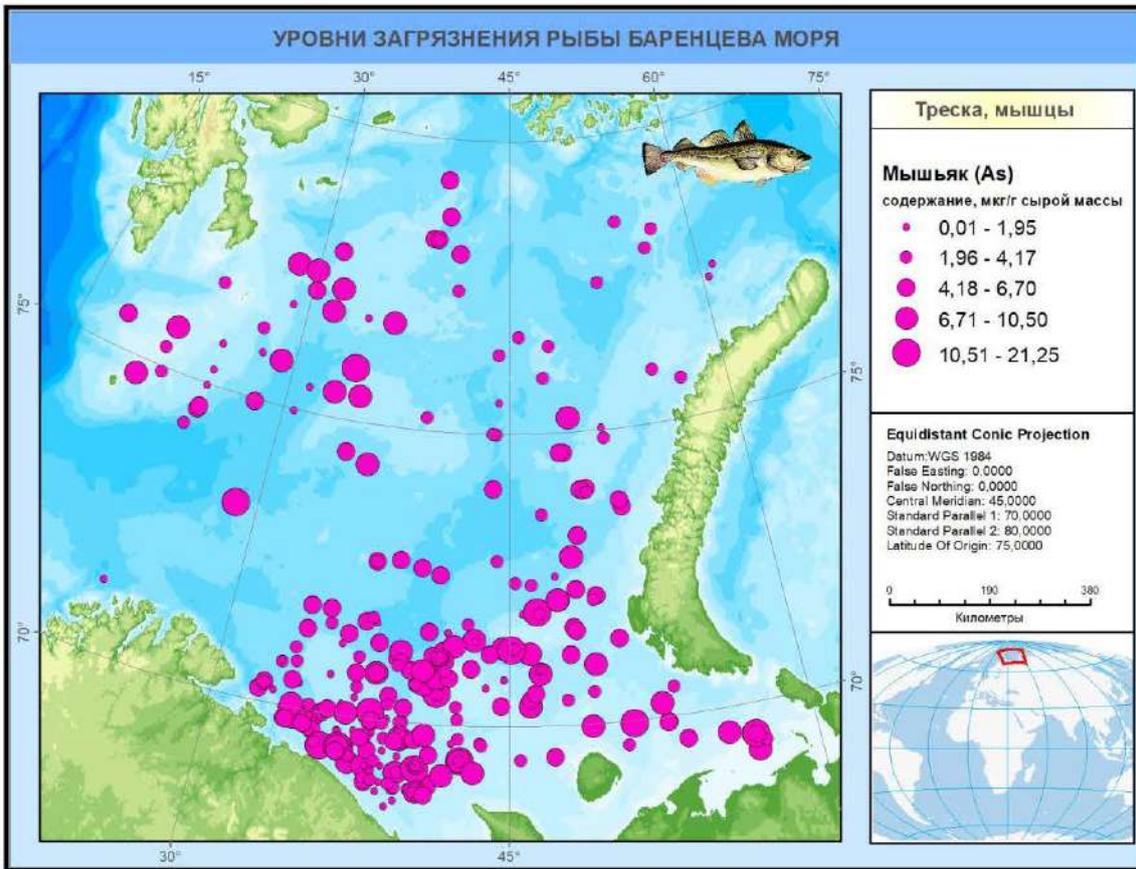


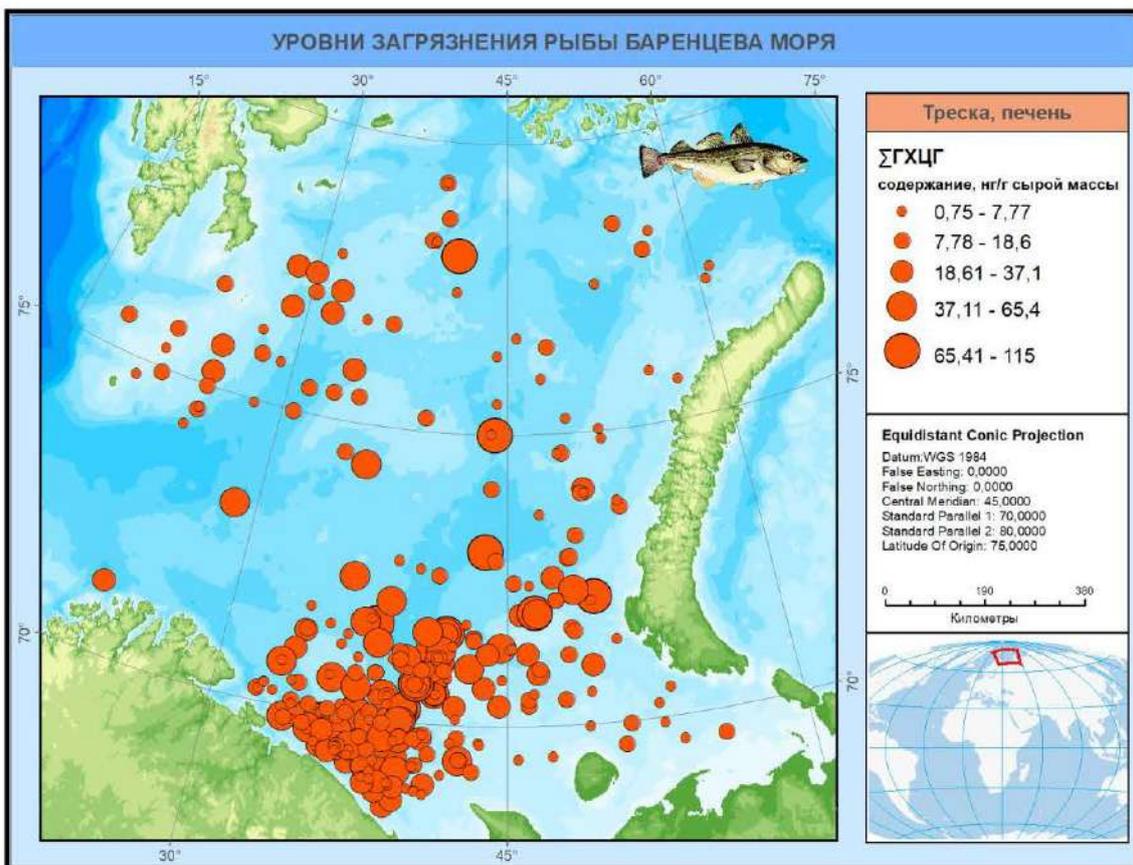
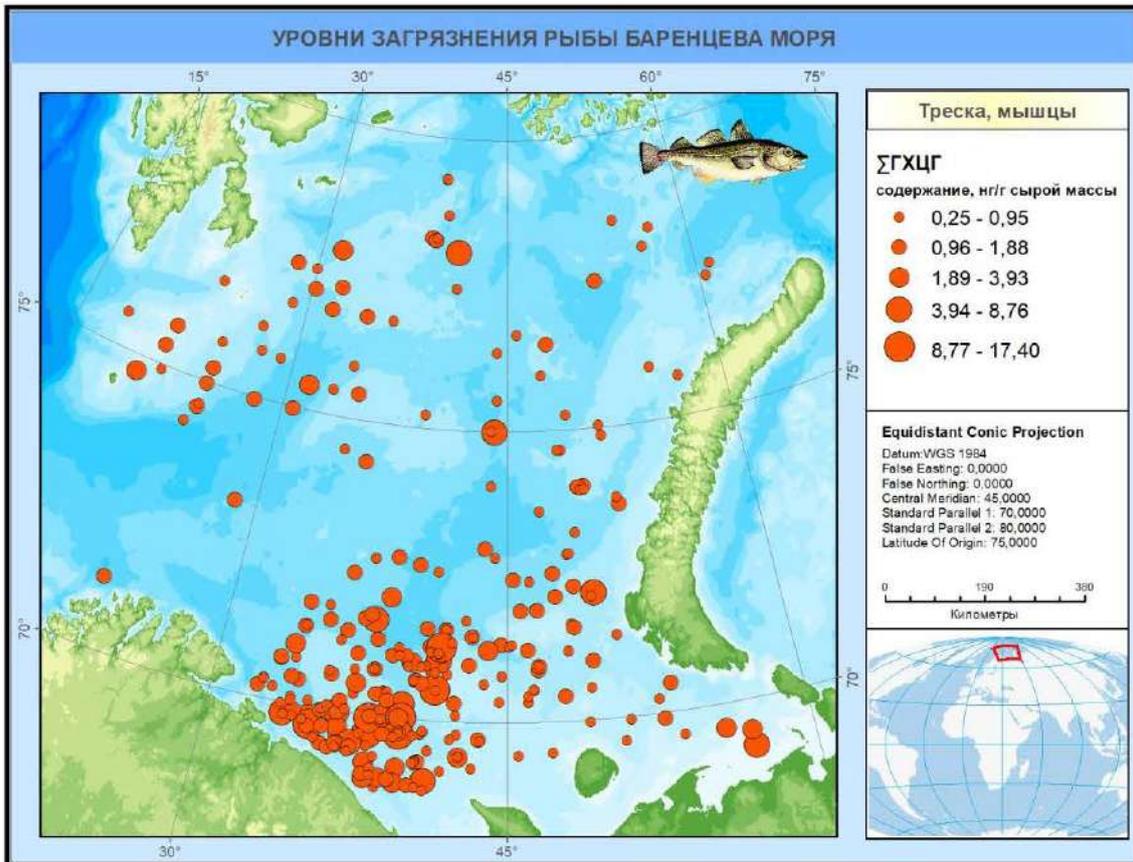


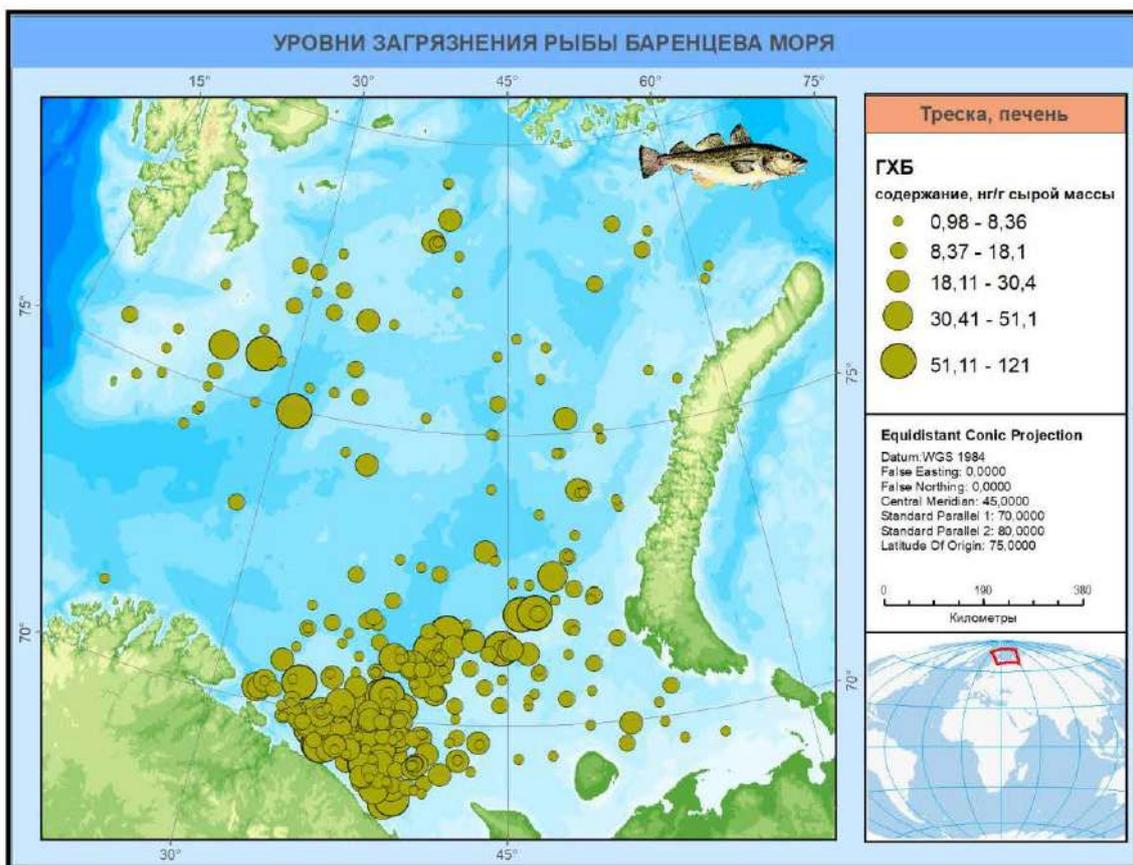
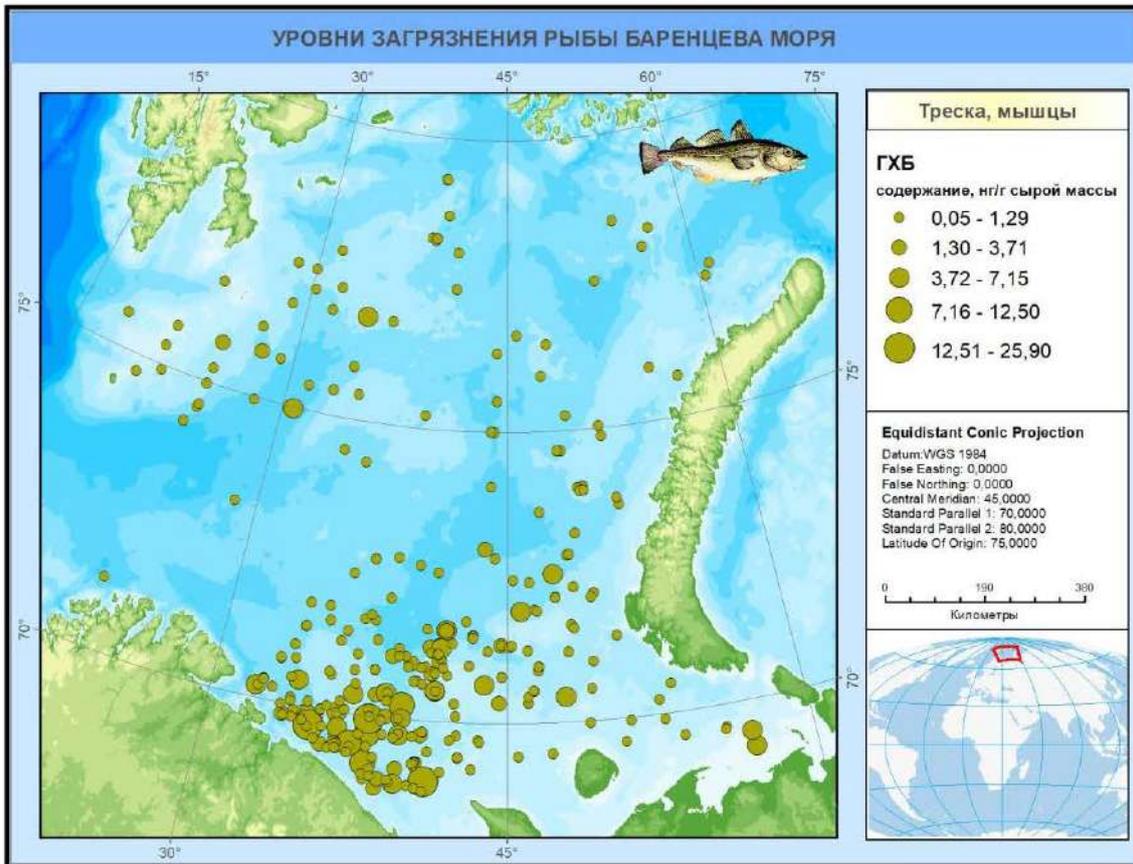


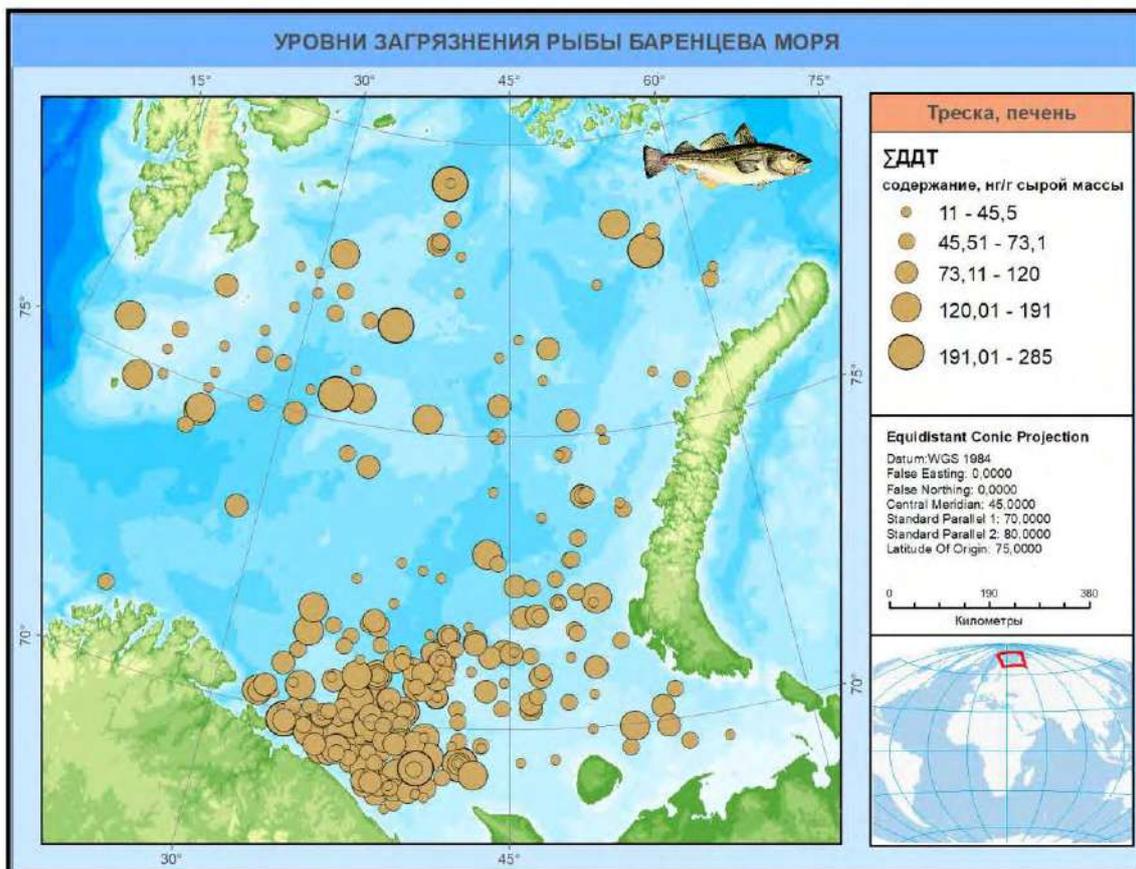
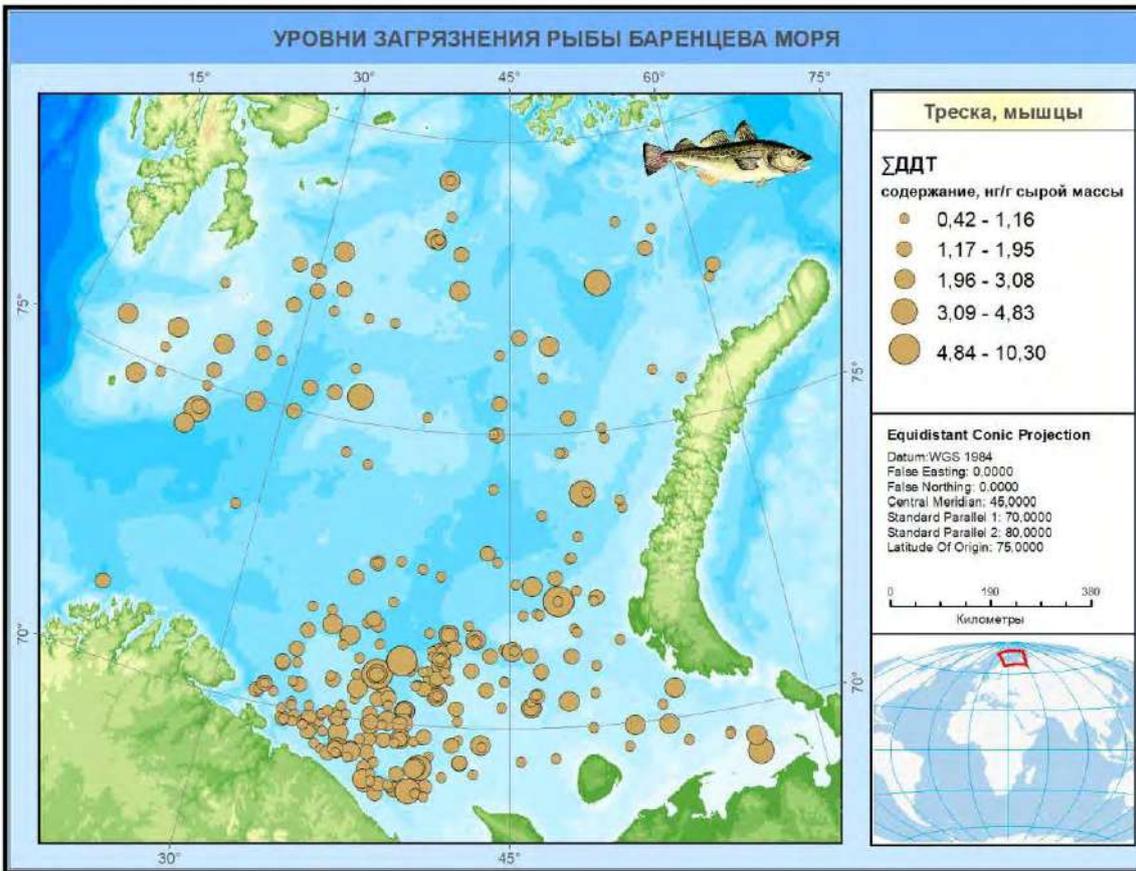


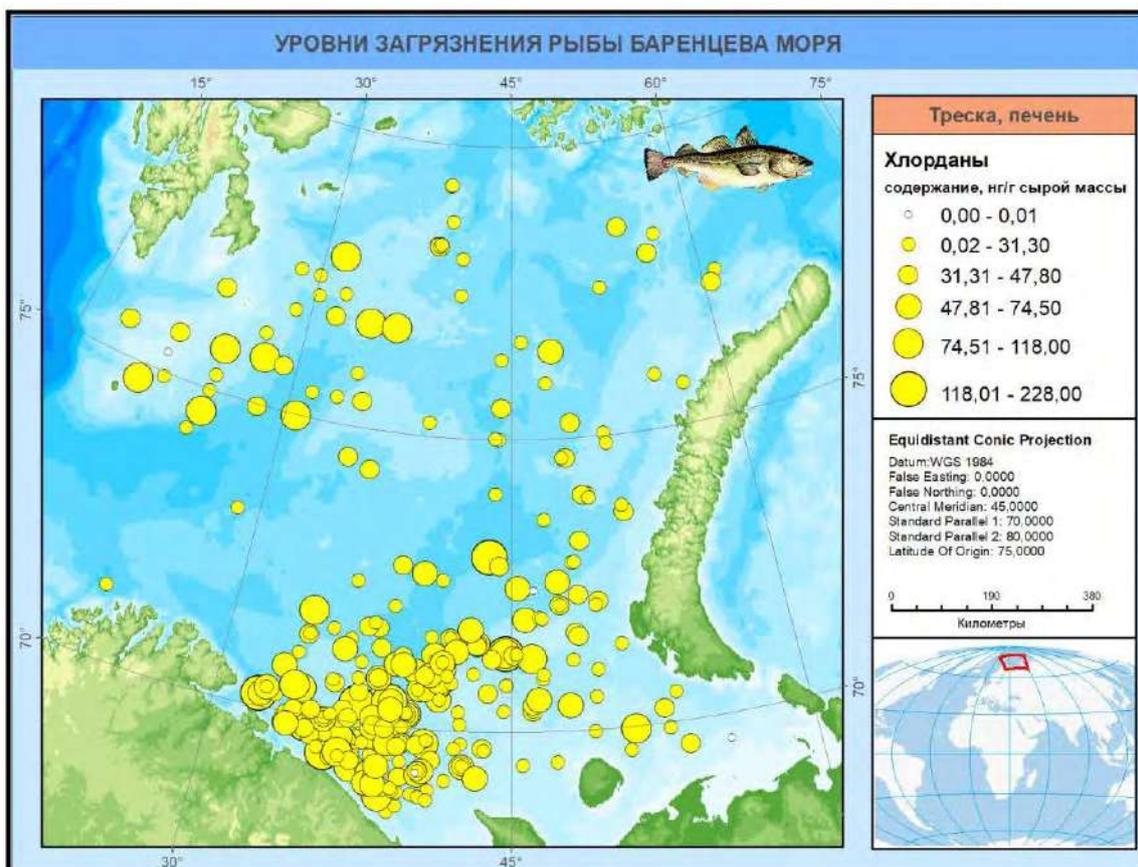
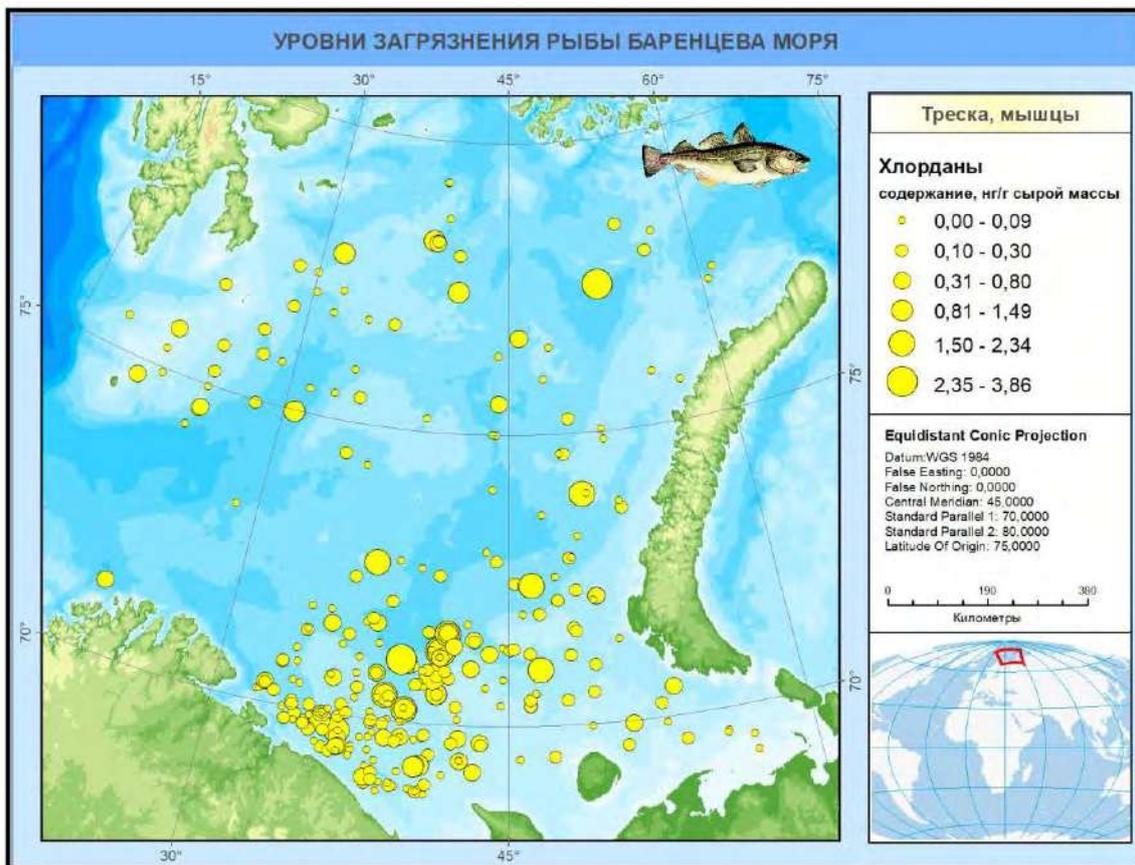


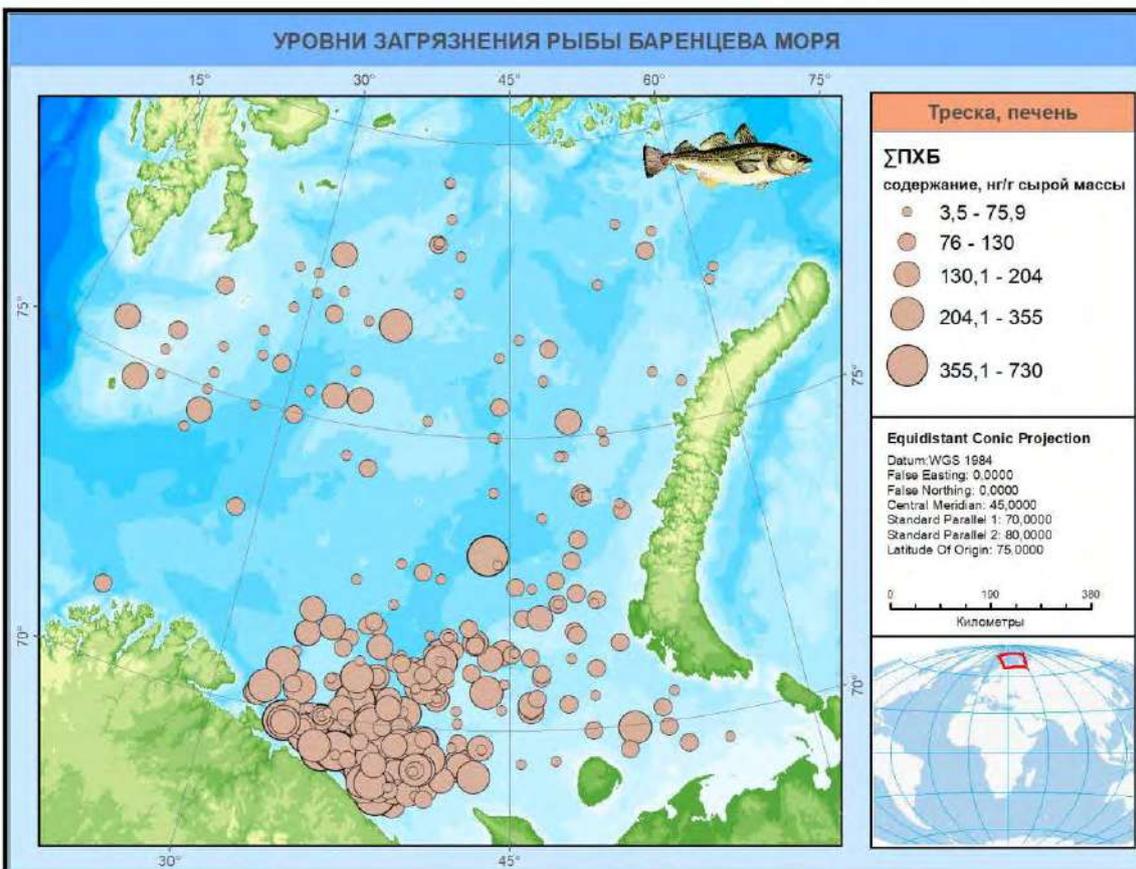
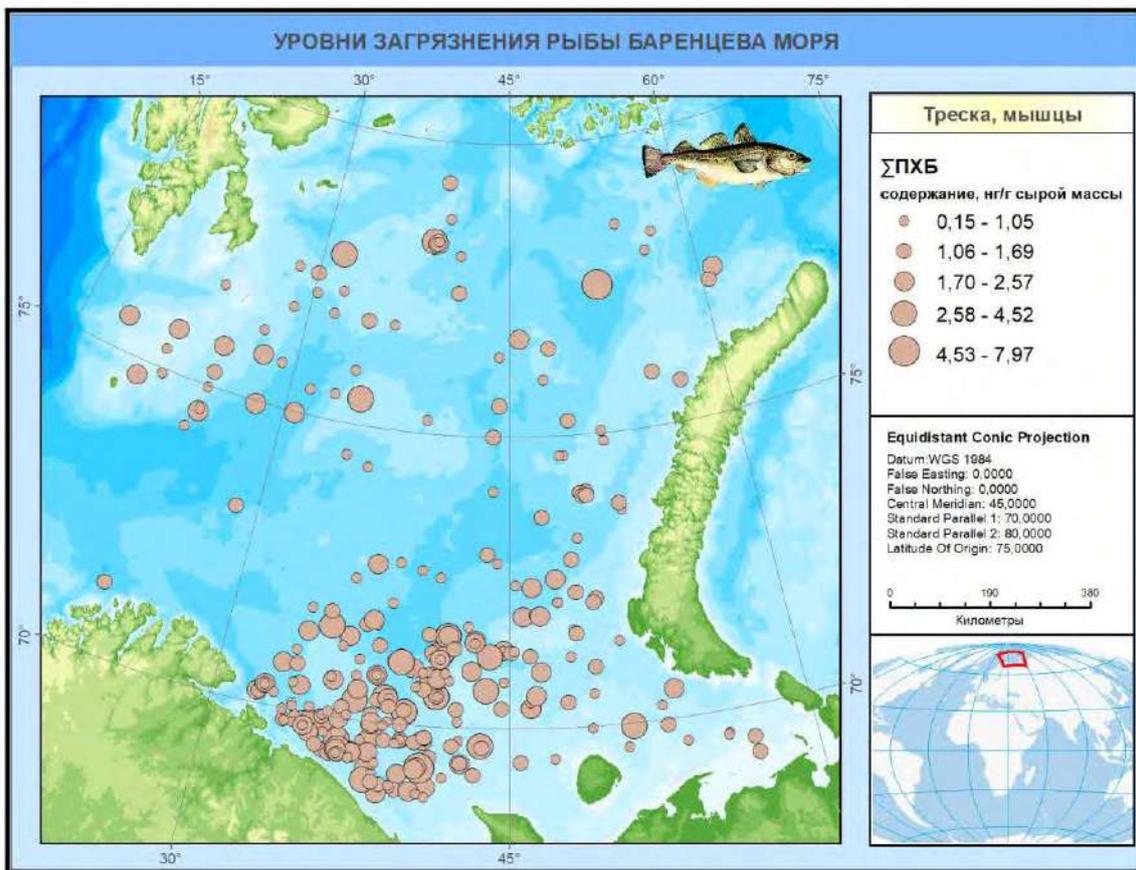








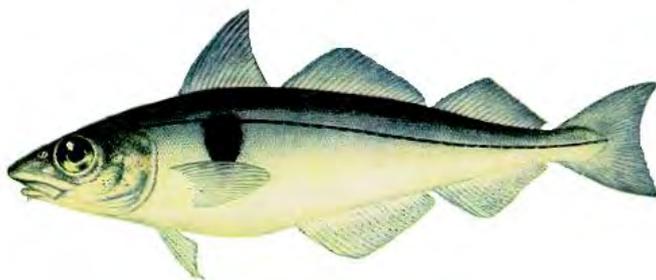




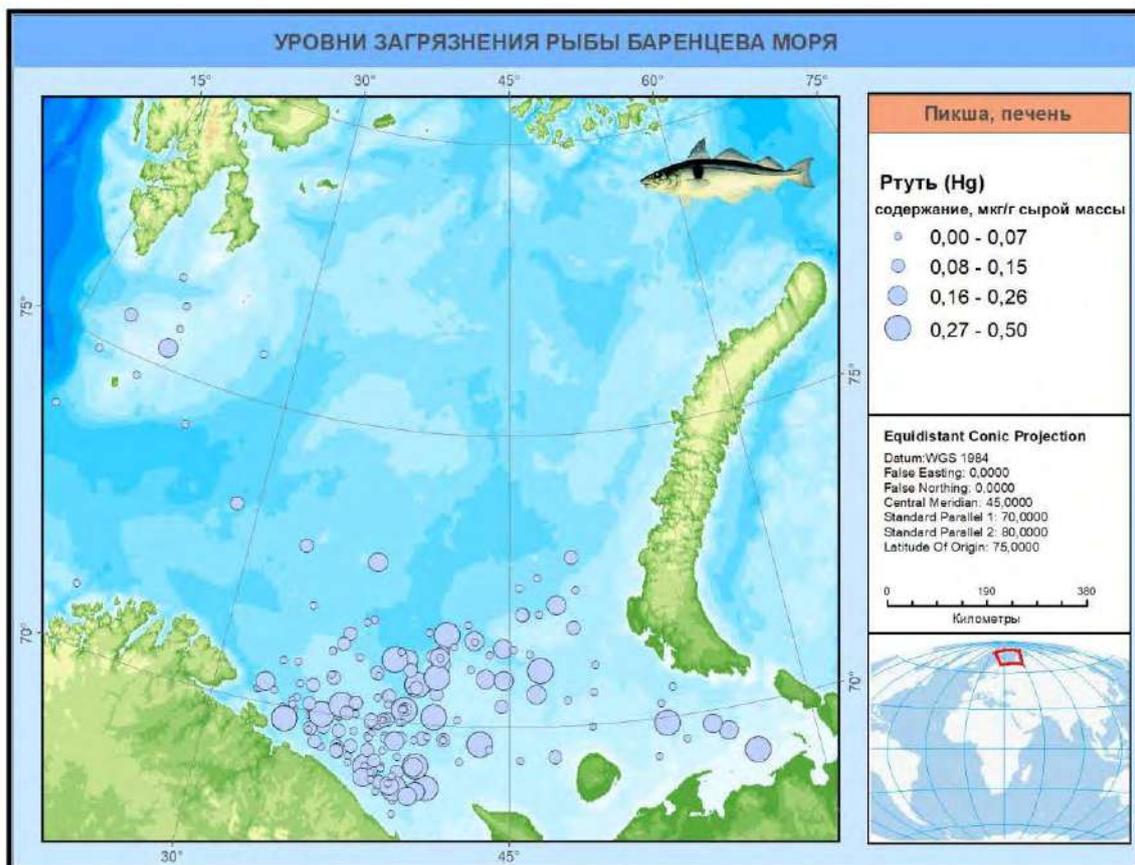
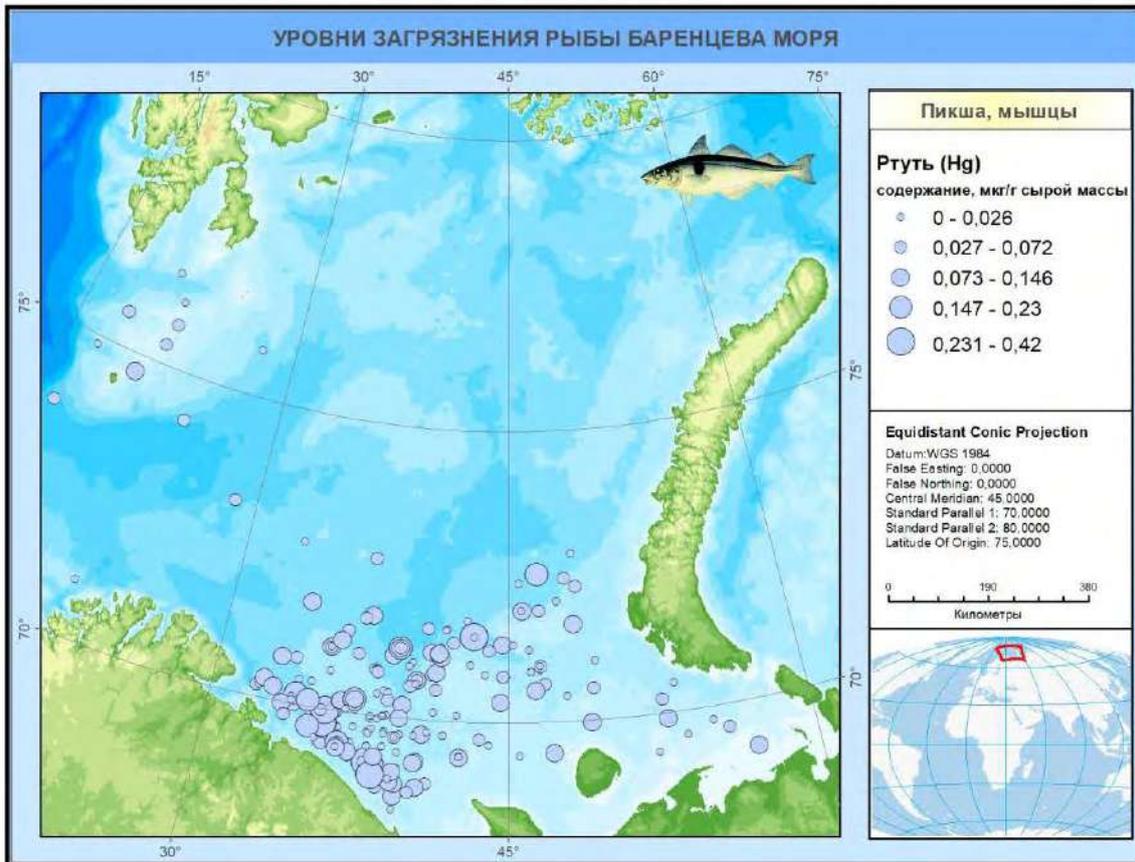
Пикша

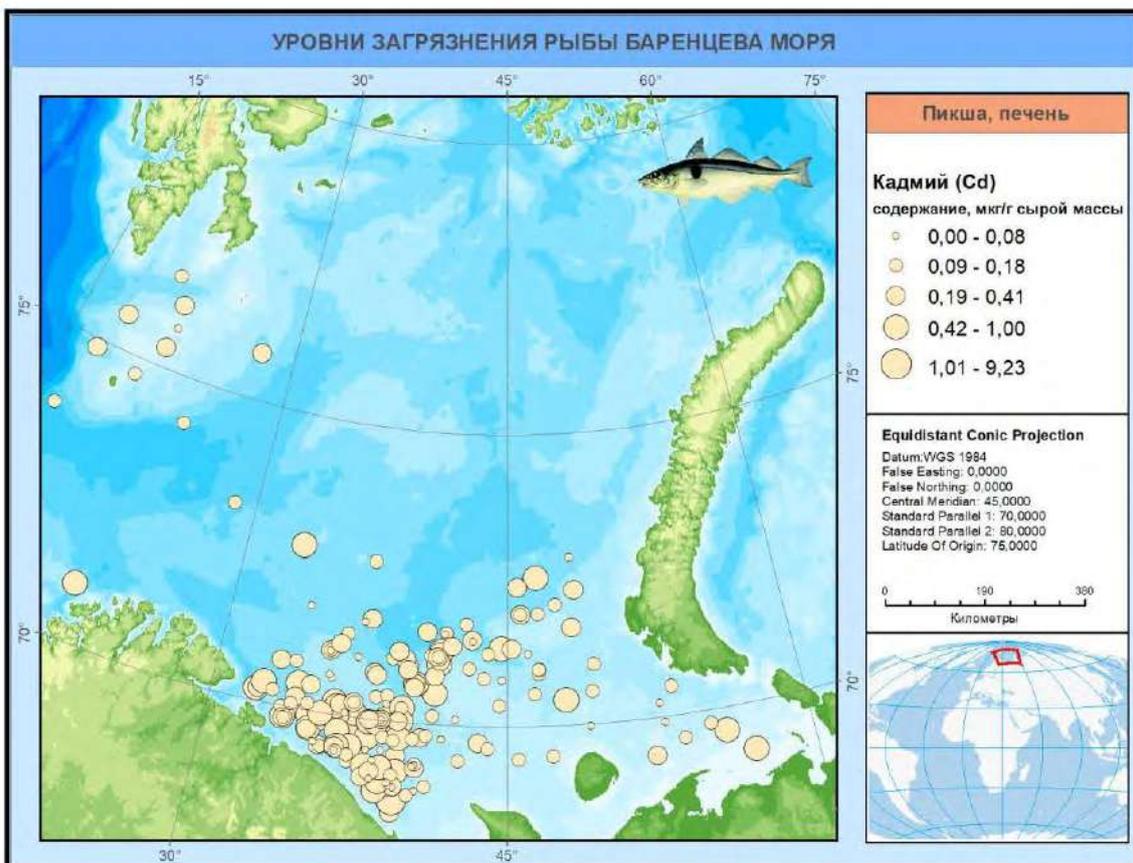
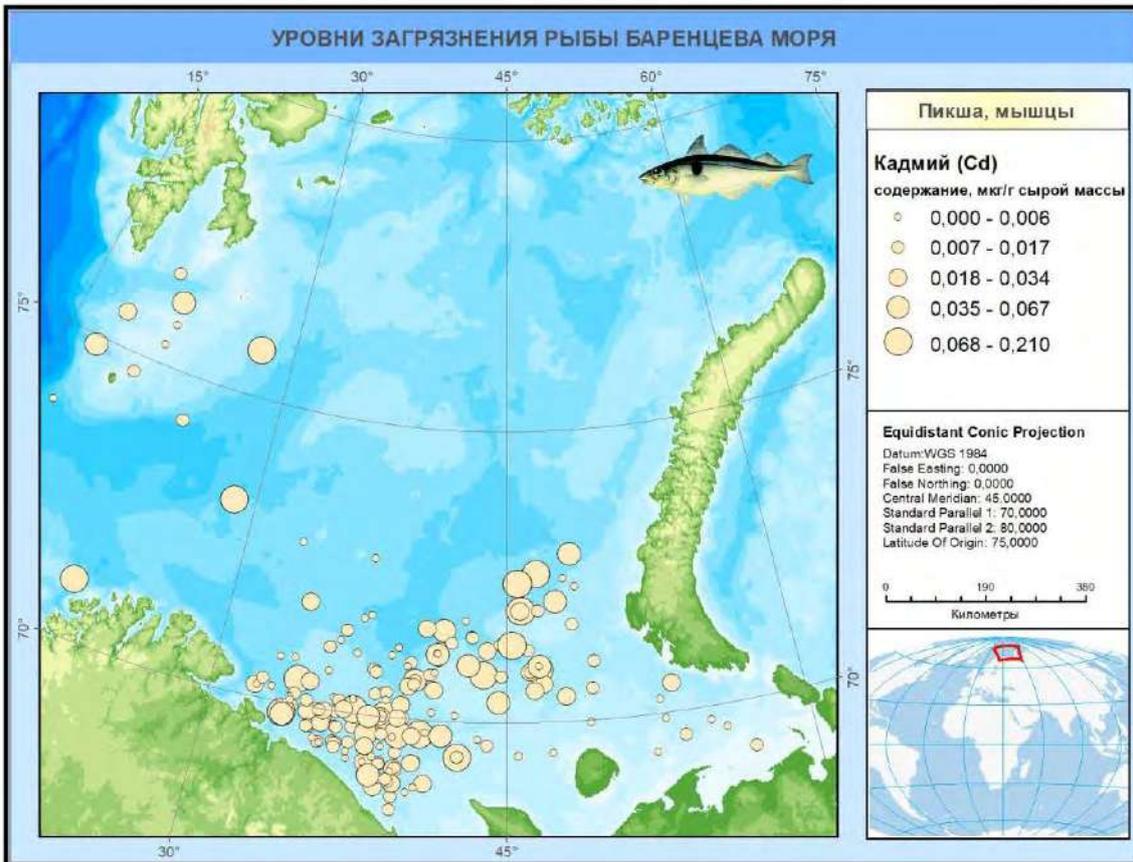
Пикша (*Melanogrammus aeglefinus*). Рыба из отряда Трескообразных (Gadiformes). Придонно-пелагический, преимущественно бореальный атлантический вид (Андрияшев, Чернова, 1994). От трески и других трескообразных отличается черной непрерывной (до конца тела) боковой линией и большим черным пятном над серединой грудного плавника – «пятно Святого Петра», очень коротким подбородочным усиком. Длина пикши – 70-80 см (максимальная – 112 см), масса в среднем – 4,5 кг (до 17-19 кг), средняя промысловая длина – 40-64 см (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Минимальная промысловая длина – 40 см. В Баренцевом море обитает северо-восточная арктическая популяция пикши (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Пикша – одна из наиболее массовых промысловых рыб Северо-Восточной Атлантики (Вилер, 1983), добывают ее во всех районах Баренцева моря. Общий вылов всеми странами за последние 10 лет (2010-2019 гг.) изменялся в пределах 249,2-175,4 тыс. т. Российский вылов в 2010 г. составил 111,4 тыс. т, после отмечался его рост до локального максимума в 2012 г. (143,9 тыс. т), затем в последующие три года заметное снижение – минимум 78,7 тыс. т в 2014 г. В 2016-2017 гг. вылов несколько вырос до 106,7-115,7 тыс. т, в 2019 г. как общий вылов пикши всеми странами, так и российский были минимальными и составили соответственно 175,4 и 76,1 тыс. т (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Пикша – традиционная столовая рыба. Ее сбывают в свежем, мороженом и копченом виде. Жирность мяса редко бывает выше 0,1-0,3 %. Жирность печени зависит от ее массы: при массе печени, равной 1-2 % массы тела, содержание жира в печени в среднем – 20,4 %, при массе больше 6 % – 65,7 %. Печень также используют для приготовления медицинского жира (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

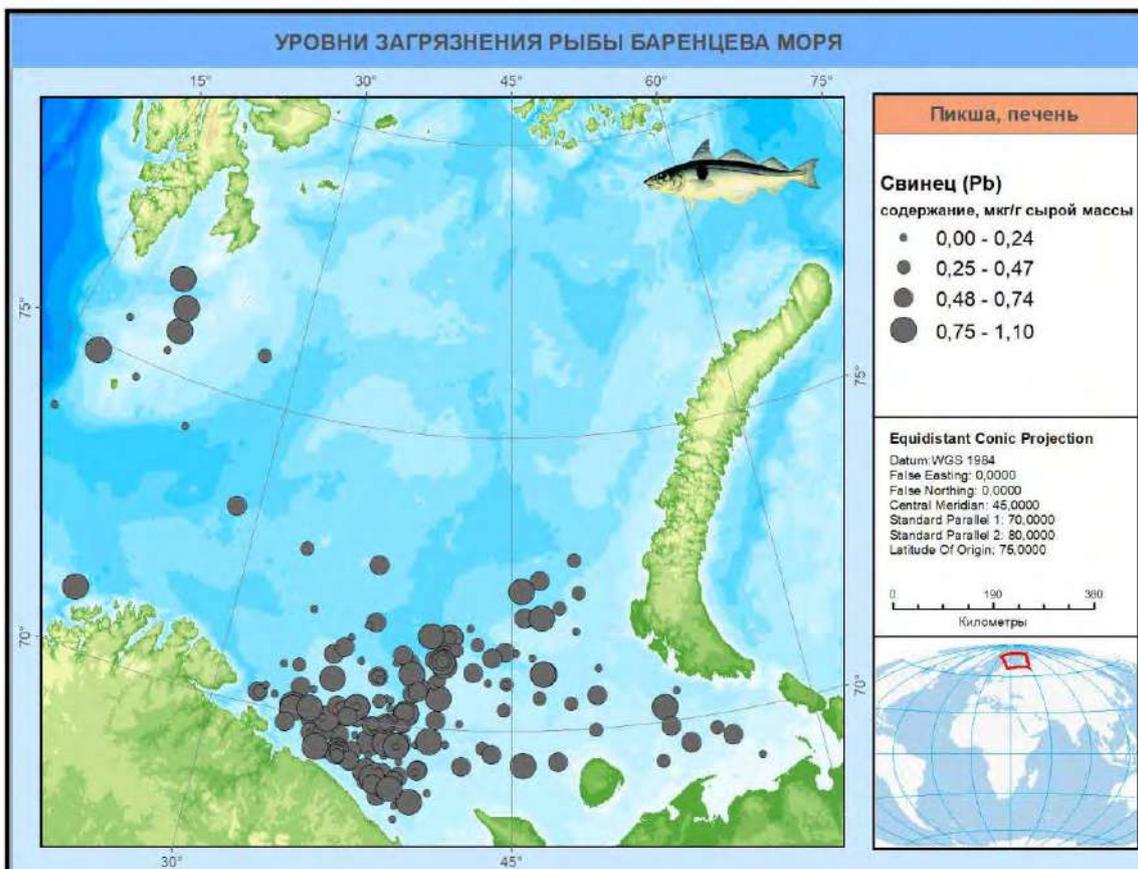
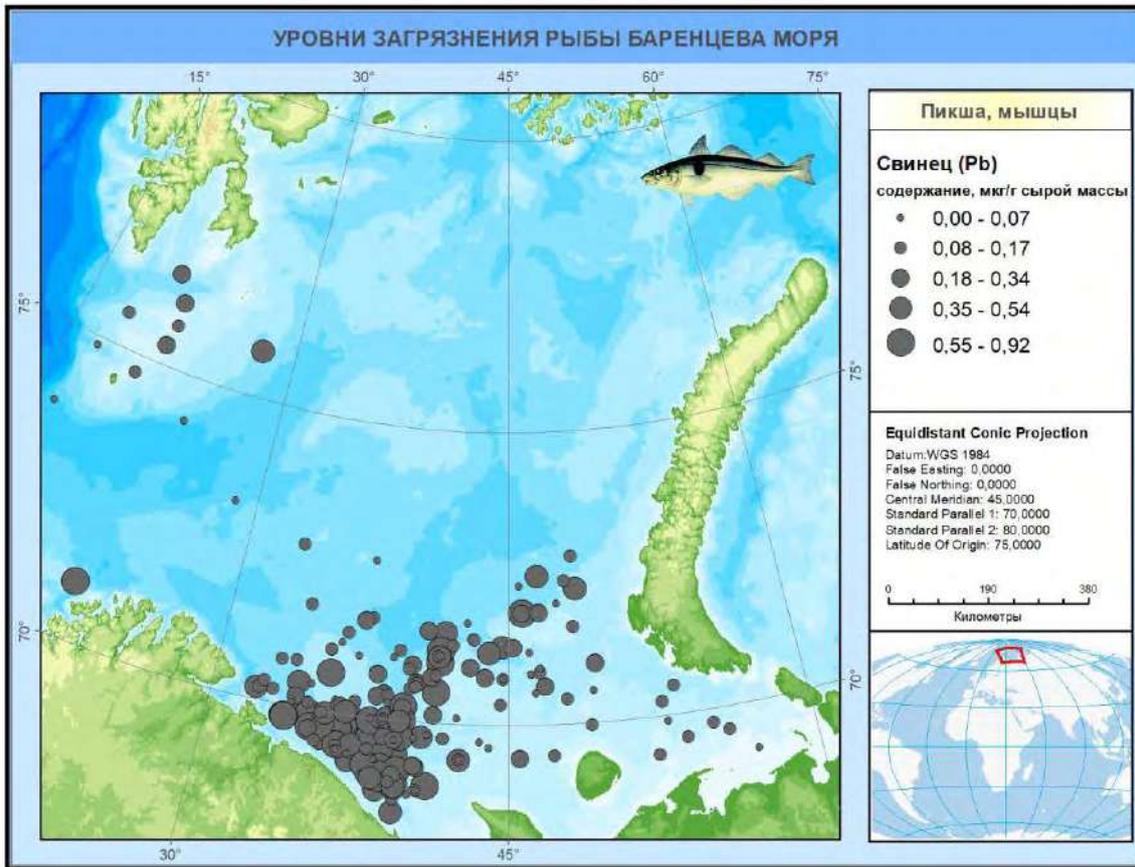
По фондовым данным ПИПРО, среднее содержание Hg в мышцах пикши составляет $0,047 \pm 0,063$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,019 \pm 0,029$ мкг/г, Pb – $0,21 \pm 0,20$ мкг/г, Cu – $0,43 \pm 0,23$ мкг/г, Zn – $5,0 \pm 2,14$ мкг/г, Ni – $0,24 \pm 0,15$ мкг/г, Cr – $0,28 \pm 0,26$ мкг/г, Co – $0,15 \pm 0,10$ мкг/г и As – $4,85 \pm 3,74$ мкг/г (N=265); Σ ГХЦГ – $1,38 \pm 1,96$ нг/г, ГХБ – $1,46 \pm 2,75$ нг/г, Σ ДДТ – $1,37 \pm 0,76$ нг/г, Σ ПХБ – $1,27 \pm 0,64$ нг/г и суммы хлорданов – $0,72 \pm 0,95$ нг/г сырой массы (N=271).

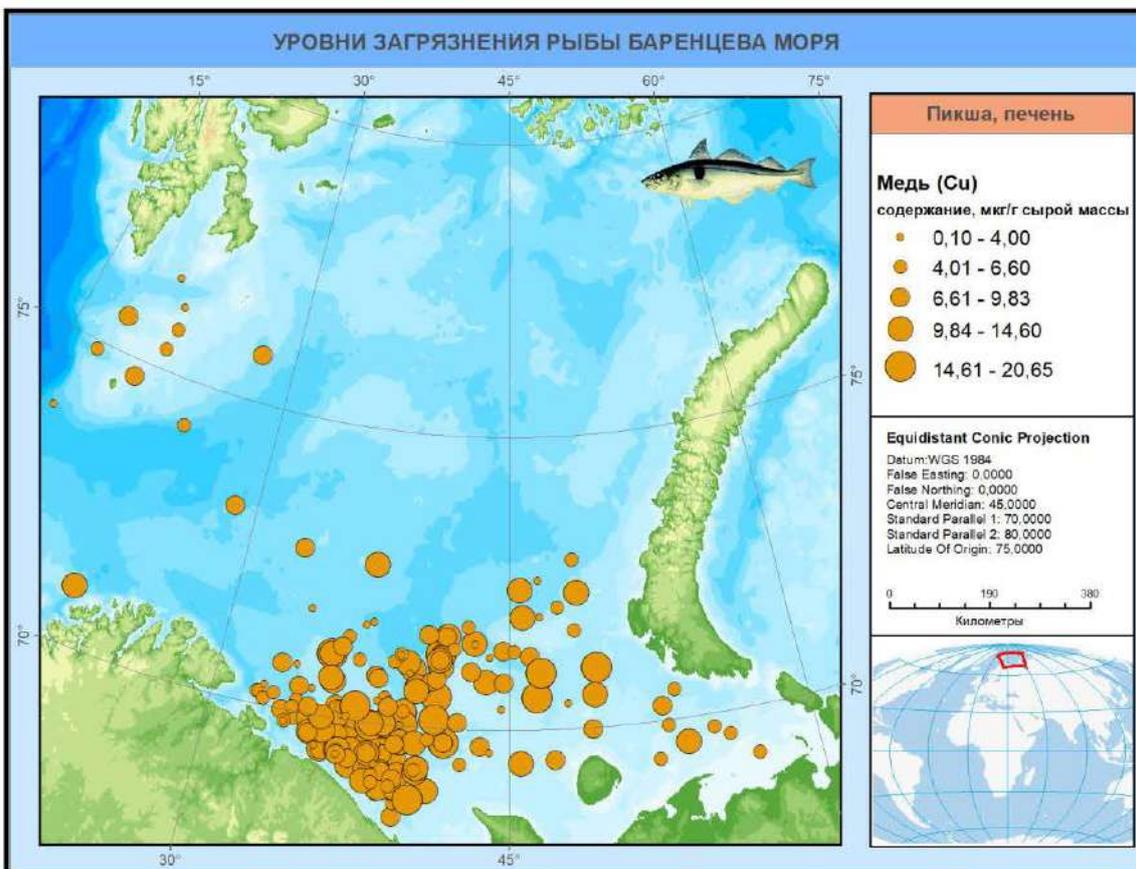
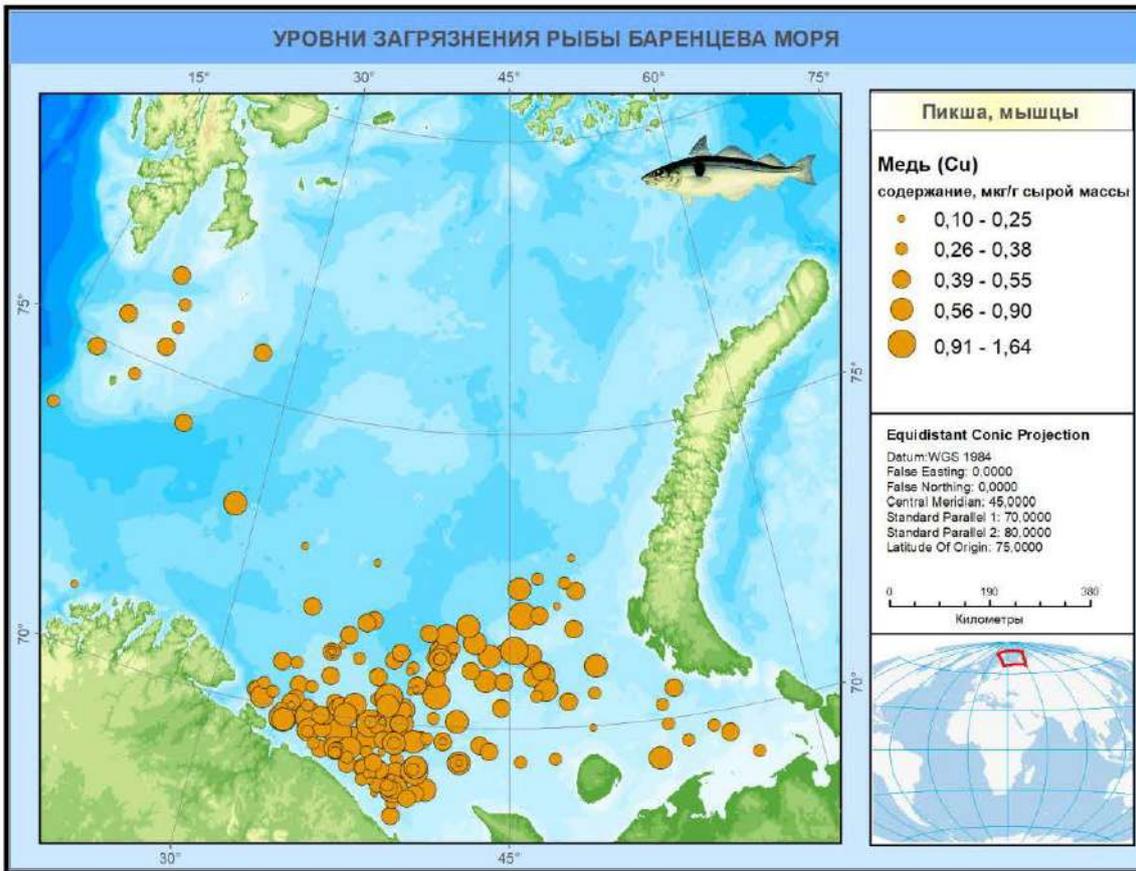


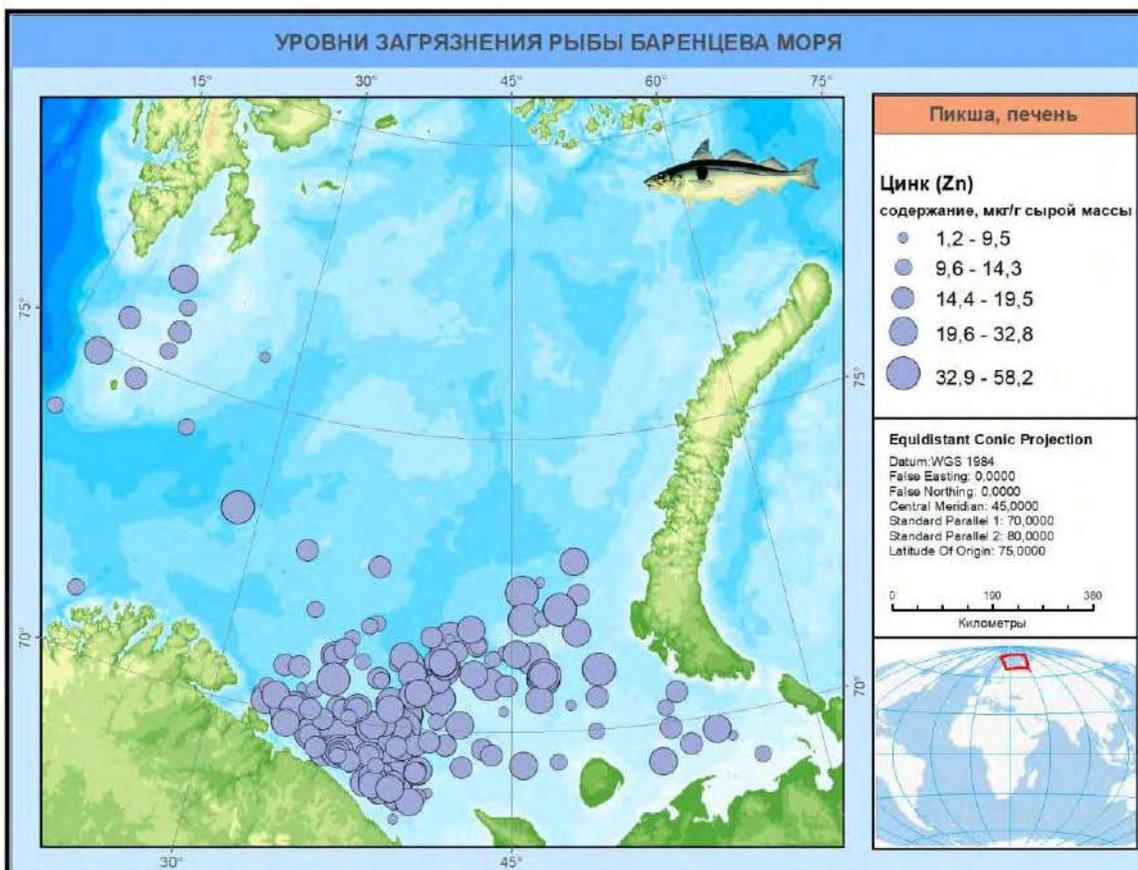
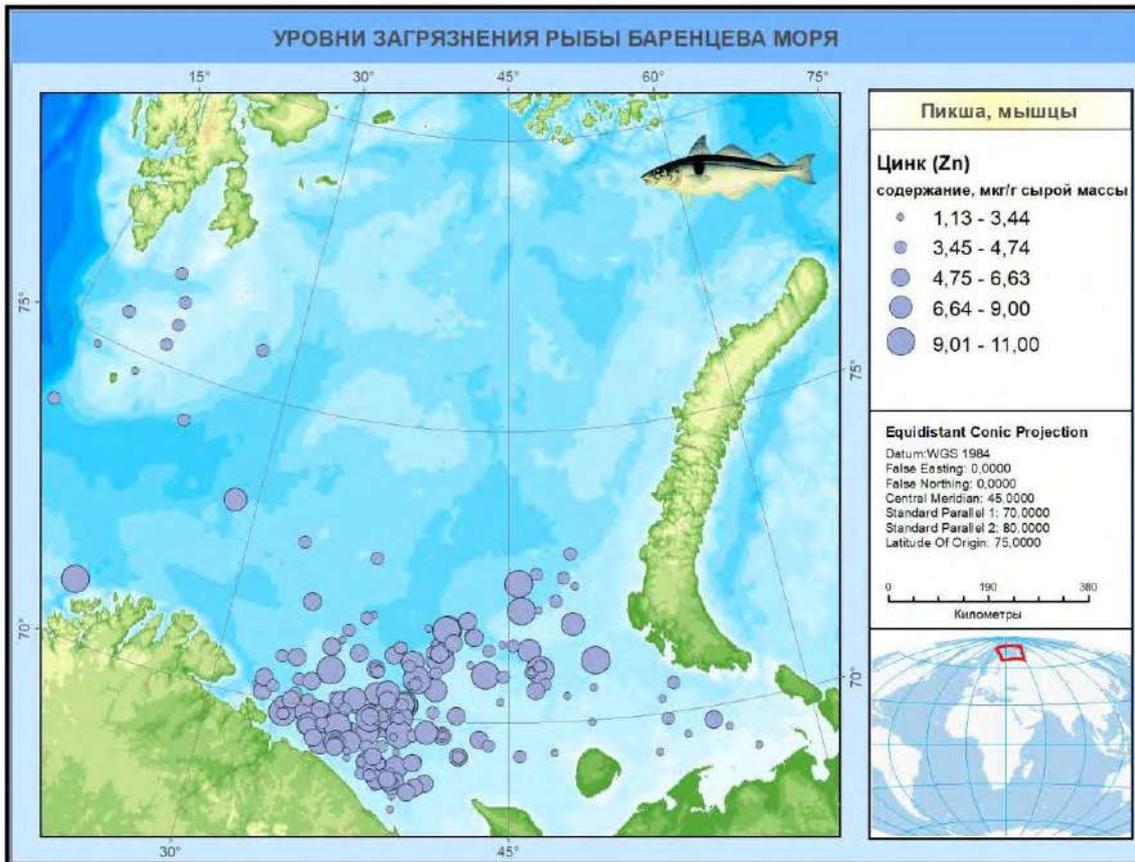
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в пикше в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

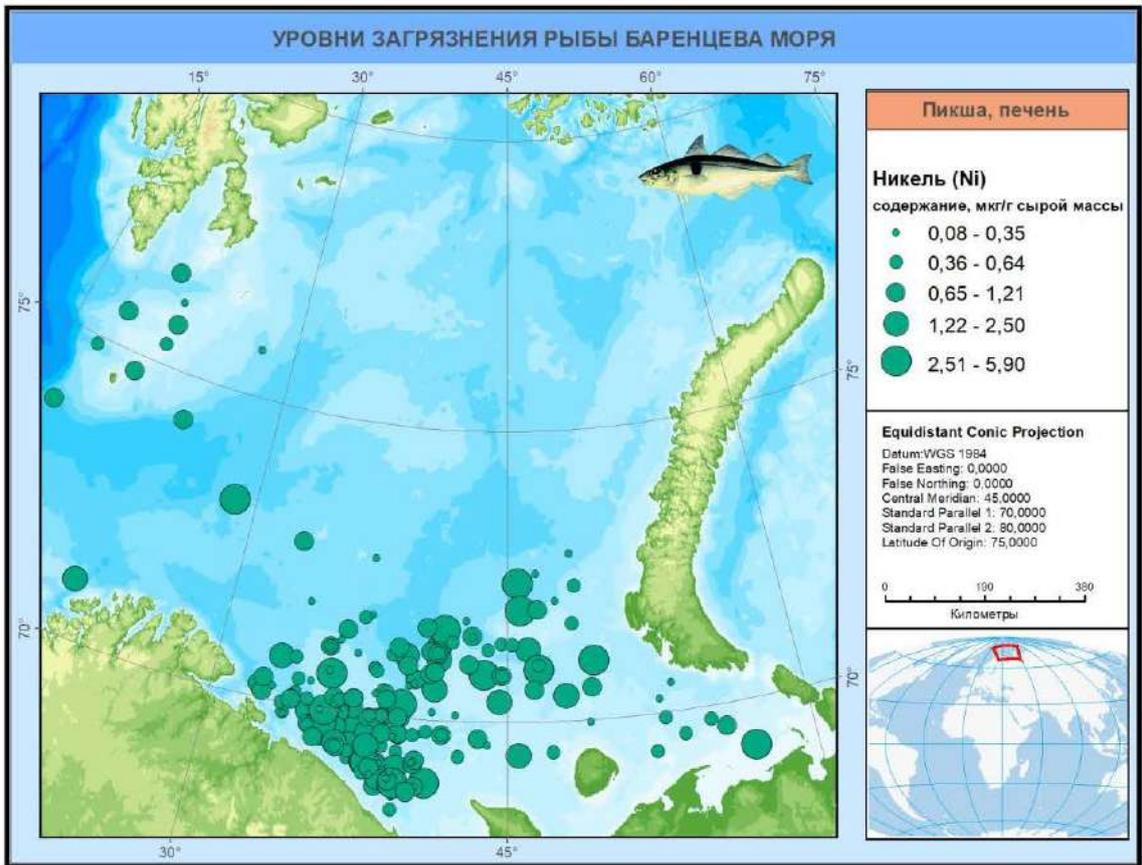
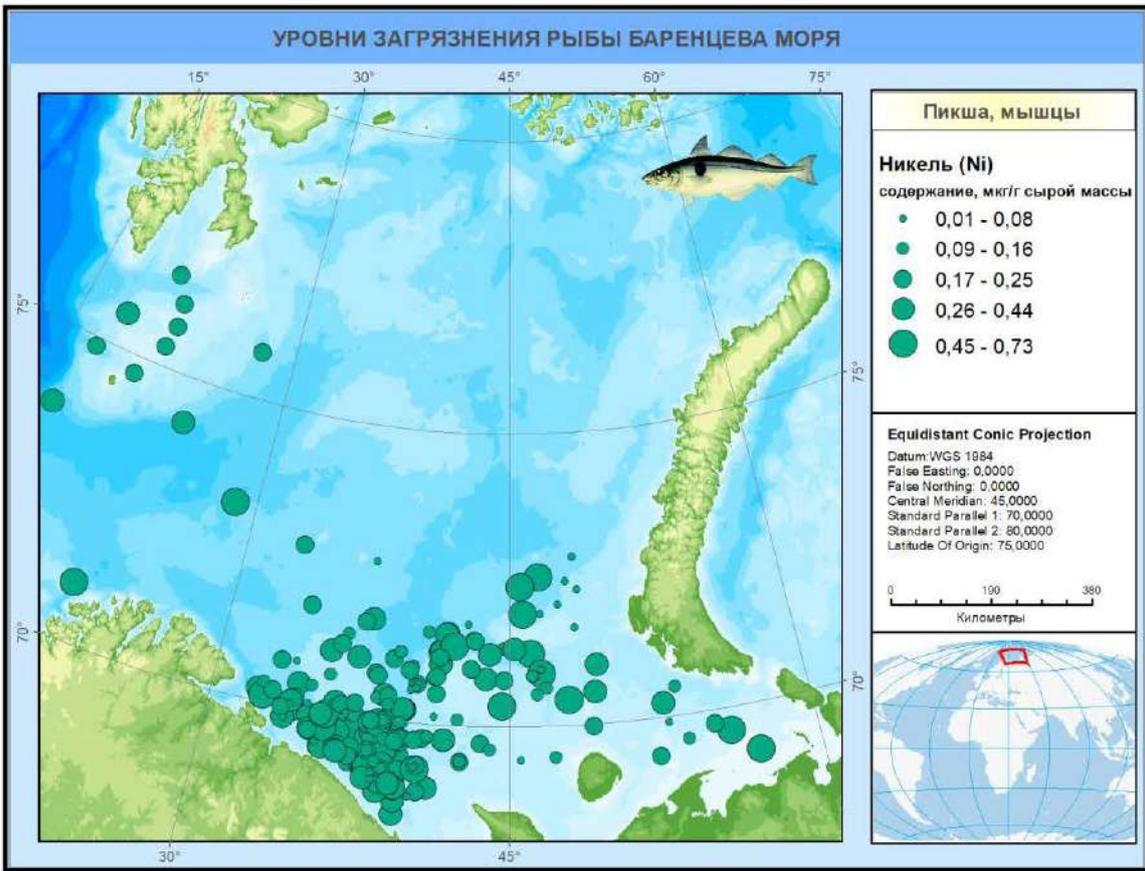


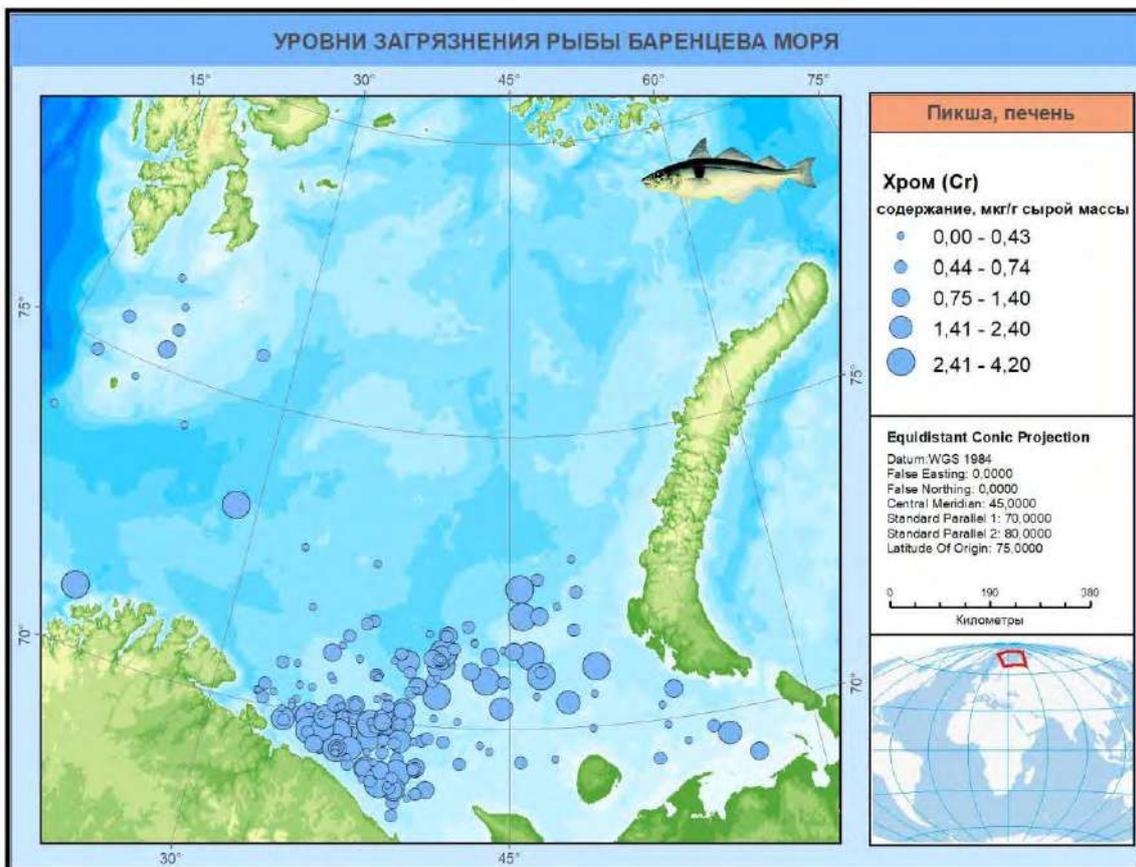
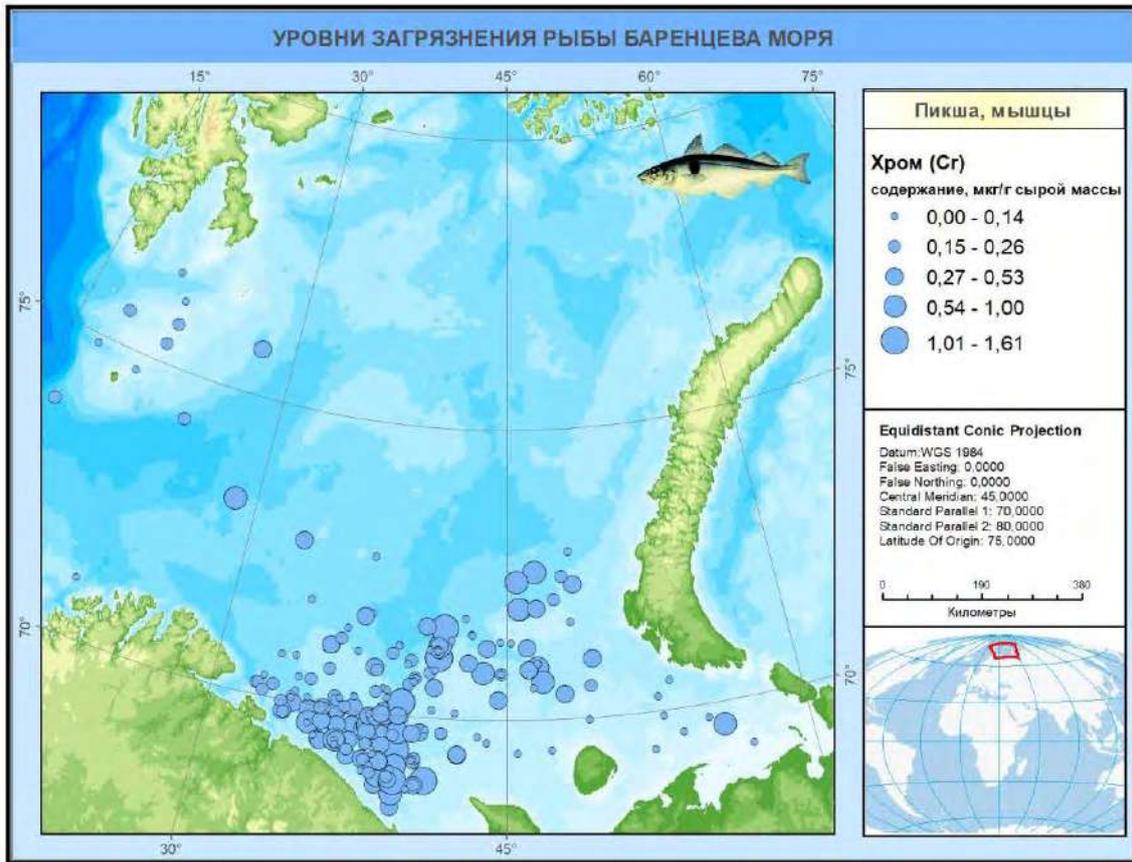


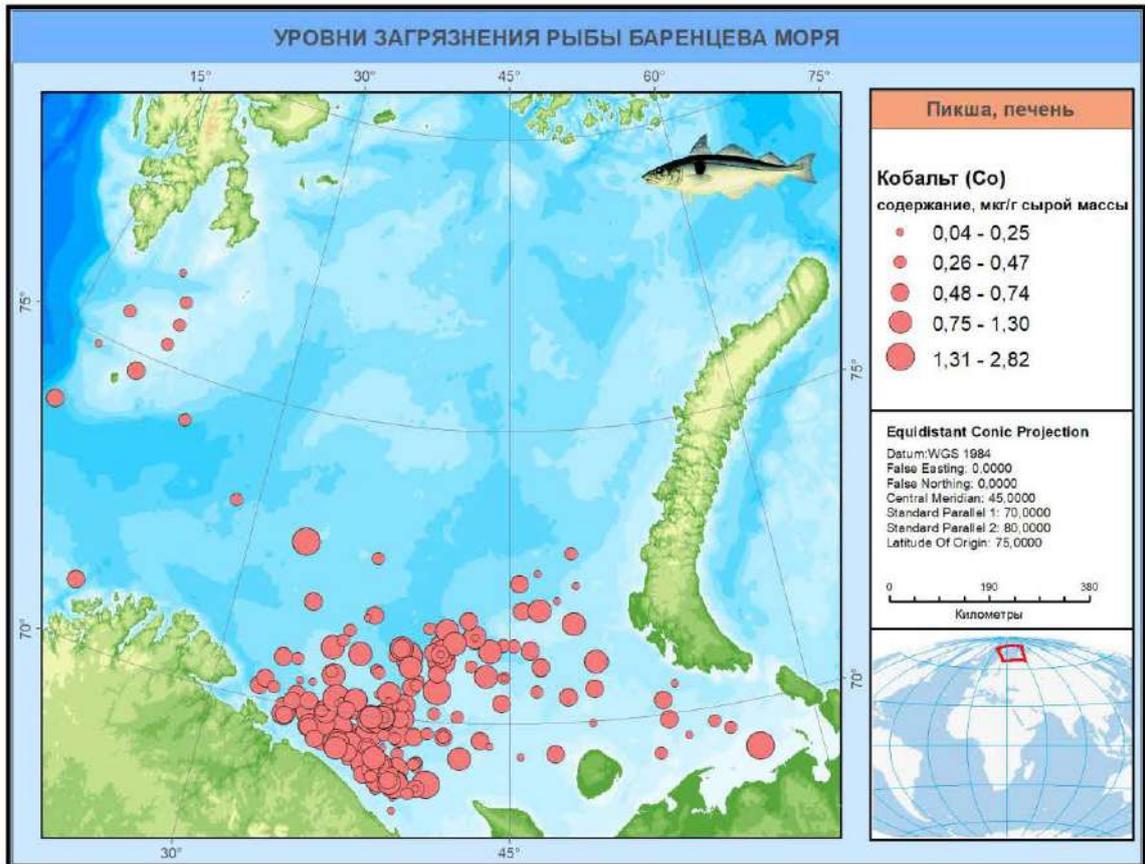
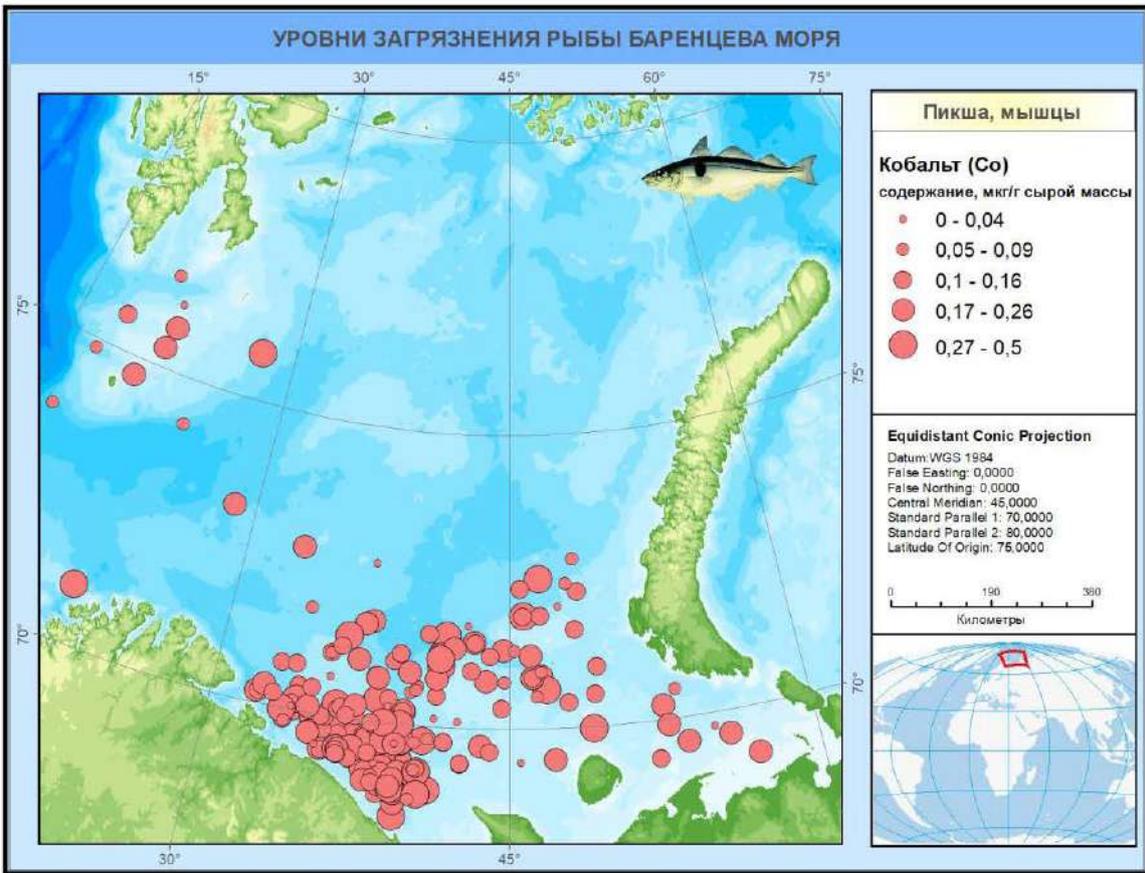


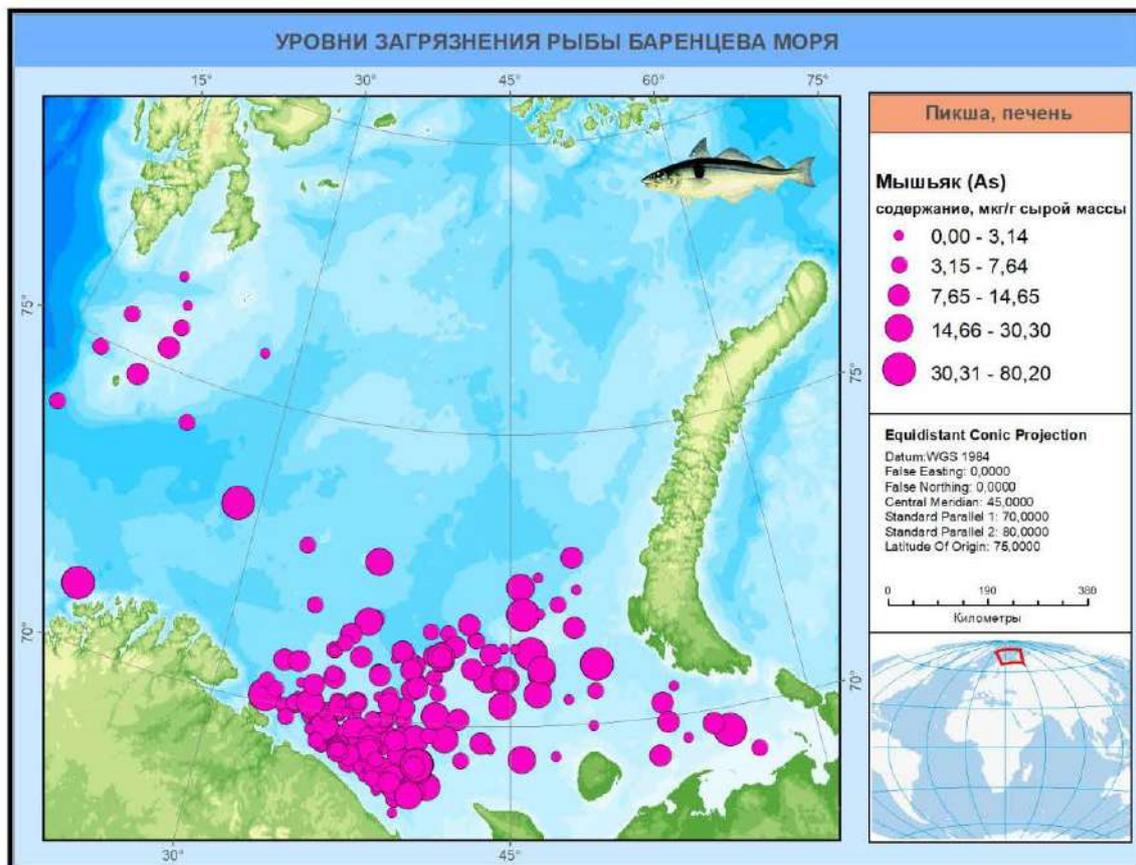
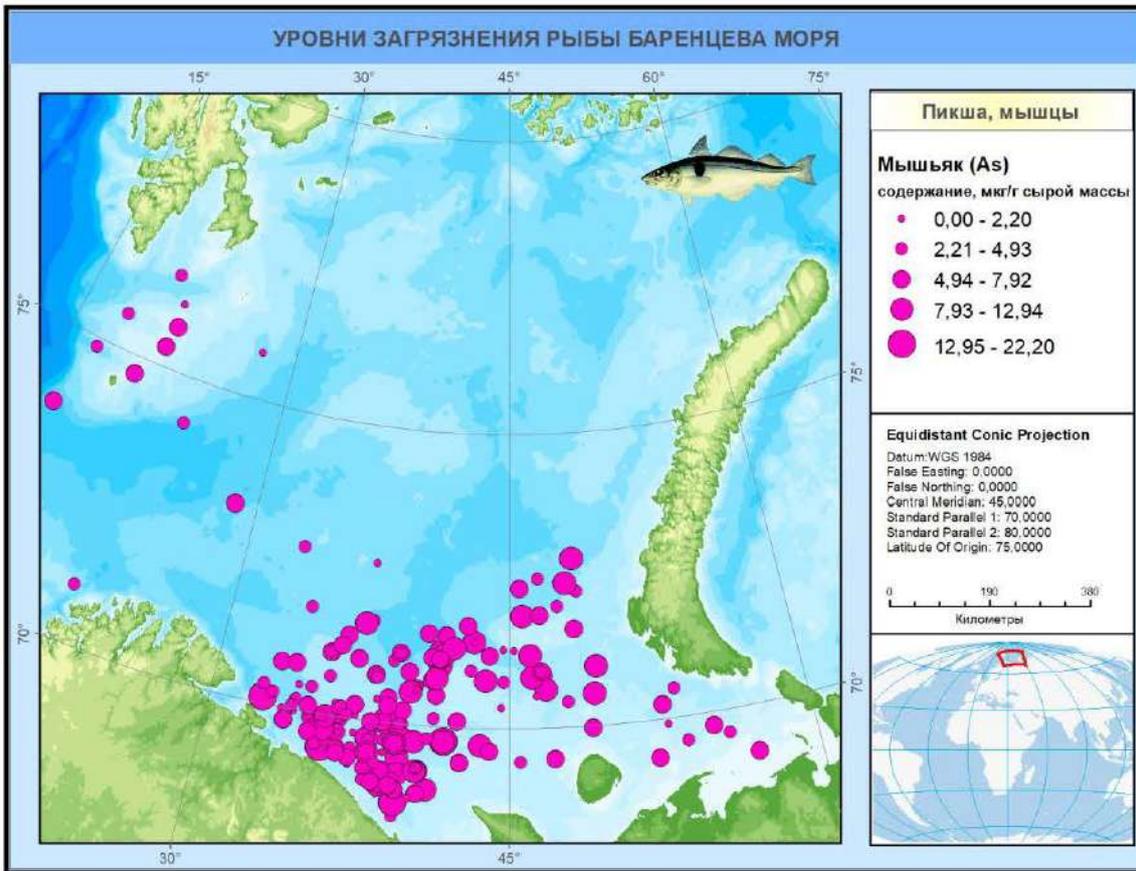


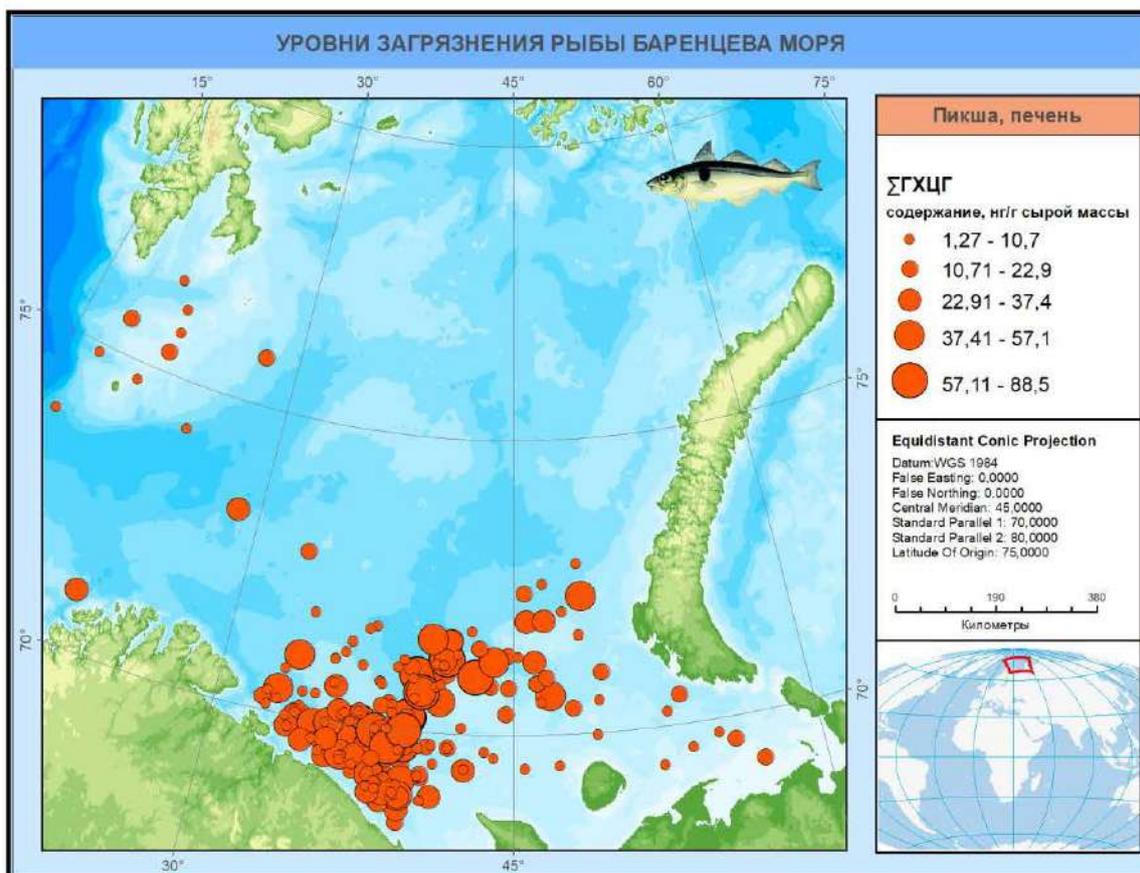
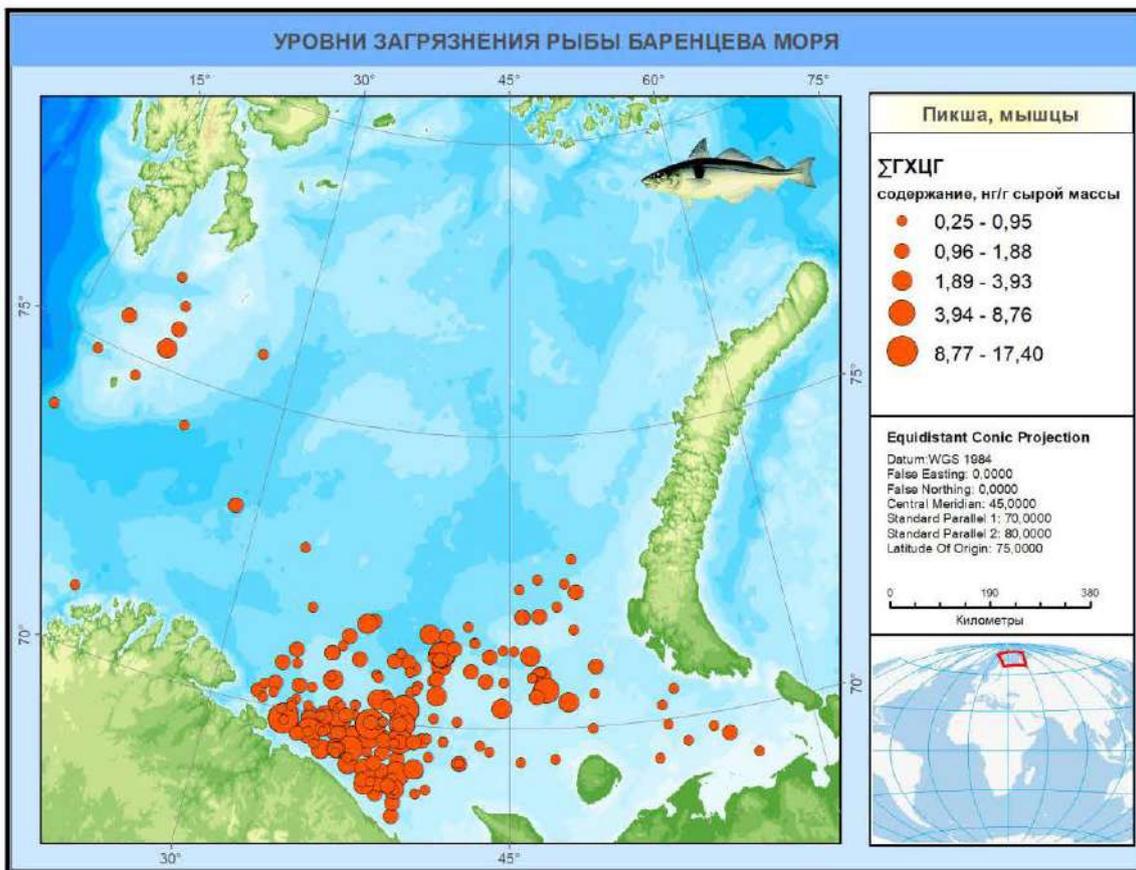


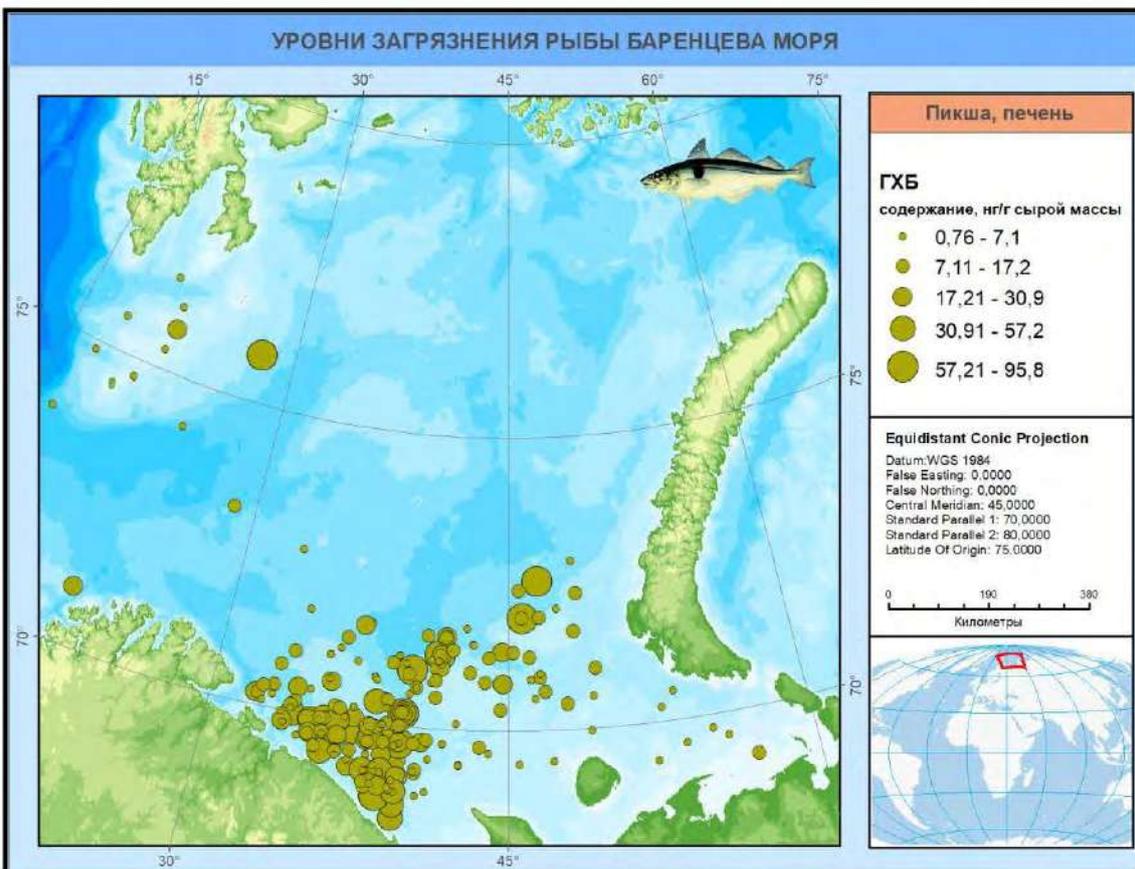
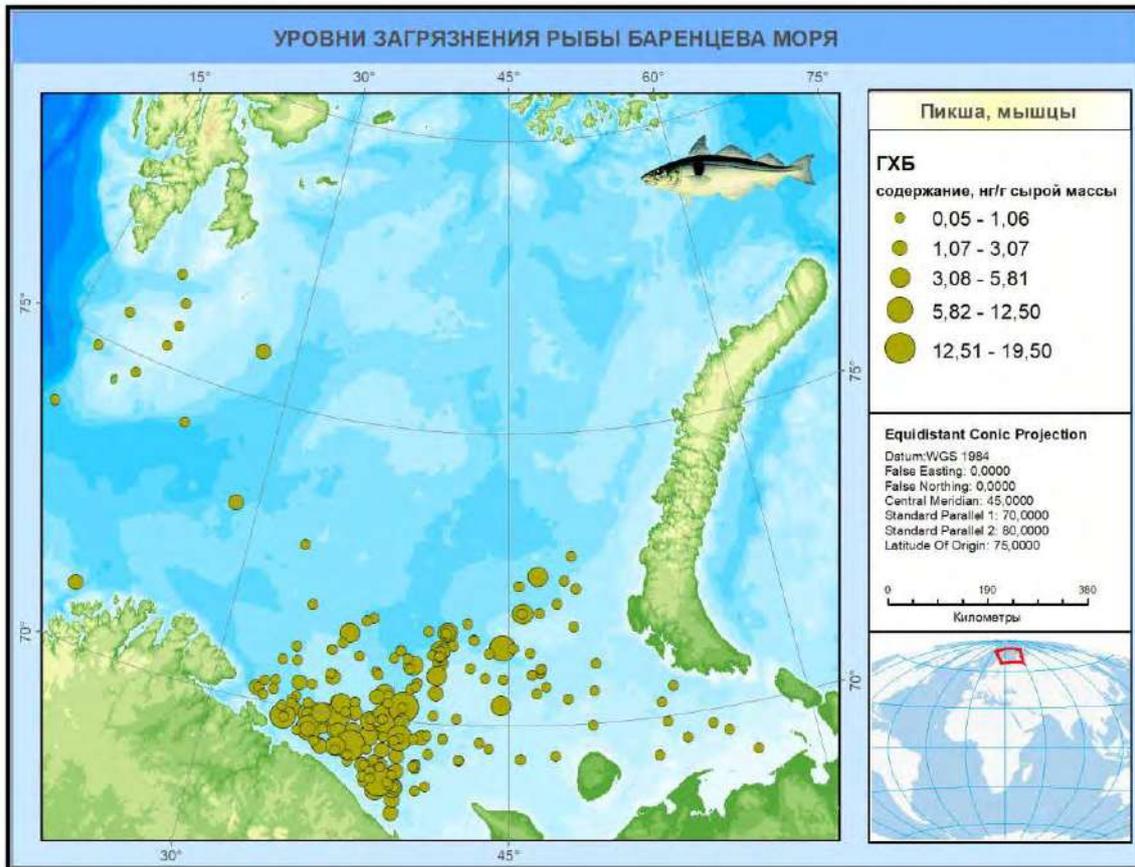


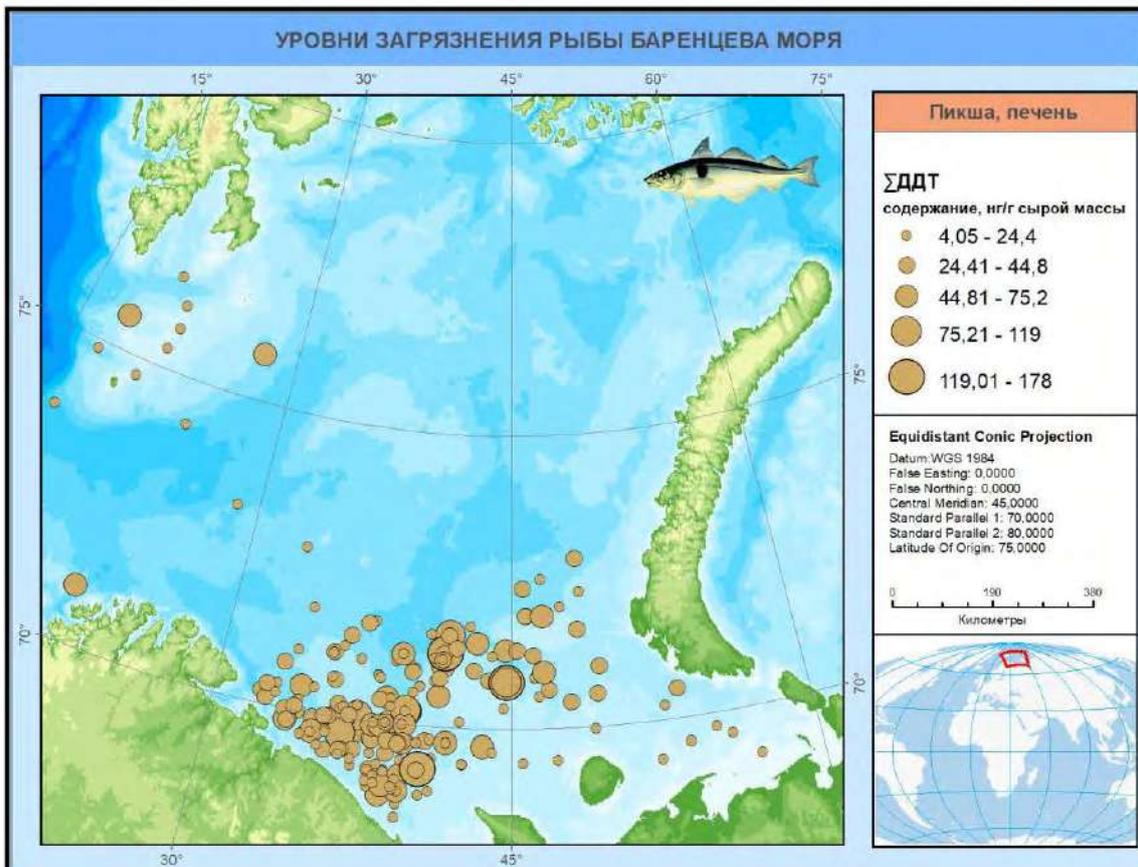
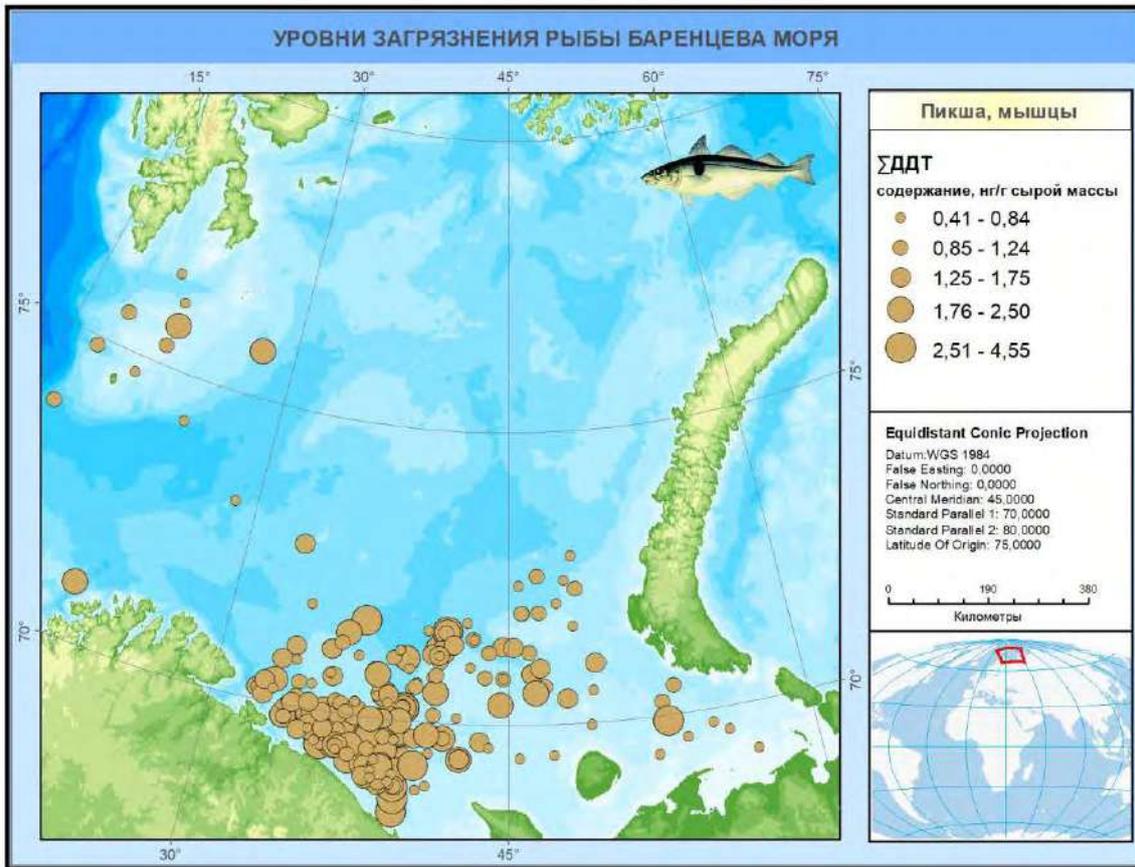


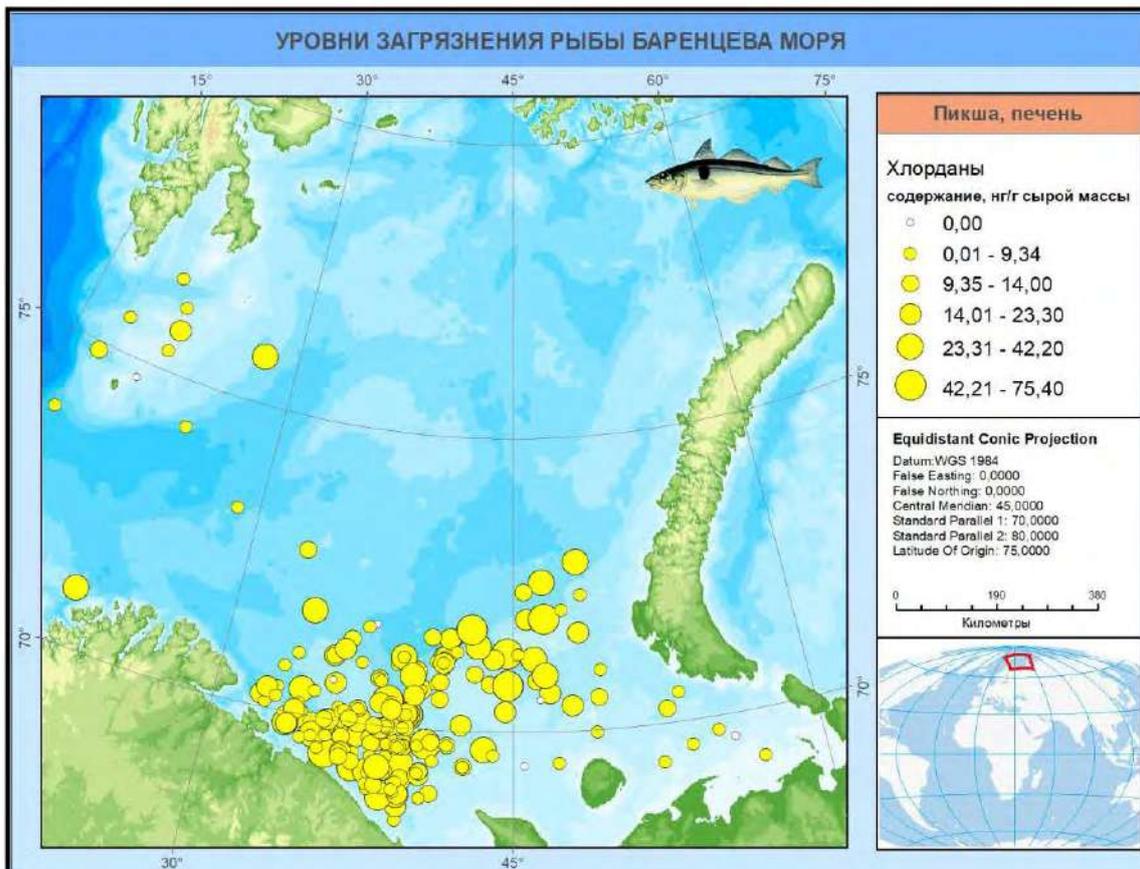
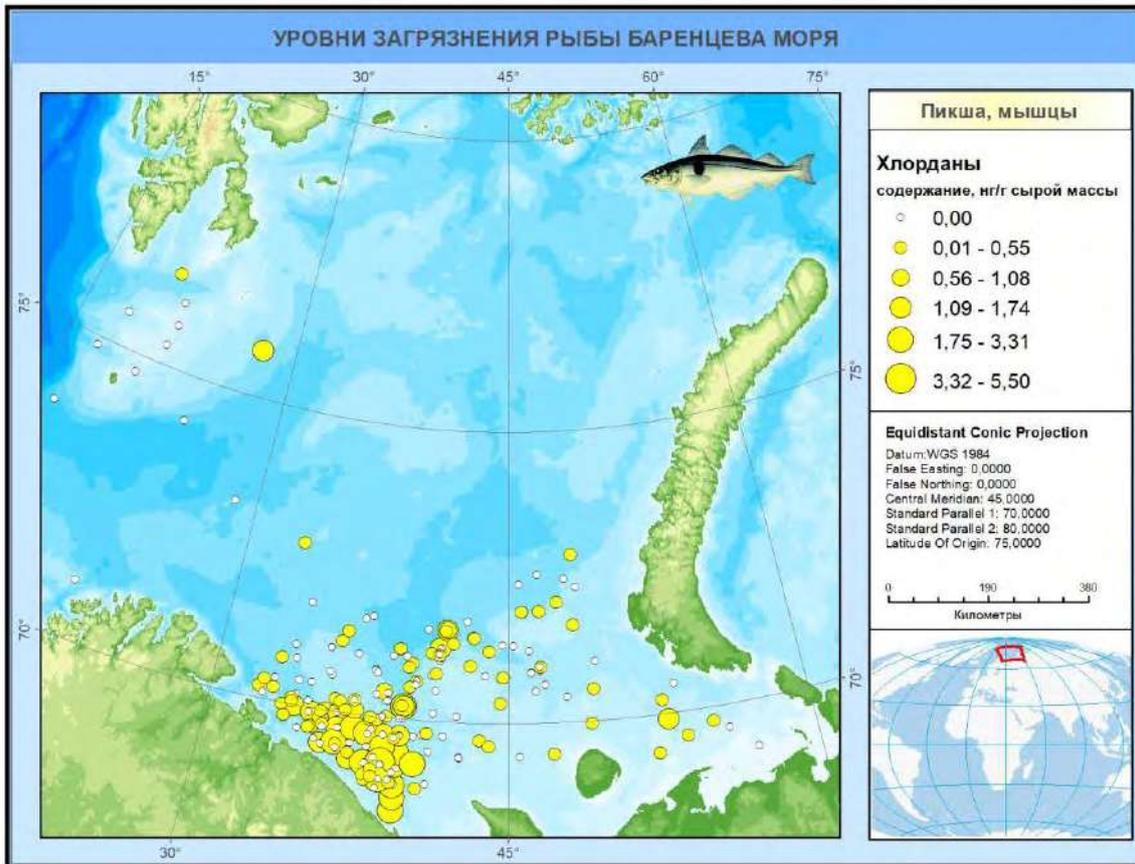


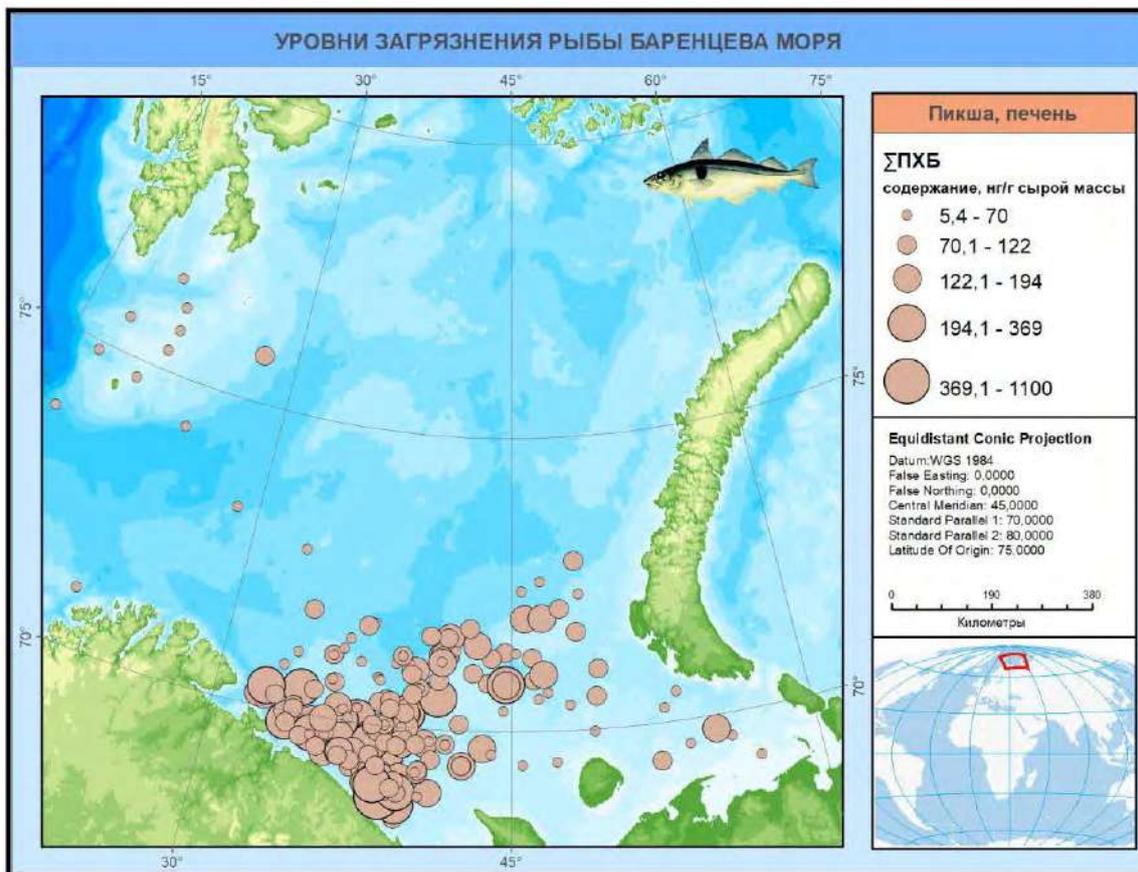
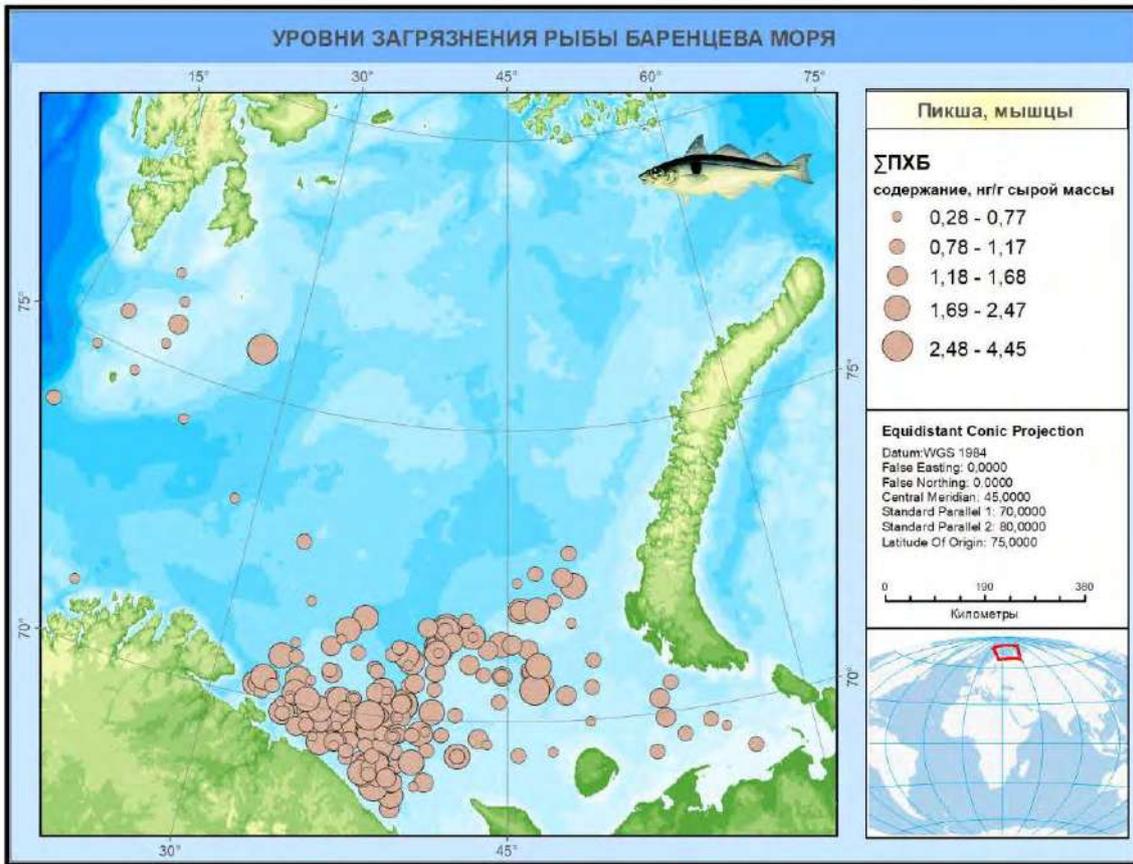








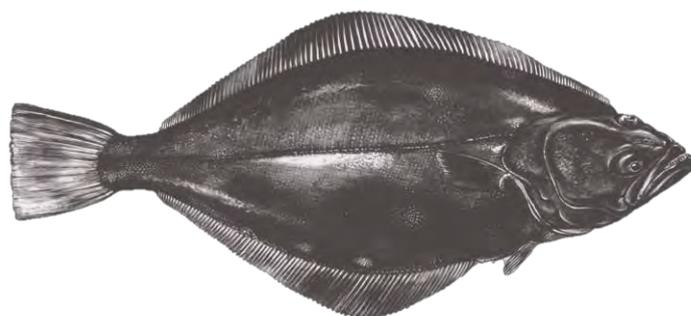




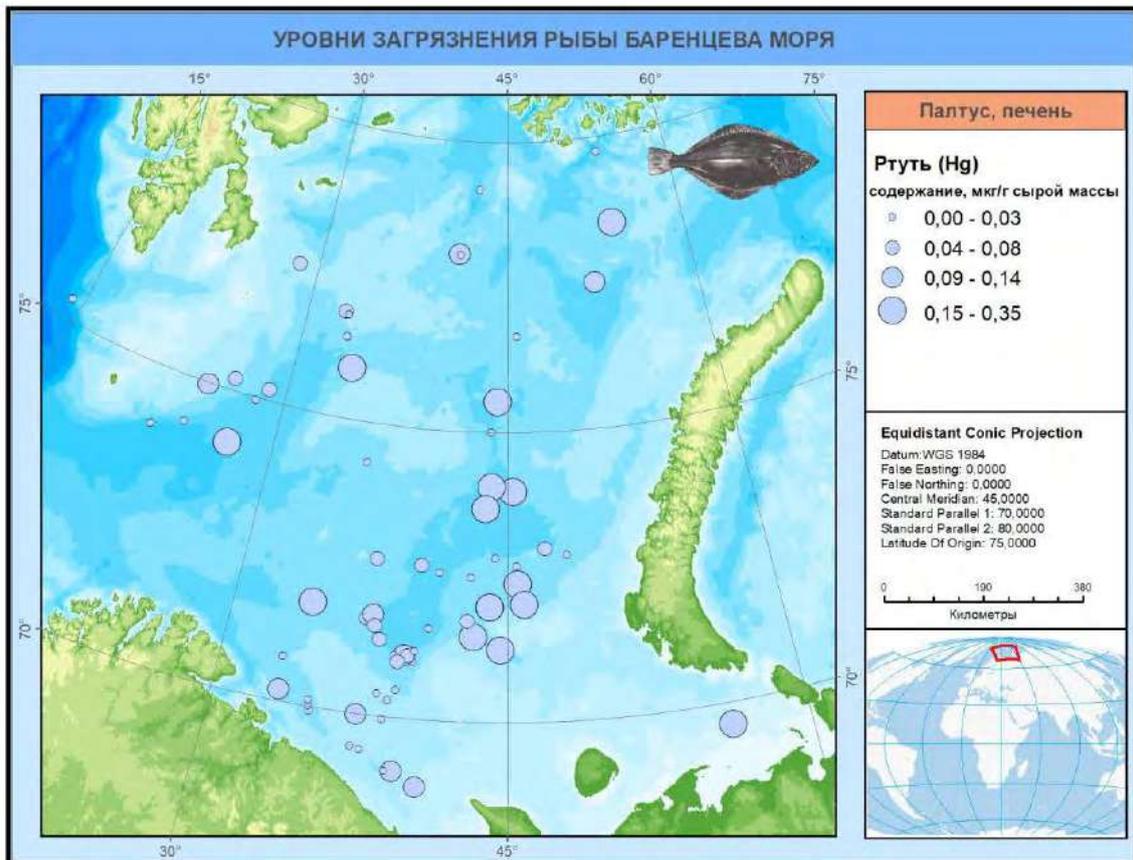
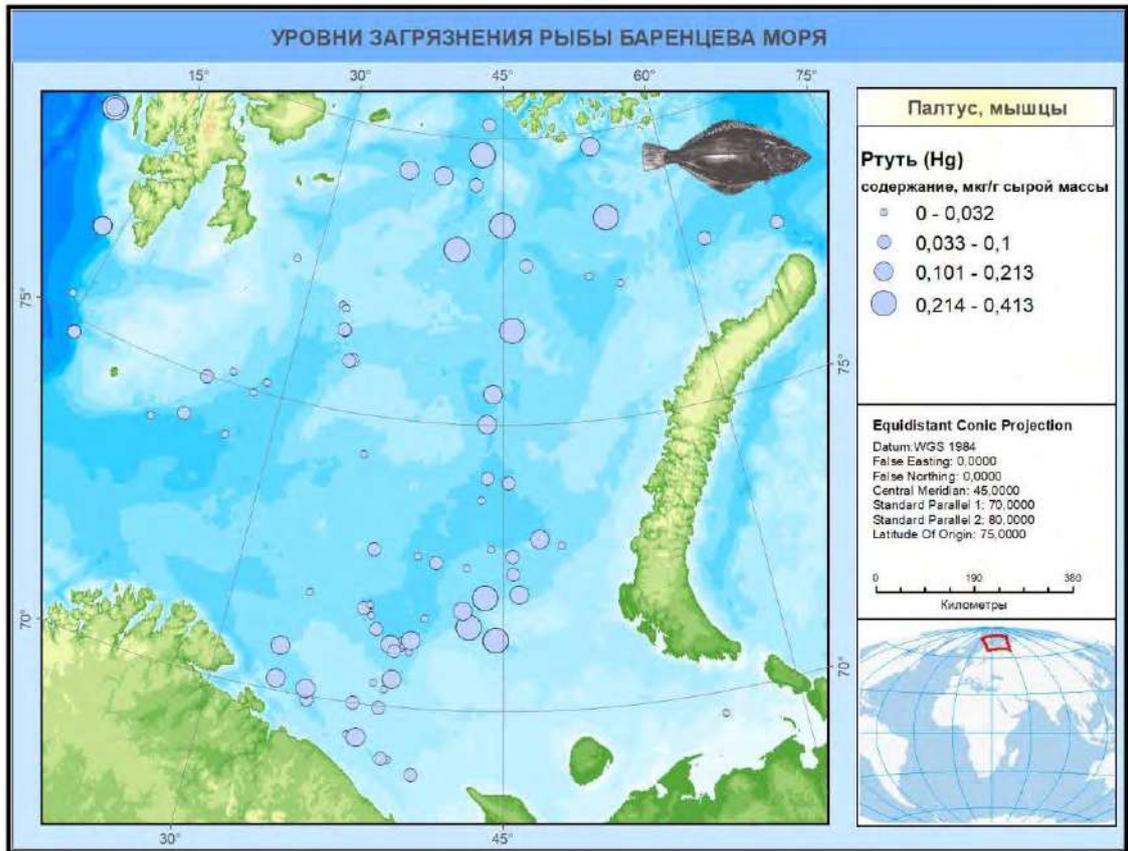
Палтус синекорый (черный)

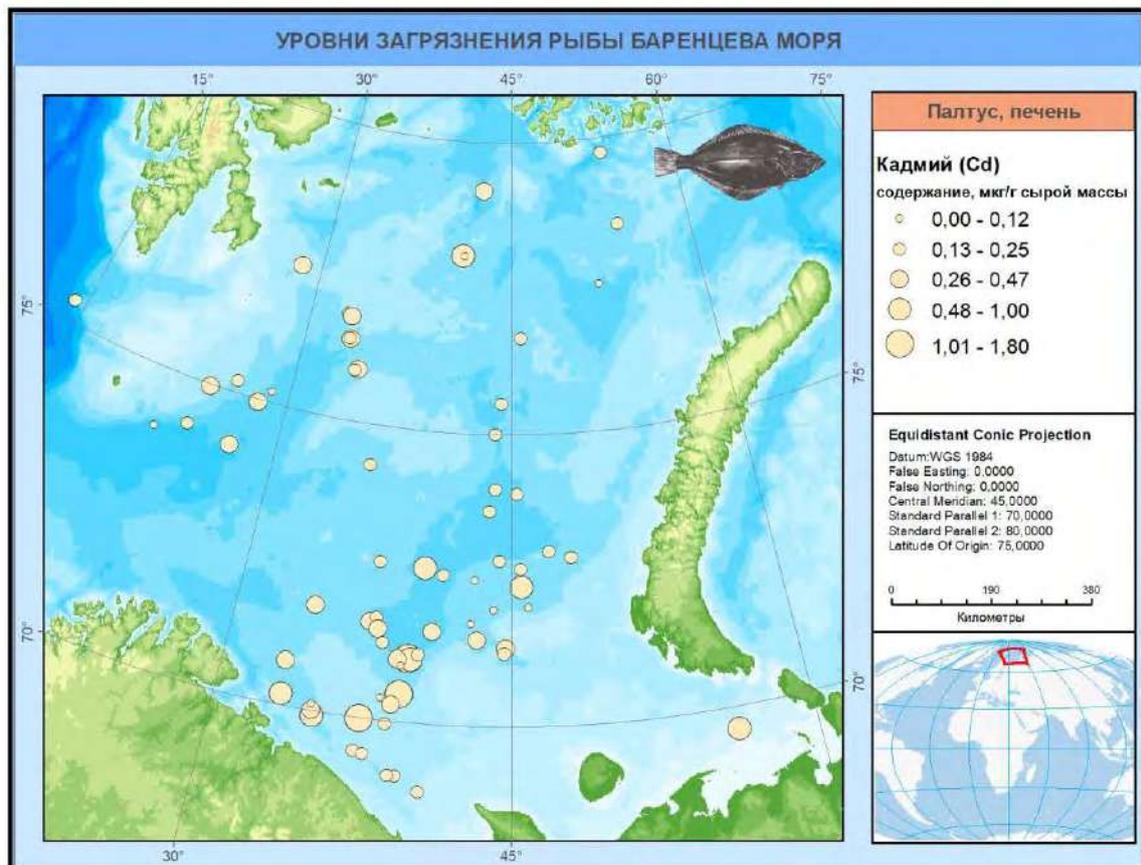
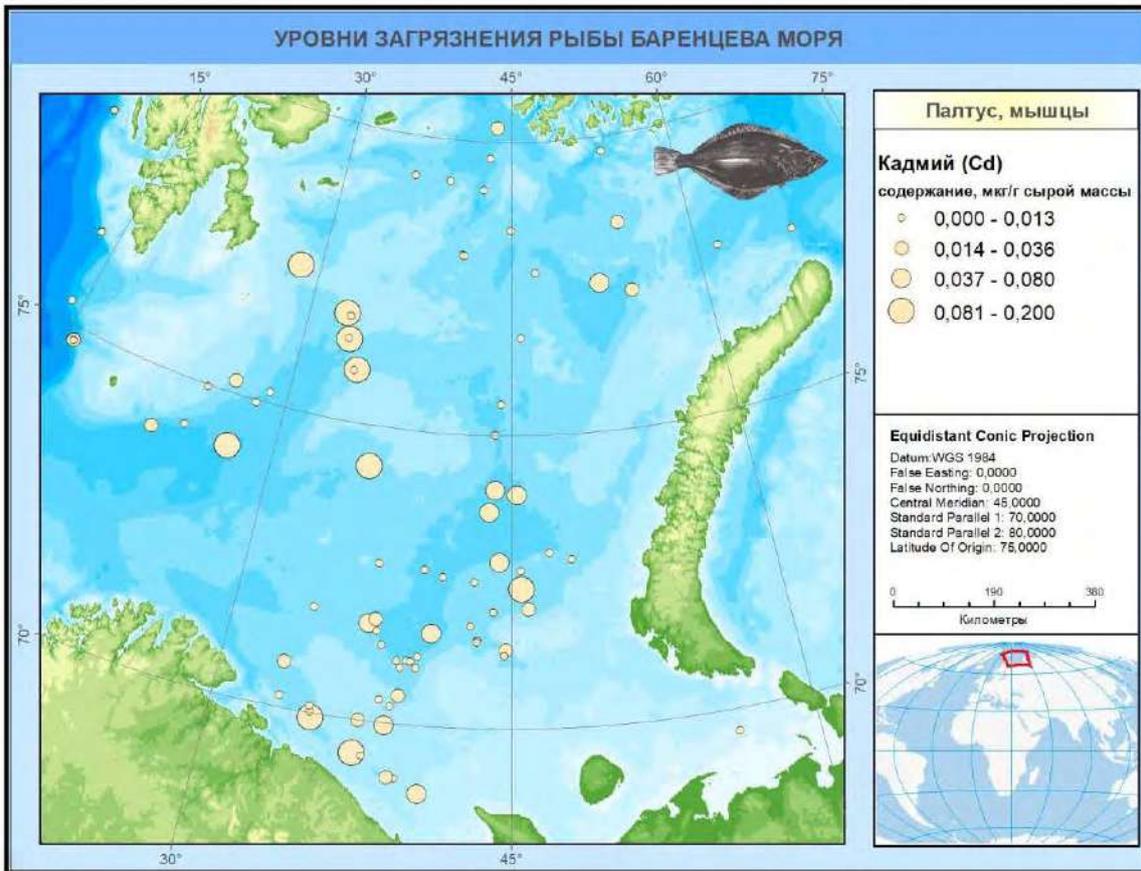
Палтус синекорый, или черный (*Reinhardtius hippoglossoides*). Рыба из отряда Камбалообразных (Pleuronectiformes), глубоководный бореальный вид. Длина тела – до 2,54 м, масса – 320 кг. В Баренцевом море максимальная длина не превышает 87 см, масса – 7 кг. В любой возрастной группе самки крупнее самцов, живут дольше. Минимальный промысловый размер черного палтуса составляет 45 см. Обитает на глубинах 100-1500 м, в разные периоды жизни – на разной глубине: взрослые особи преимущественно на больших. Взрослые самцы живут обычно на краю континентального шельфа. Ко дну черный палтус, как другие камбалообразные, не привязан, так как питается в толще воды (активный хищник) (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Ценный промысловый объект: мясо плотное, очень вкусное. Специализированный промысел палтуса в Баренцевом море был запрещен с 1992 по 2009 г., добывают его только в качестве прилова. С 2010 г. промысел возобновлен (Долгов, 2012). С 2005 по 2013 г. наблюдался устойчивый рост биомассы промыслового запаса черного палтуса, но после 2004 г. ни одного богатого поколения не появилось. Основными добытчиками палтуса являются Норвегия и Россия. В 2010 г. российский вылов составил 6,89 тыс. т, вылов всеми странами, включая третьи страны, – 15,23 тыс. т. В последующие годы отмечено увеличение добычи черного палтуса, и в 2020 г. общий вылов достиг 28,46 тыс. т, российский – 12,26 тыс. т (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Палтус используется в основном для приготовления разнообразных кулинарных блюд и продукции холодного копчения. Мышечная ткань отличается высокой жирностью (13-21 %), которая зависит от индивидуальных особенностей, стадии зрелости, пола и сезона (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

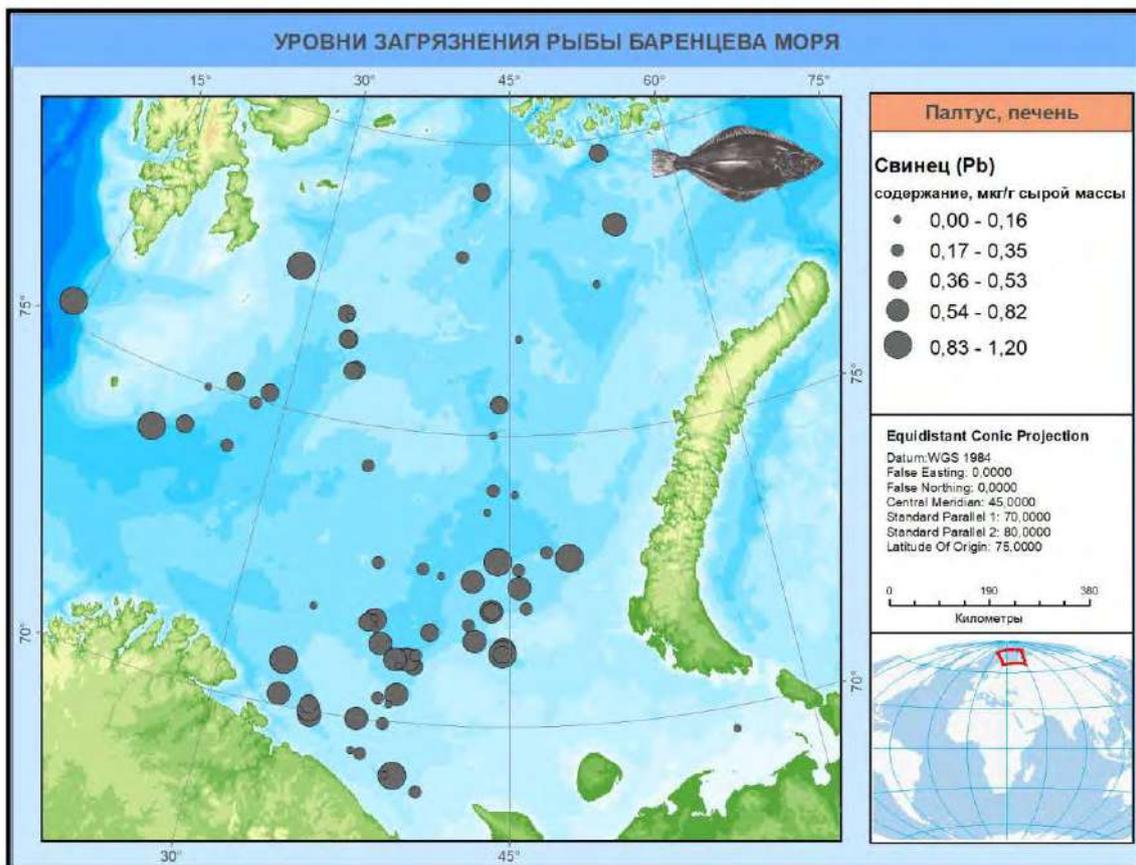
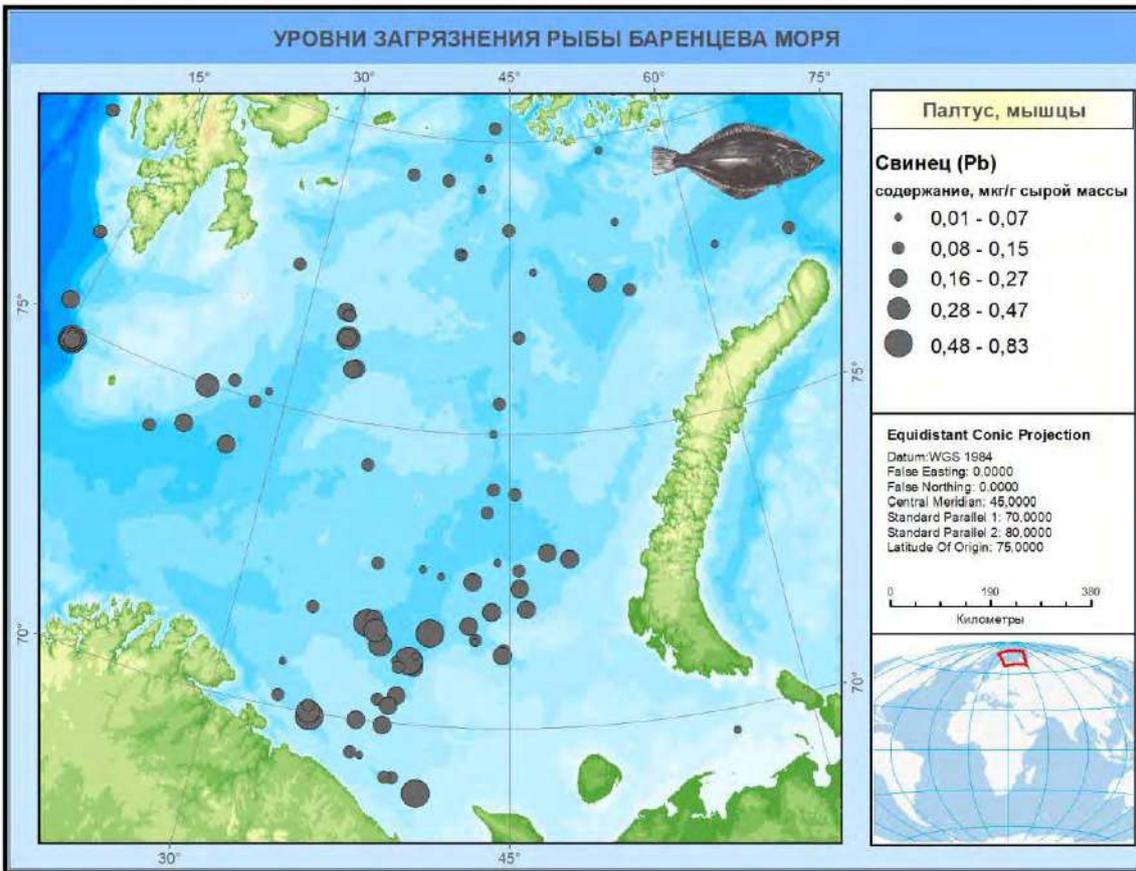
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах палтуса составляет $0,077 \pm 0,092$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,018 \pm 0,031$ мкг/г, Pb – $0,15 \pm 0,13$ мкг/г, Cu – $0,42 \pm 0,23$ мкг/г, Zn – $4,36 \pm 1,85$ мкг/г, Ni – $0,17 \pm 0,16$ мкг/г, Cr – $0,18 \pm 0,14$ мкг/г, Co – $0,13 \pm 0,10$ мкг/г и As – $3,04 \pm 1,26$ мкг/г (N=167); Σ ГХЦГ – $4,08 \pm 2,81$ нг/г, ГХБ – $1,61 \pm 2,19$ нг/г, Σ ДДТ – $8,39 \pm 7,57$ нг/г, Σ ПХБ – $8,93 \pm 7,04$ нг/г и суммы хлорданов – $5,26 \pm 5,48$ нг/г сырой массы (N=136).

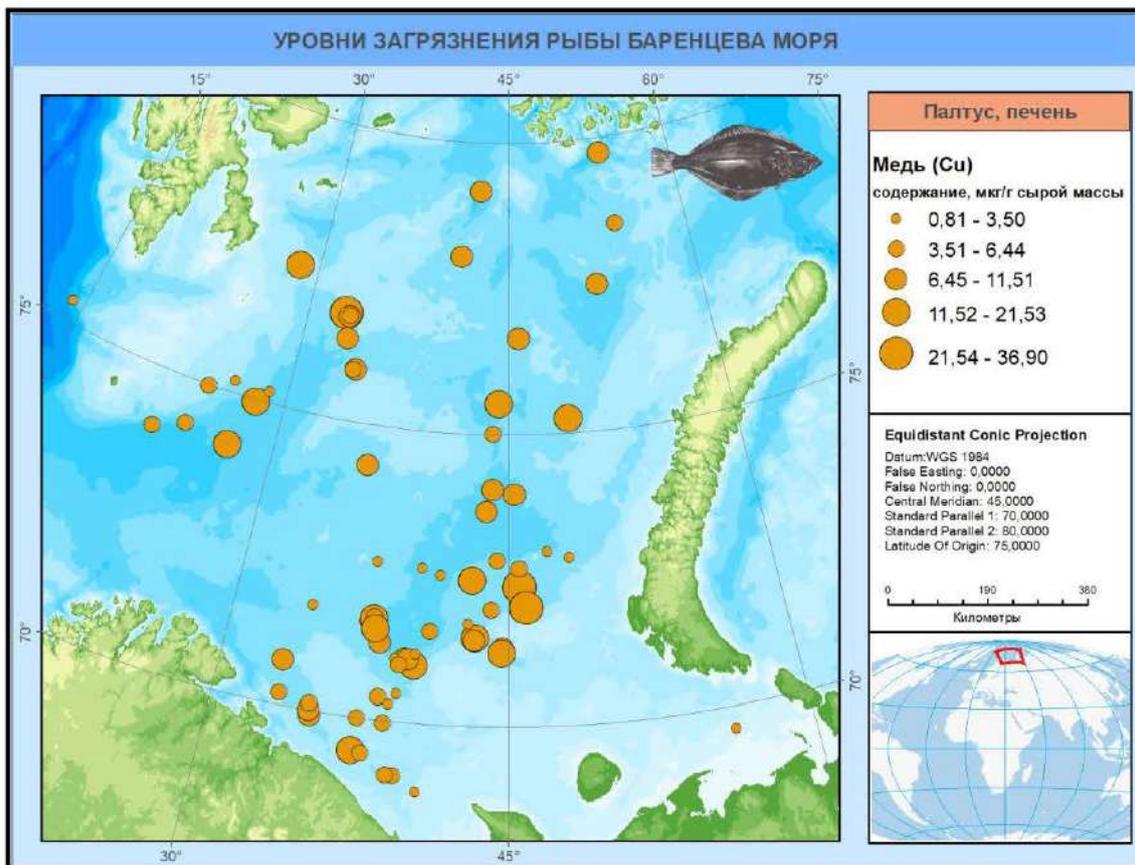
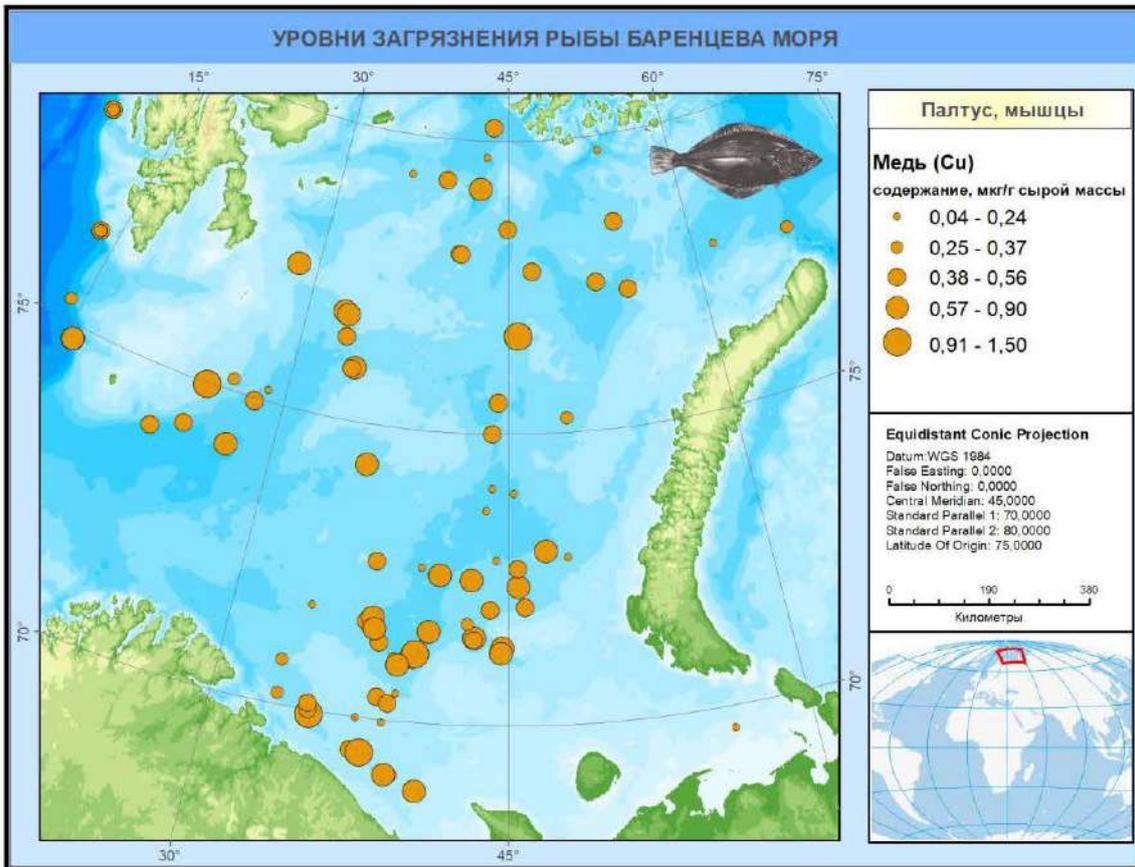


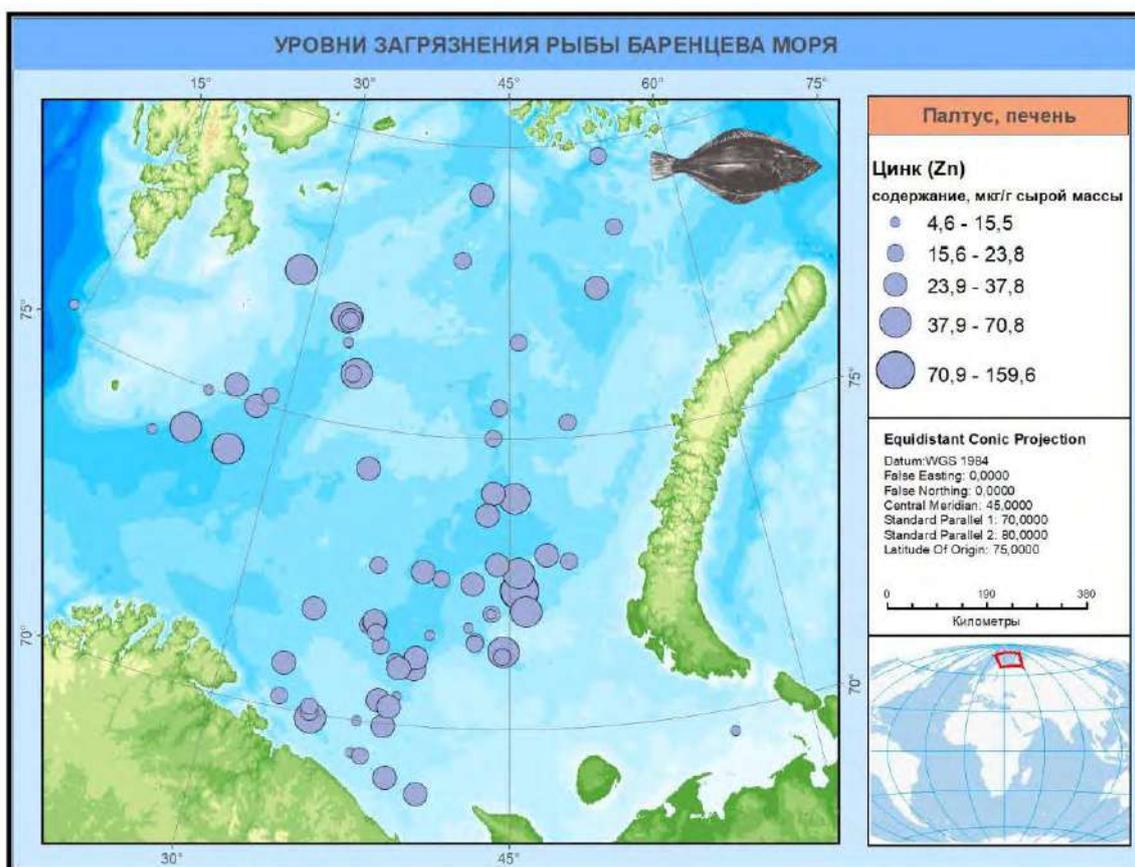
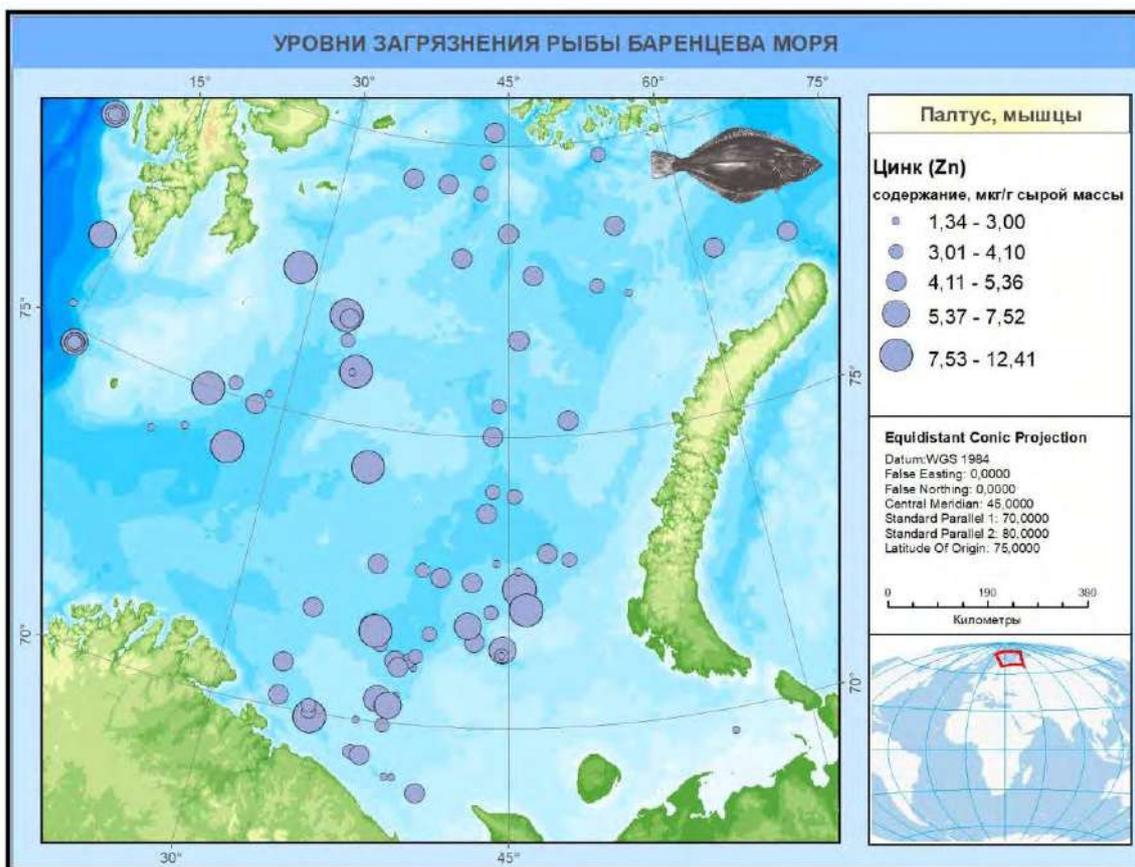
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в палтусе синекором в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

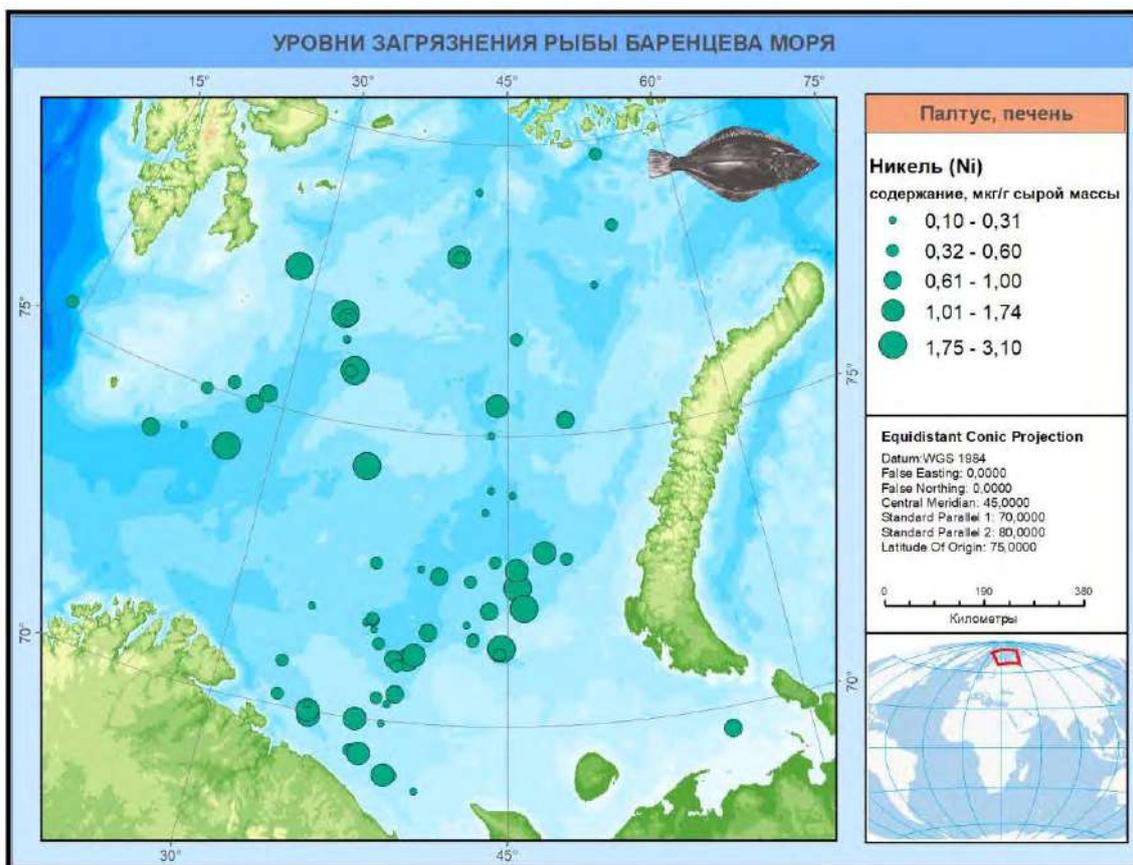
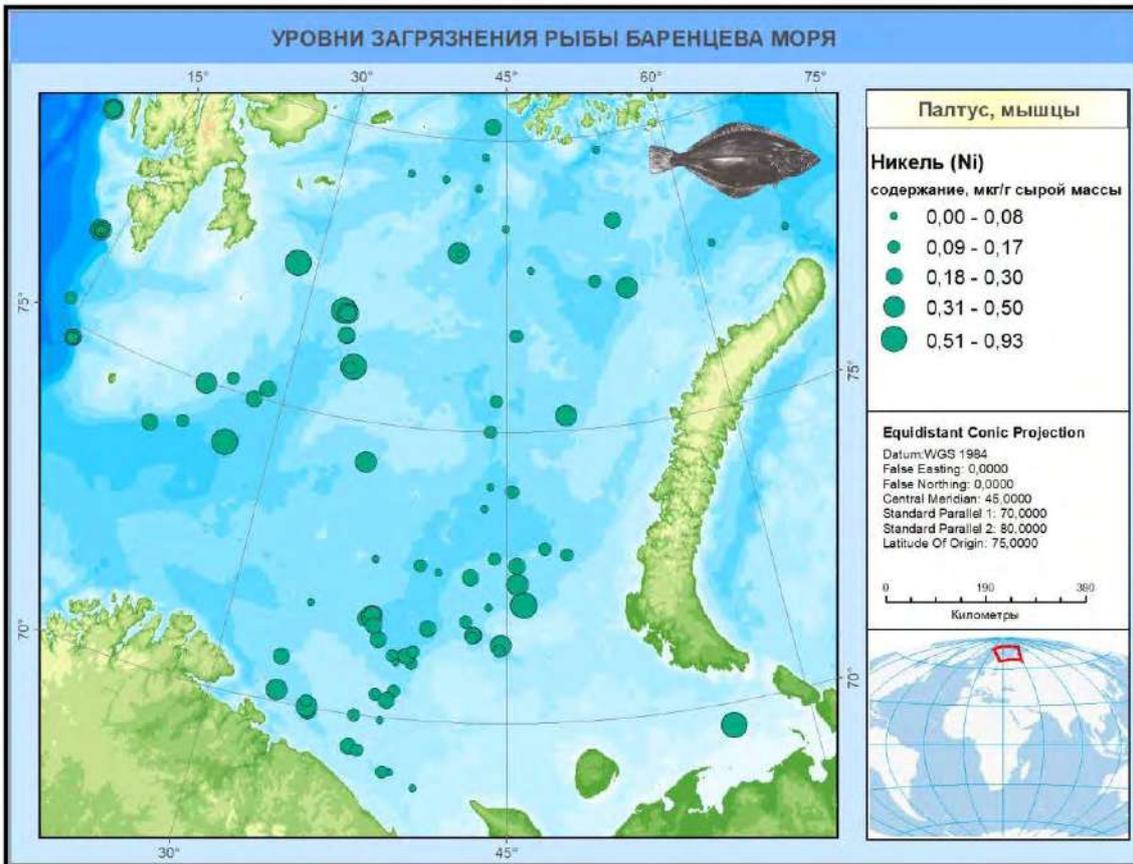


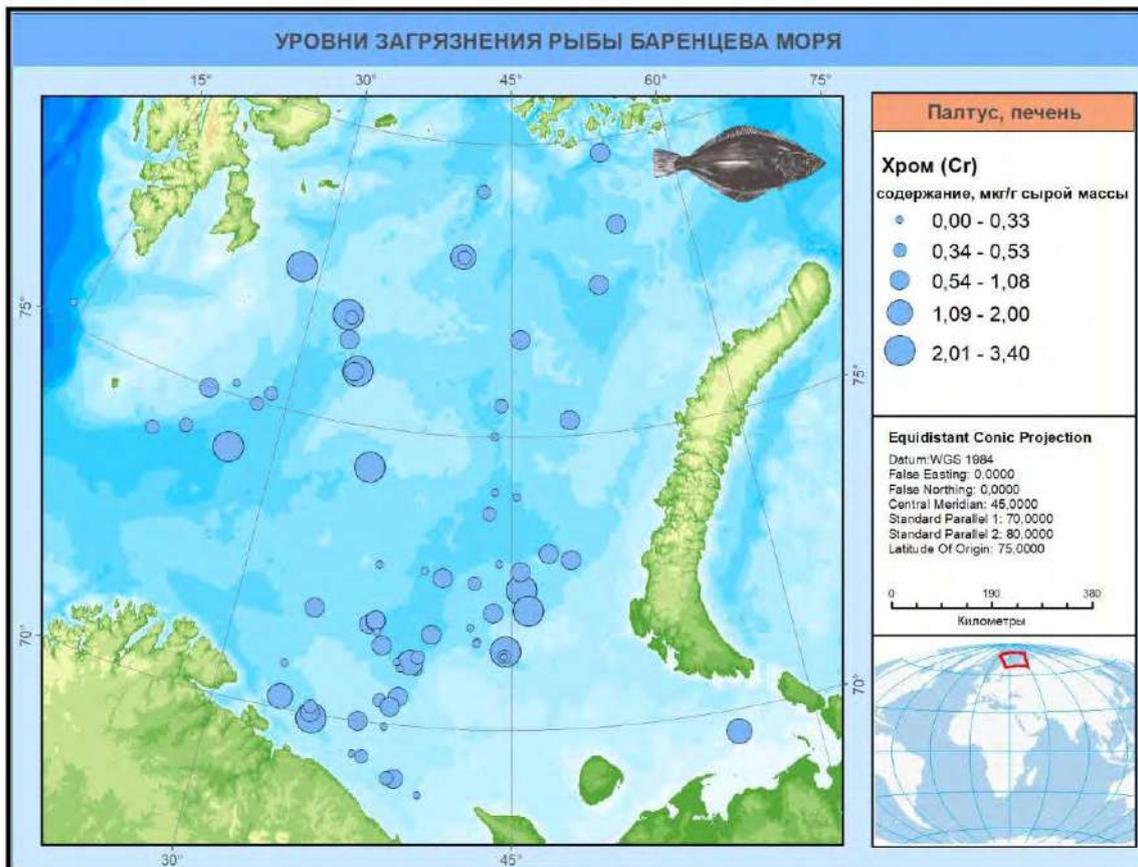
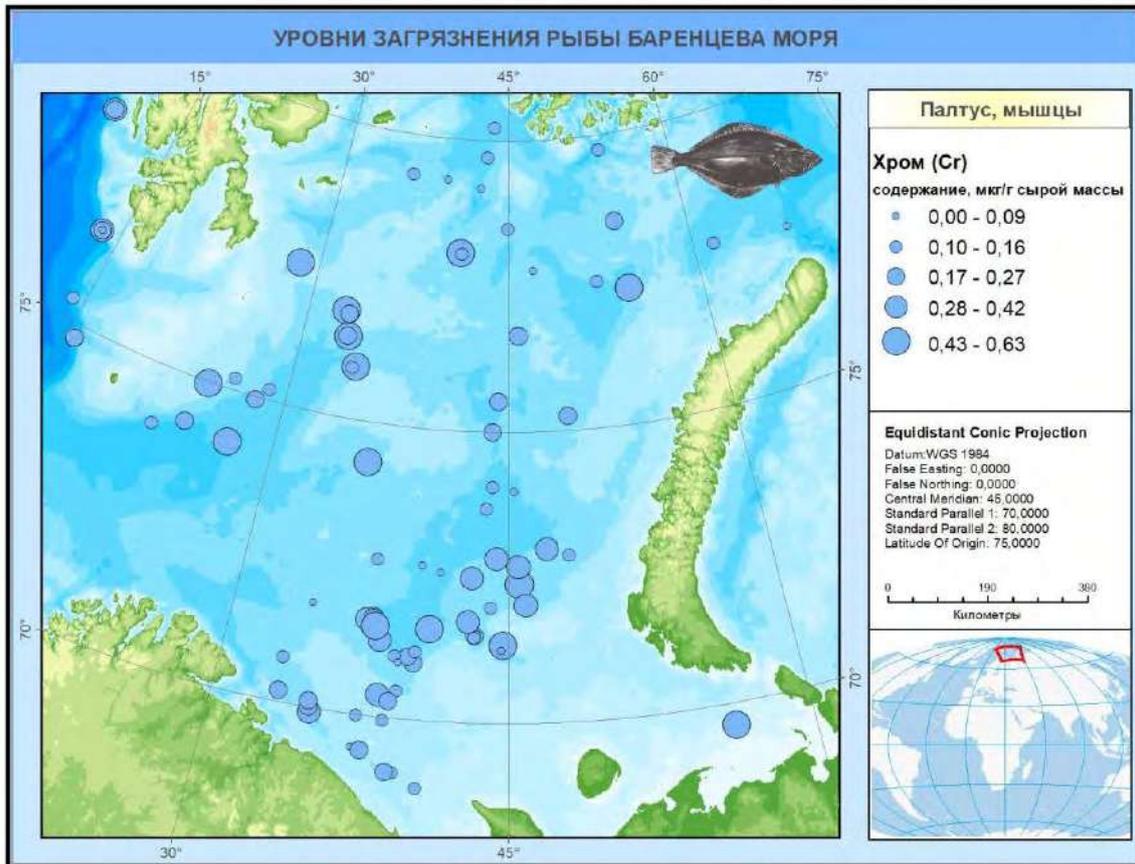


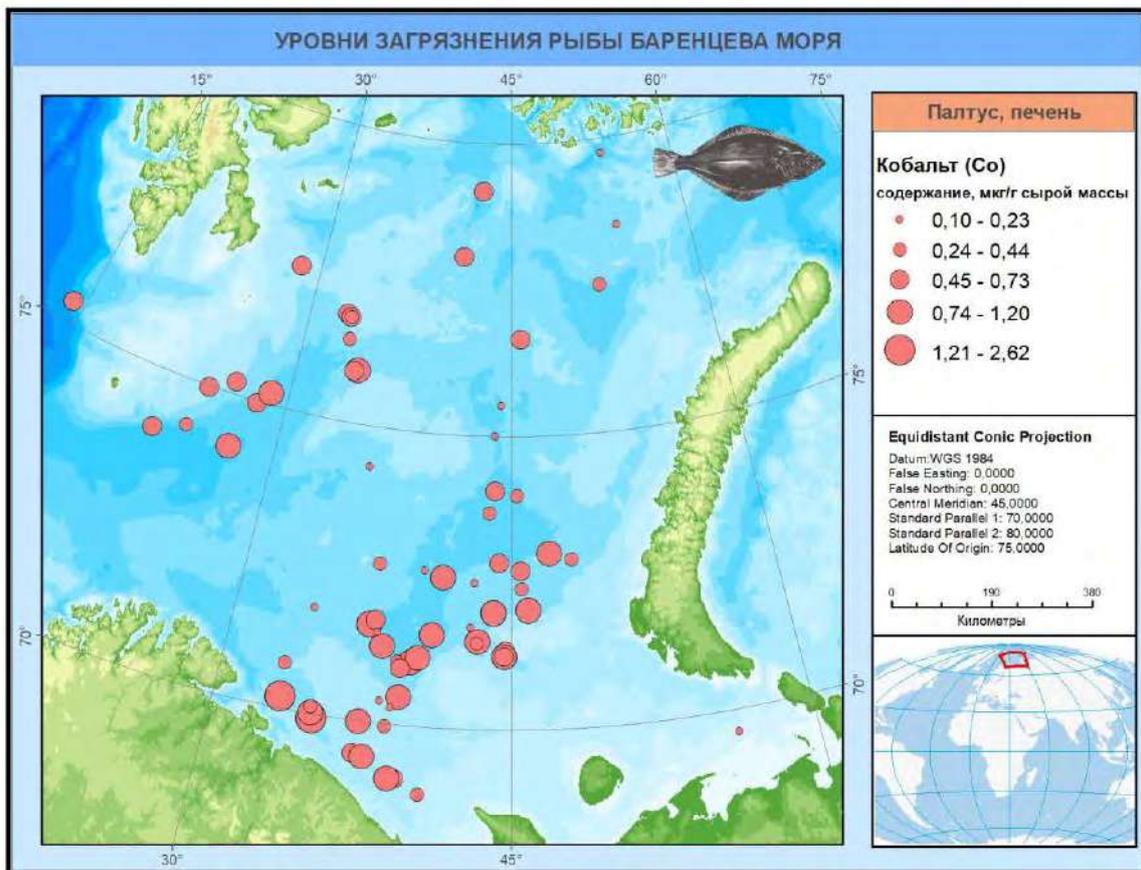
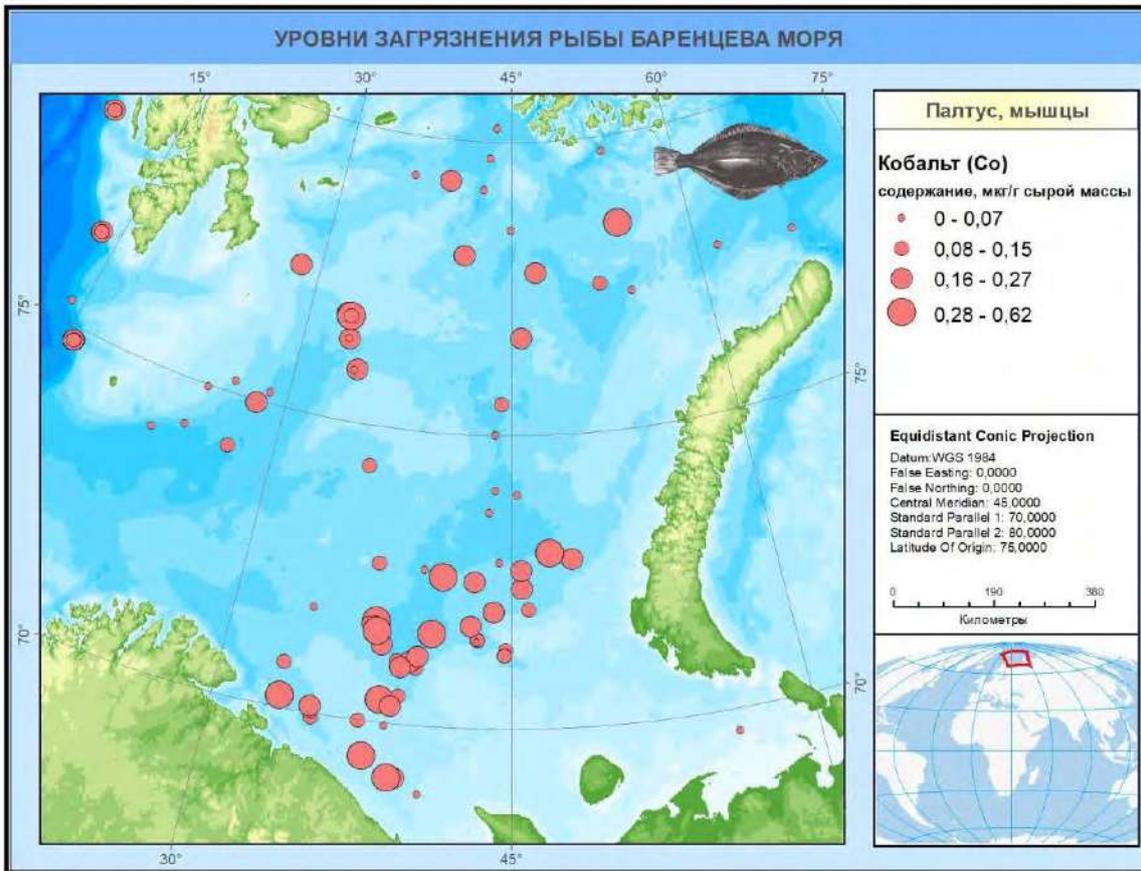


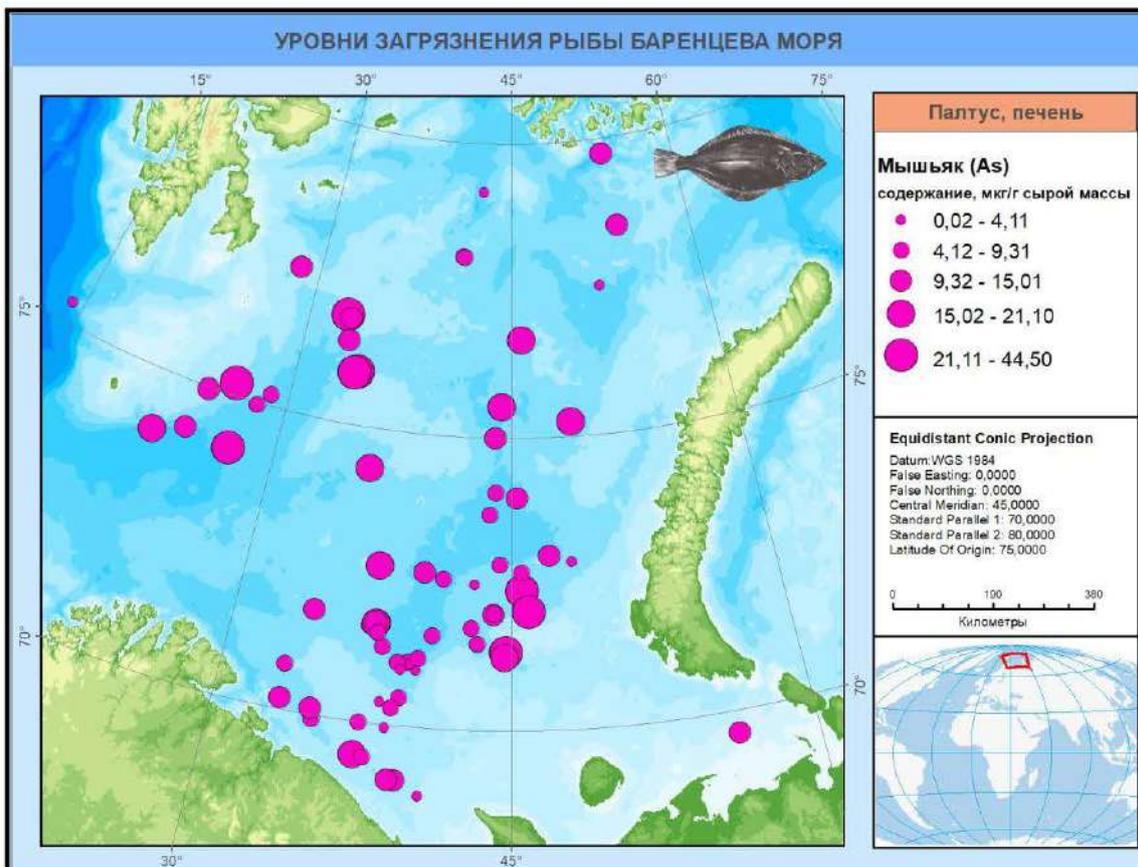
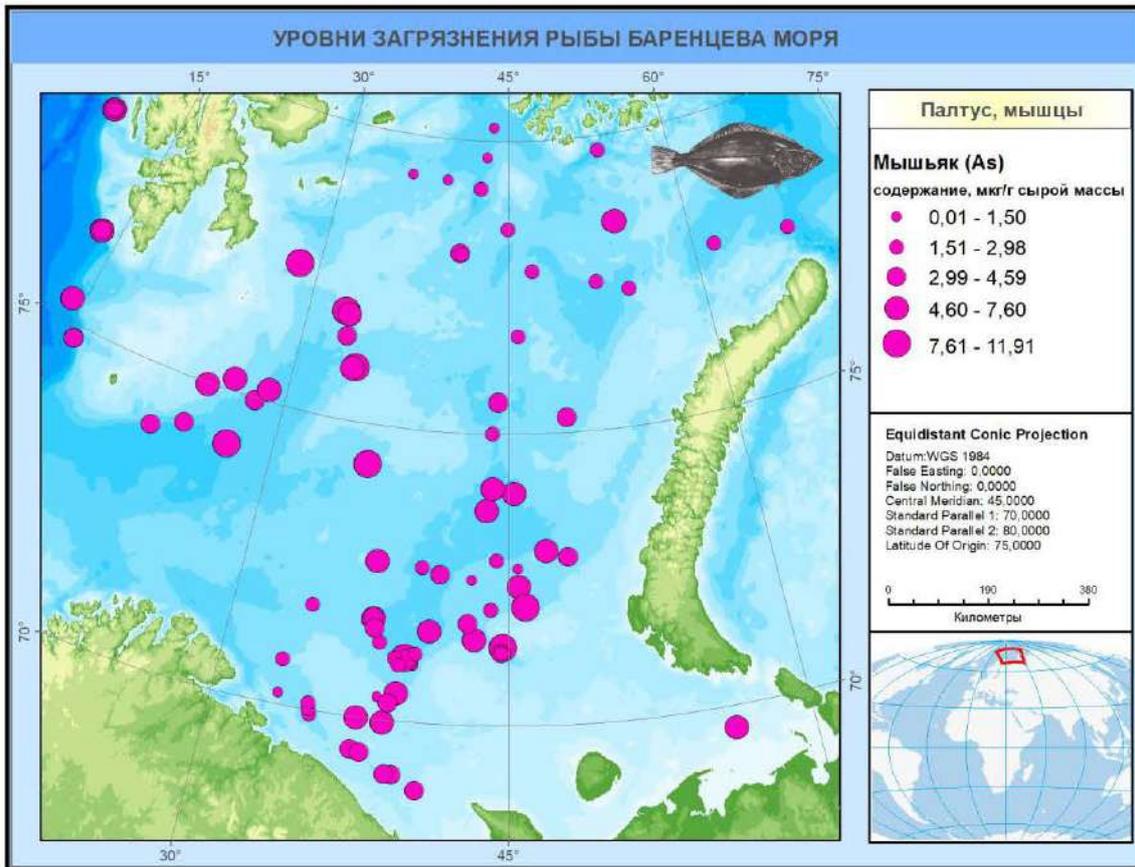


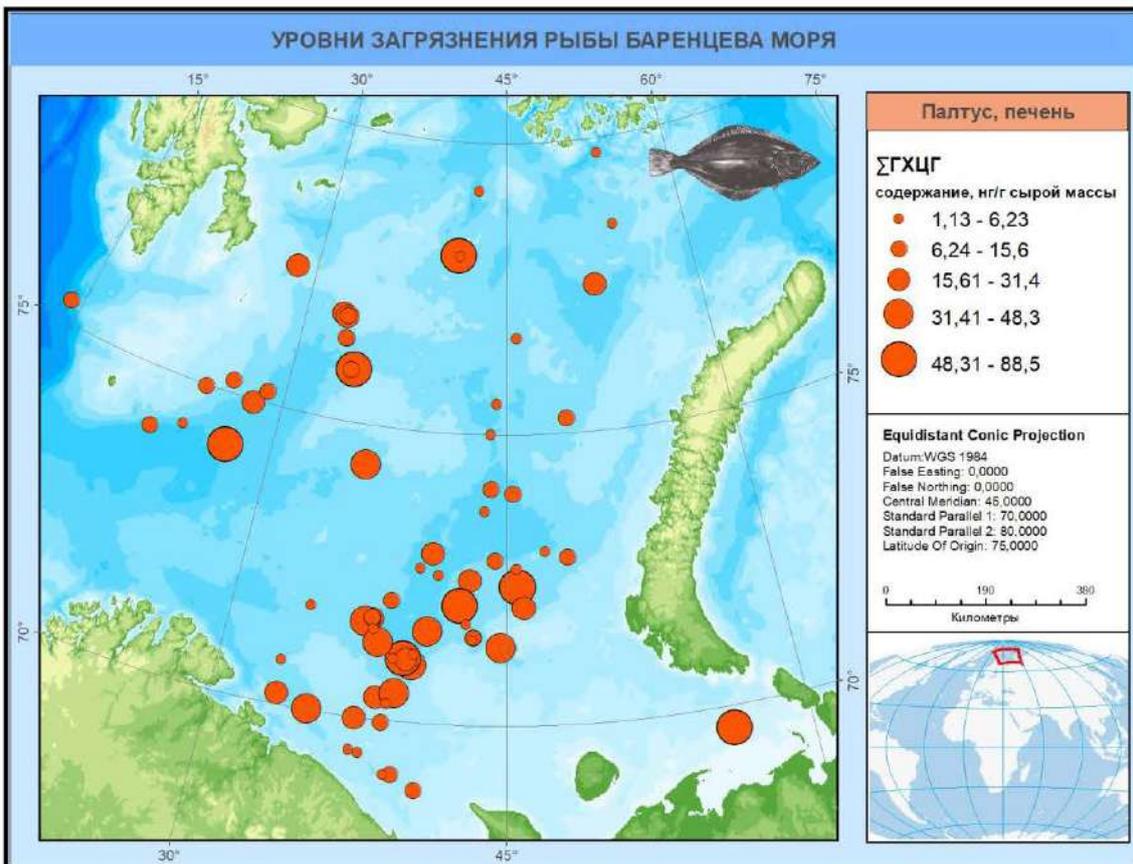
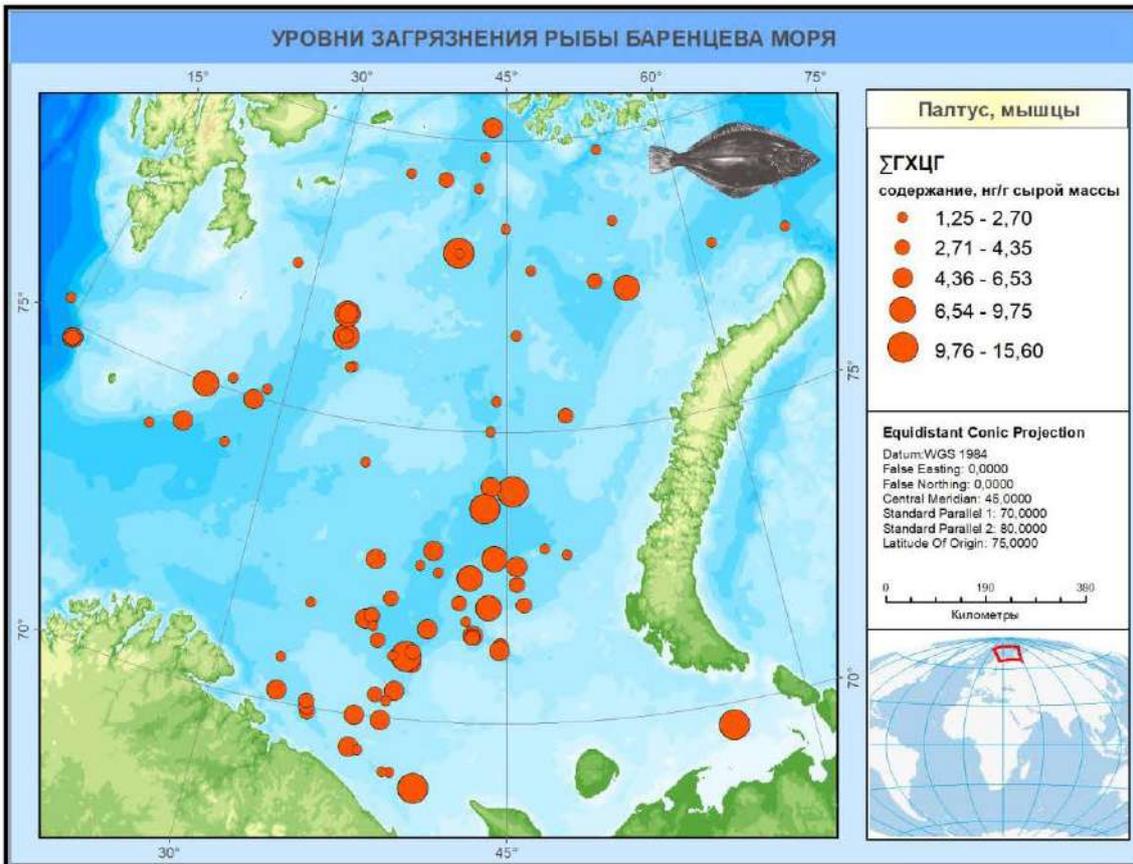


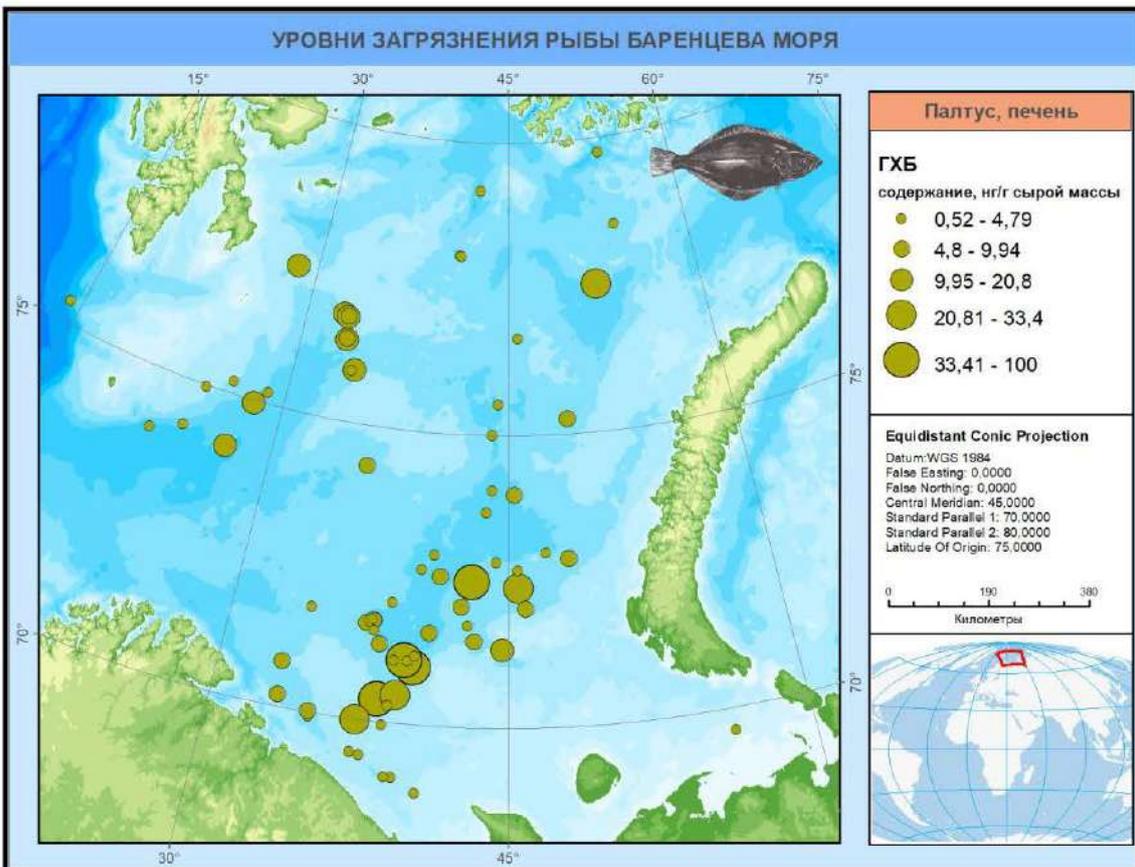
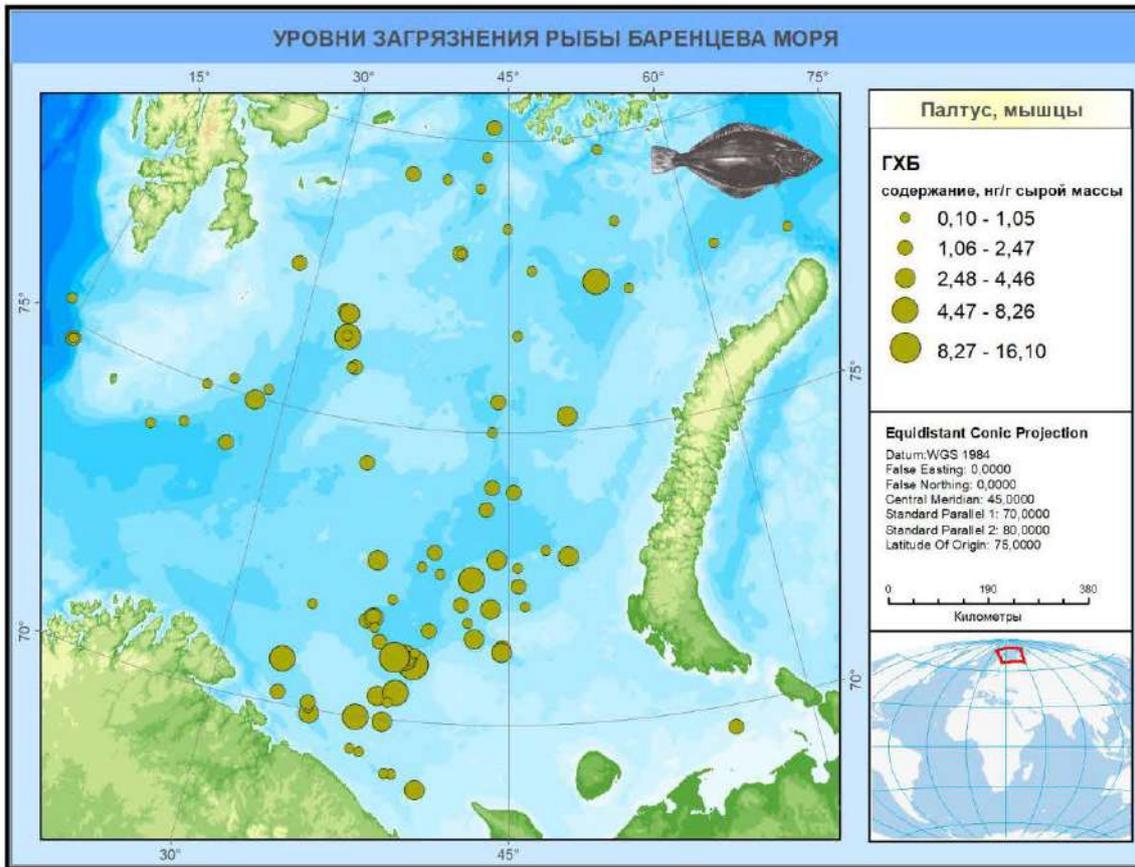


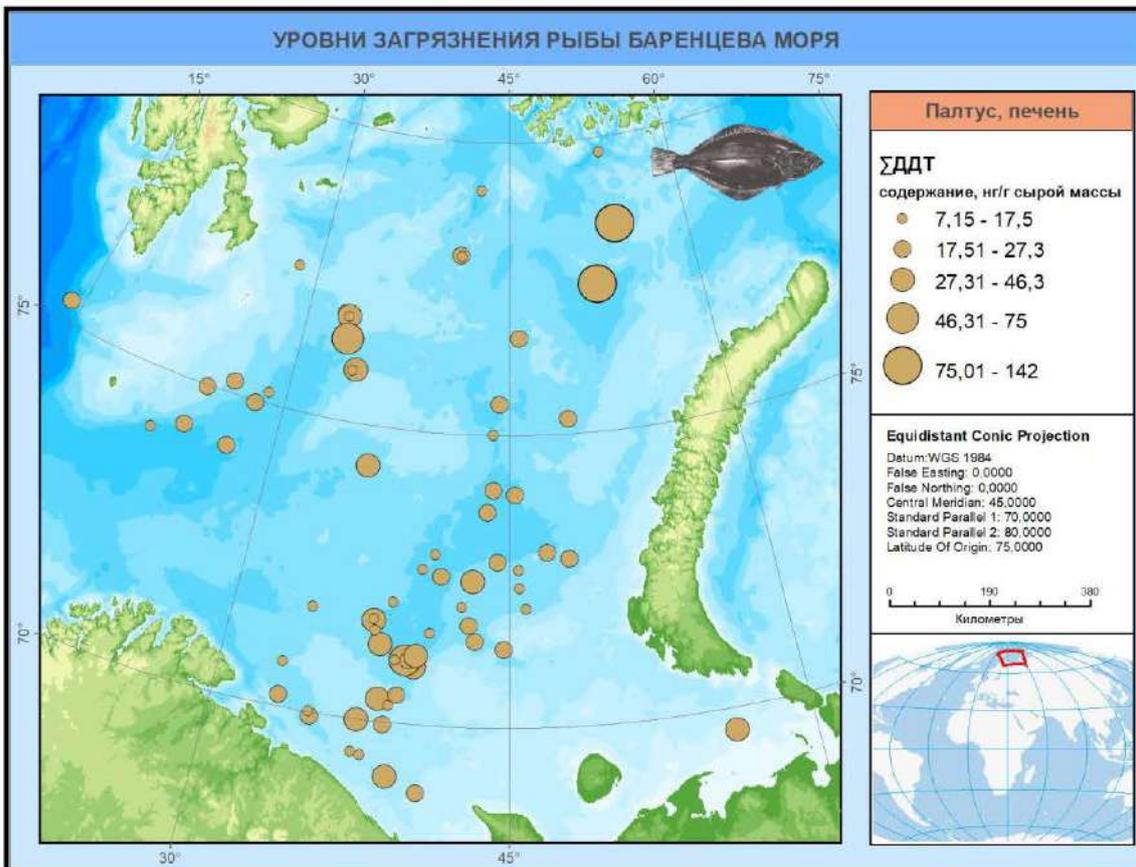
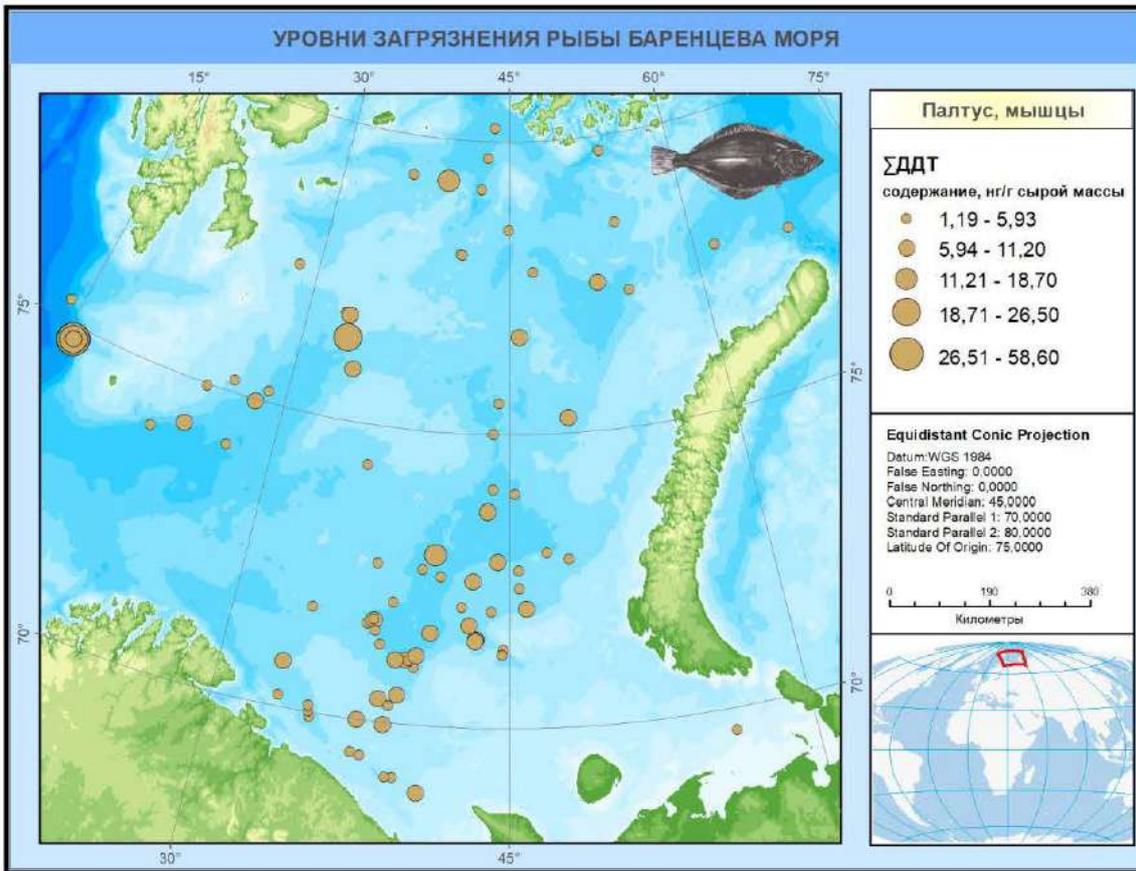


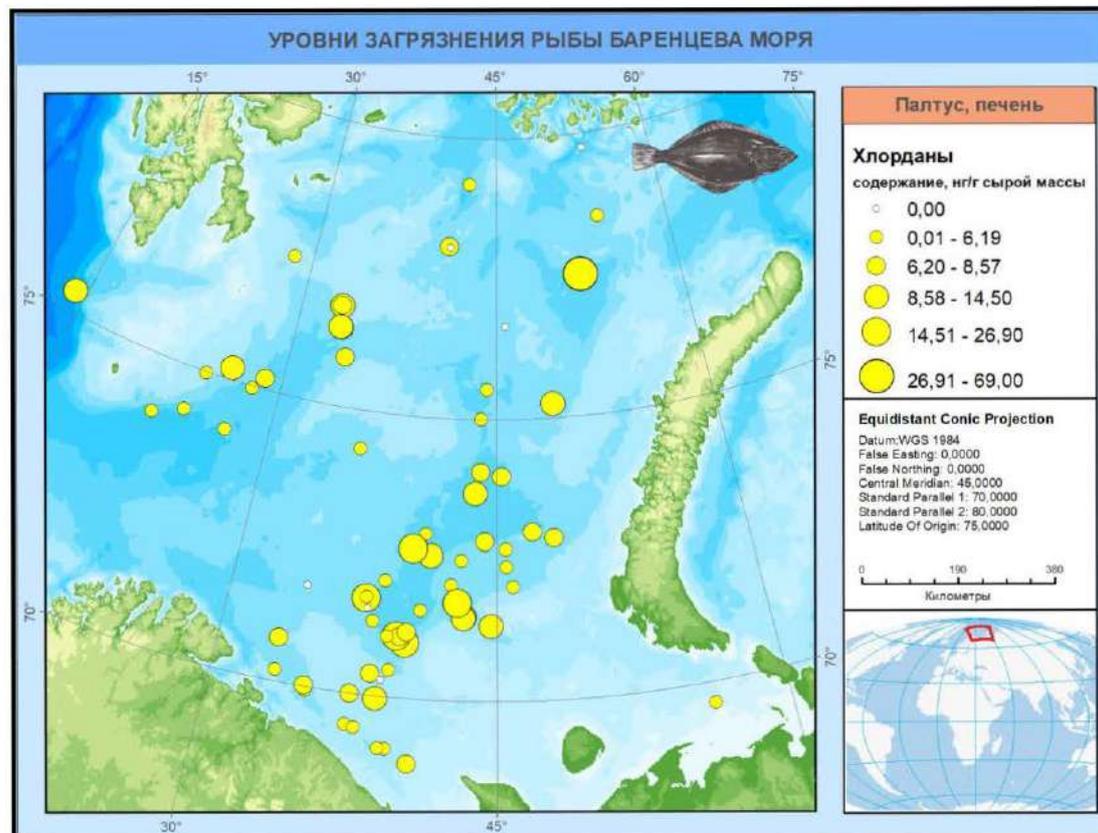
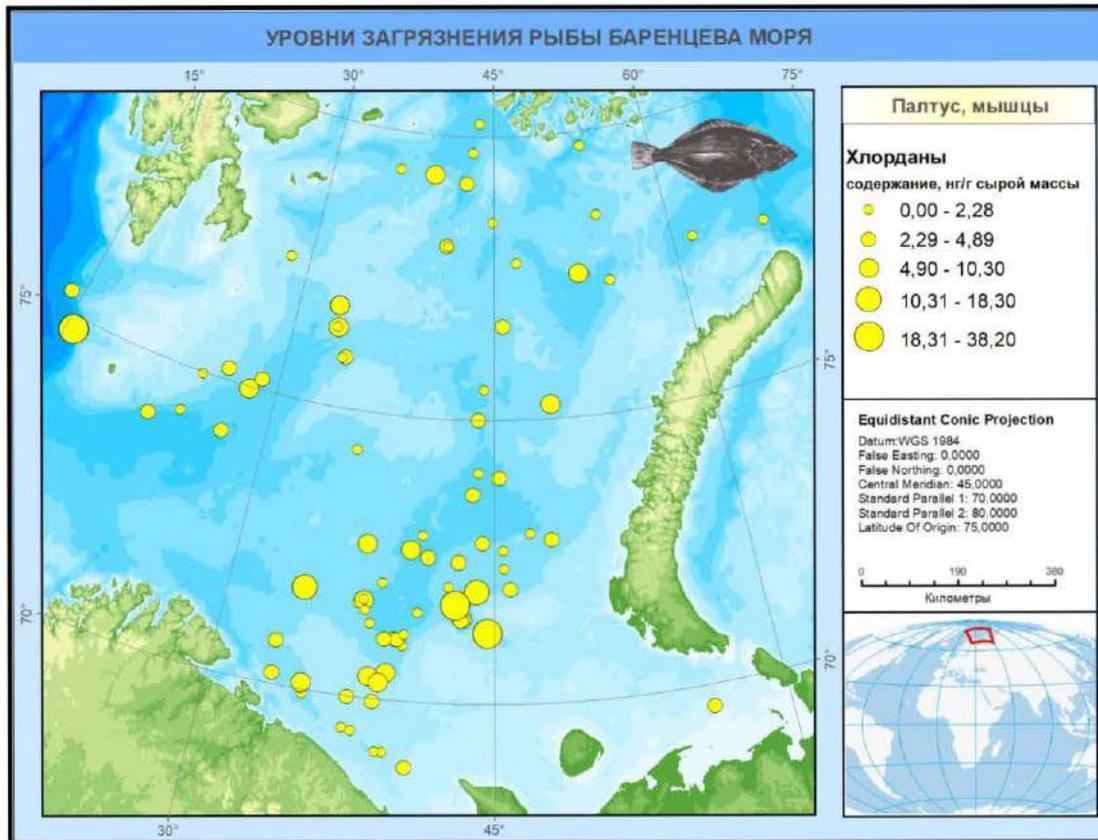


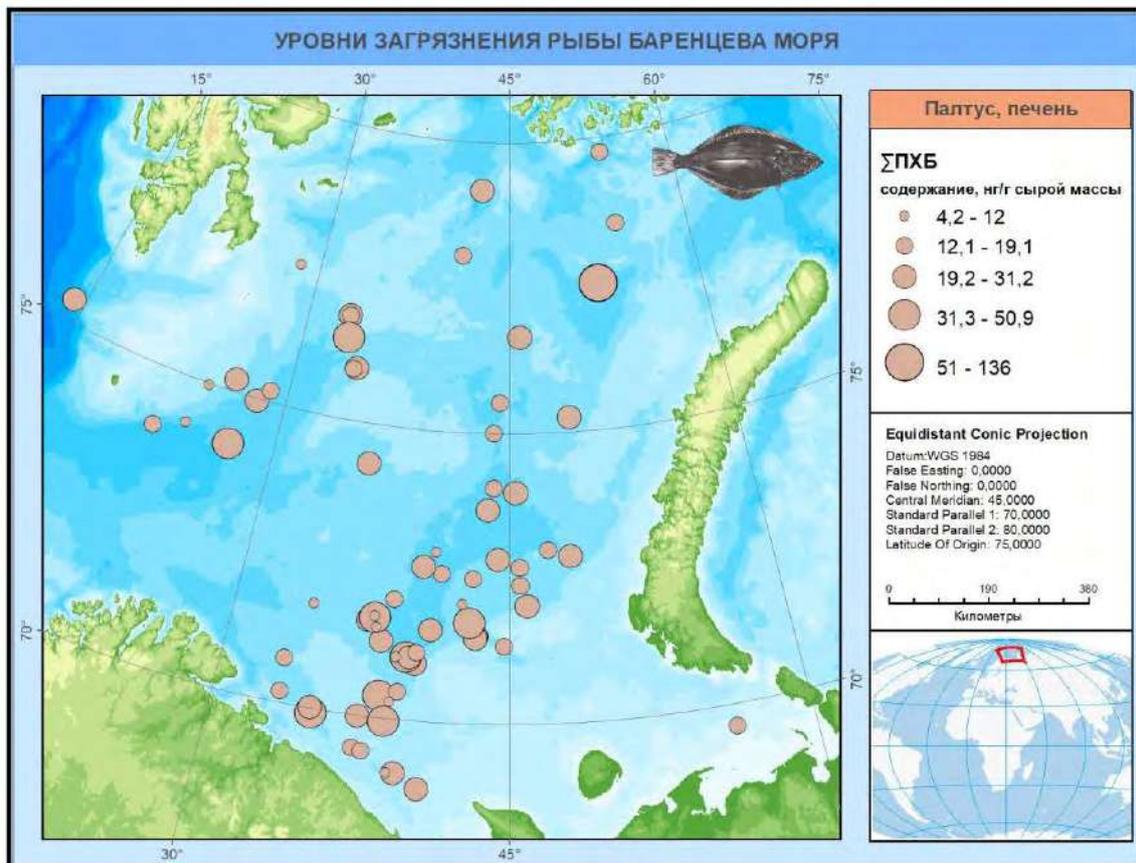
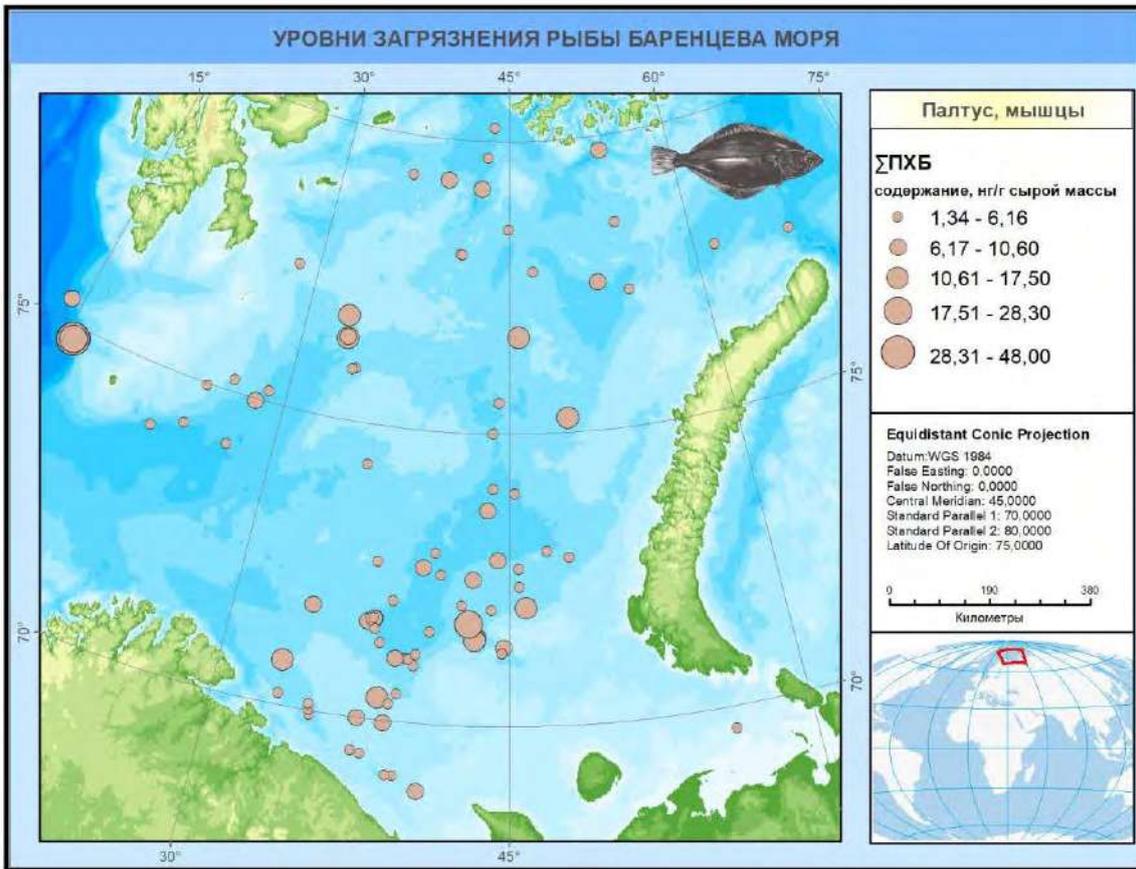








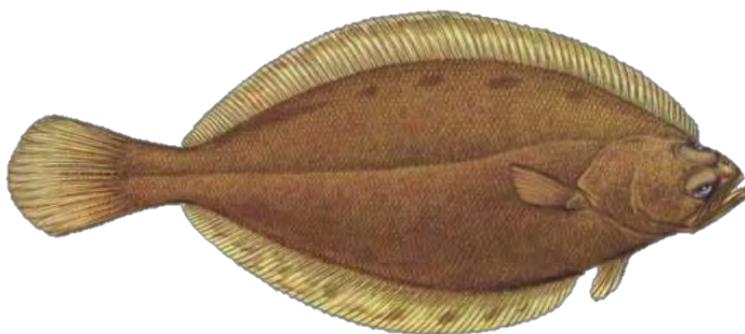




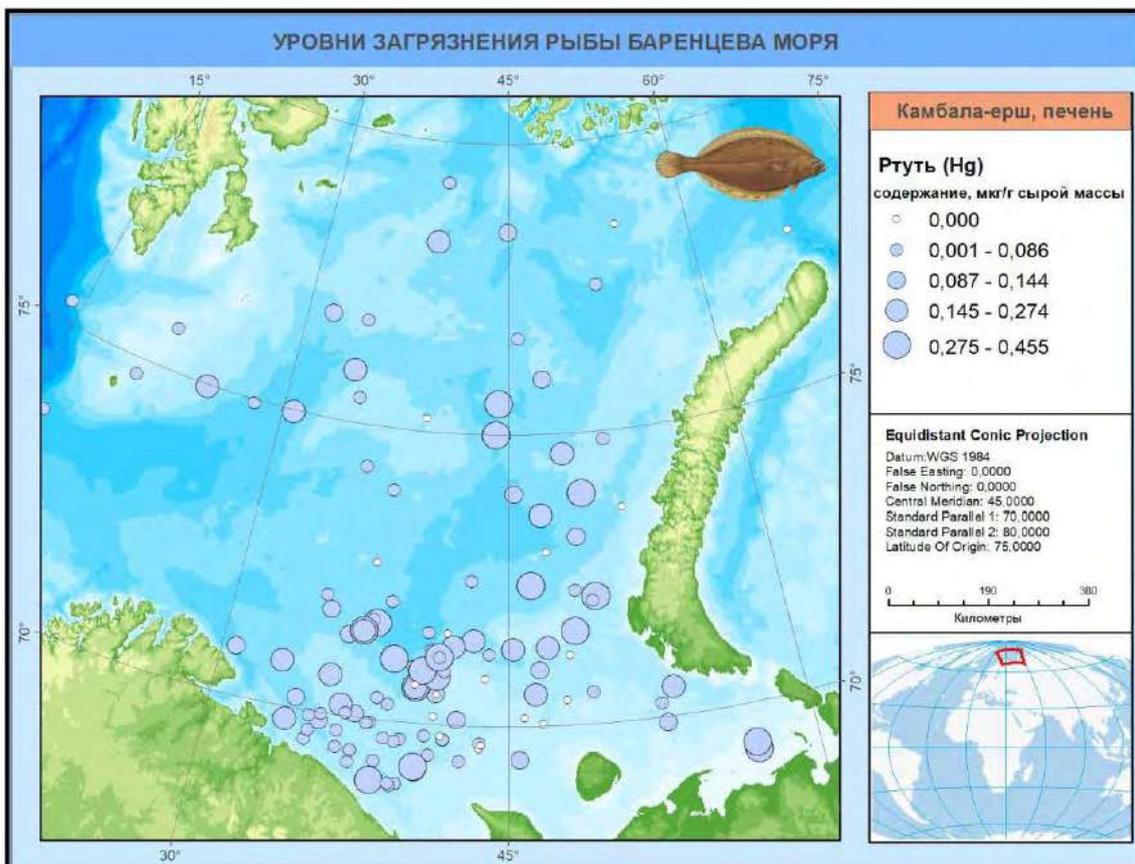
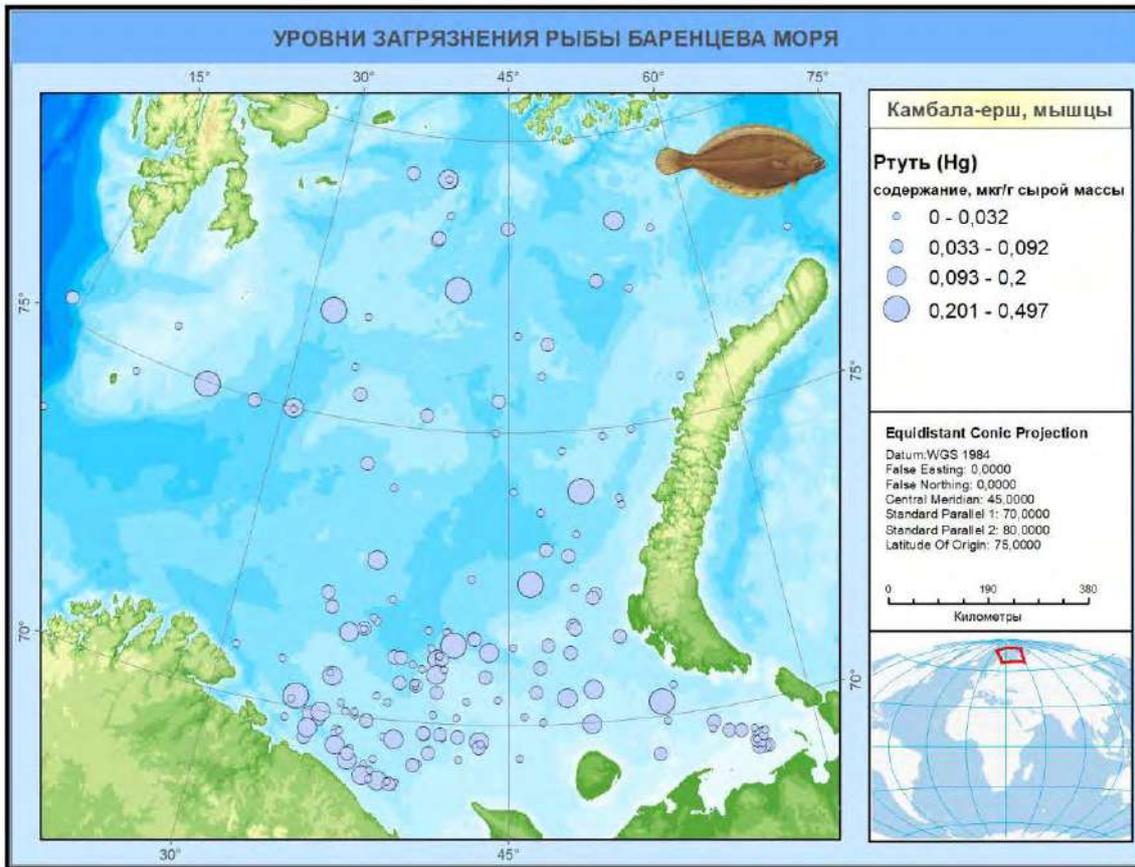
Камбала-ерш

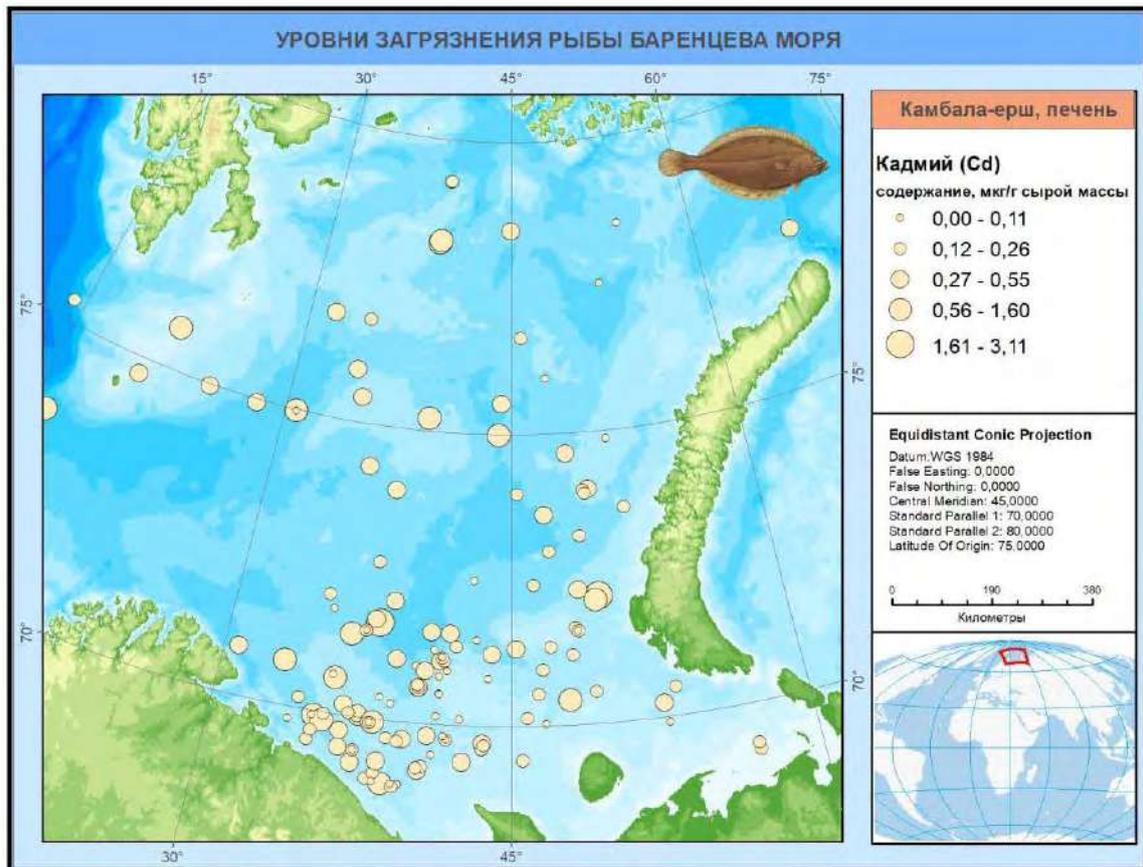
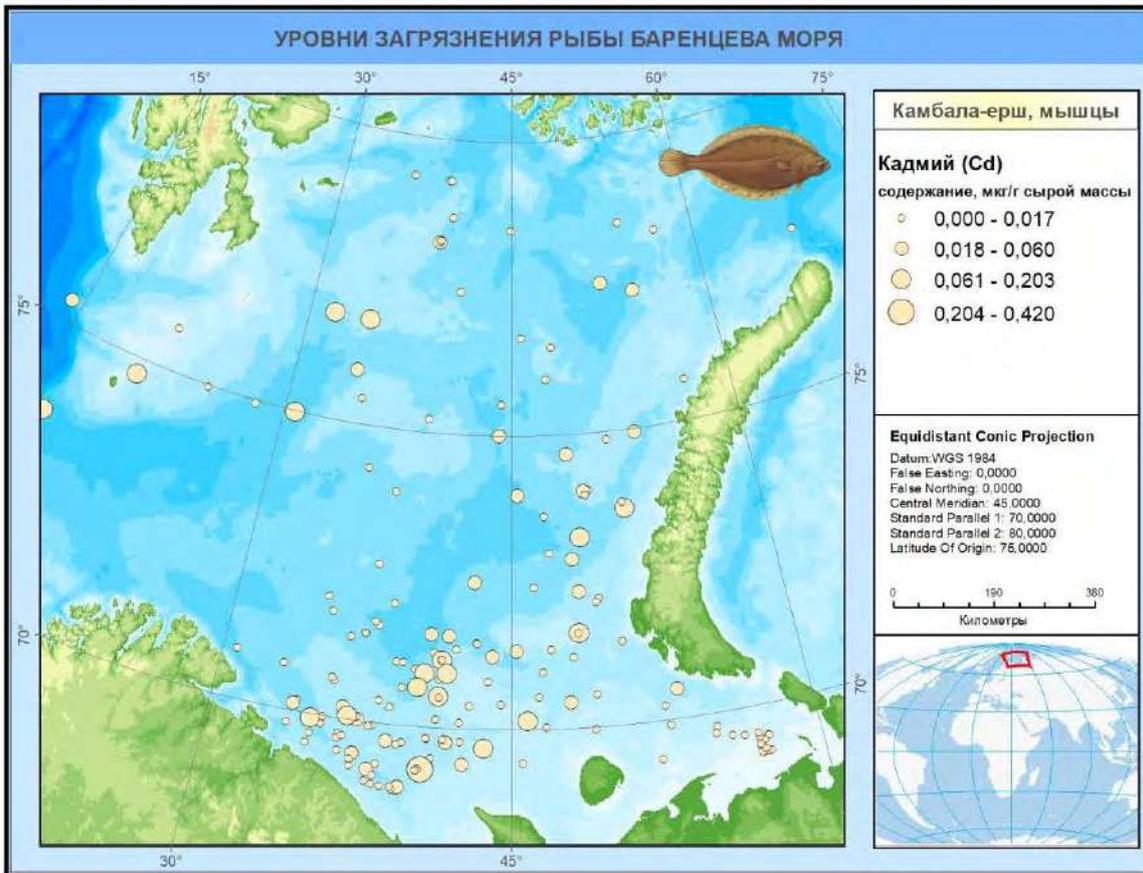
Камбала-ерш (*Hippoglossoides platessoides*). Другое название – европейская палтусовидная камбала. Еще один представитель отряда Камбалообразных (Pleuronectiformes). Это донный, бореальный европейский вид. Обычная длина камбалы-ерша около 30-48 см, в Баренцевом море достигает длины 52 см и массы до 1,5 кг. В других районах Северо-Восточной Атлантики имеет заметно меньшие размеры. Самки крупнее самцов, отличаются также более быстрым ростом. Камбала-ерш – очень пластичный вид: обитает как в широком диапазоне температуры (от -1 до $+7$ °C), так и глубин (10-600 м). Предпочитает мелкий песок или ил. В Баренцевом море распространена практически повсеместно, один из массовых видов. Не образует скоплений и не совершает больших миграций. Нерест – в весенне-летний период (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Ловят камбалу-ерша только в качестве прилова при донном траловом промысле главным образом трески. Отечественный вылов в 2010 г. был максимальный за 11 лет наблюдений в Баренцевом море и составил 4,1 тыс. т. В последующие годы он колебался от 2,1 (2014 г.) до 3,2 (2020 г.) тыс. т (Состояние сырьевых биологических..., 2018, 2021). Камбала-ерш отличается высокой жирностью и особенно хороша в вяленом виде. Кроме того, ее употребляют в охлажденном и мороженом виде (Вилер, 1983, Долгов, 2012). Помимо использования ее в качестве столовой рыбы, камбала-ерш рекомендуется для производства консервов (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

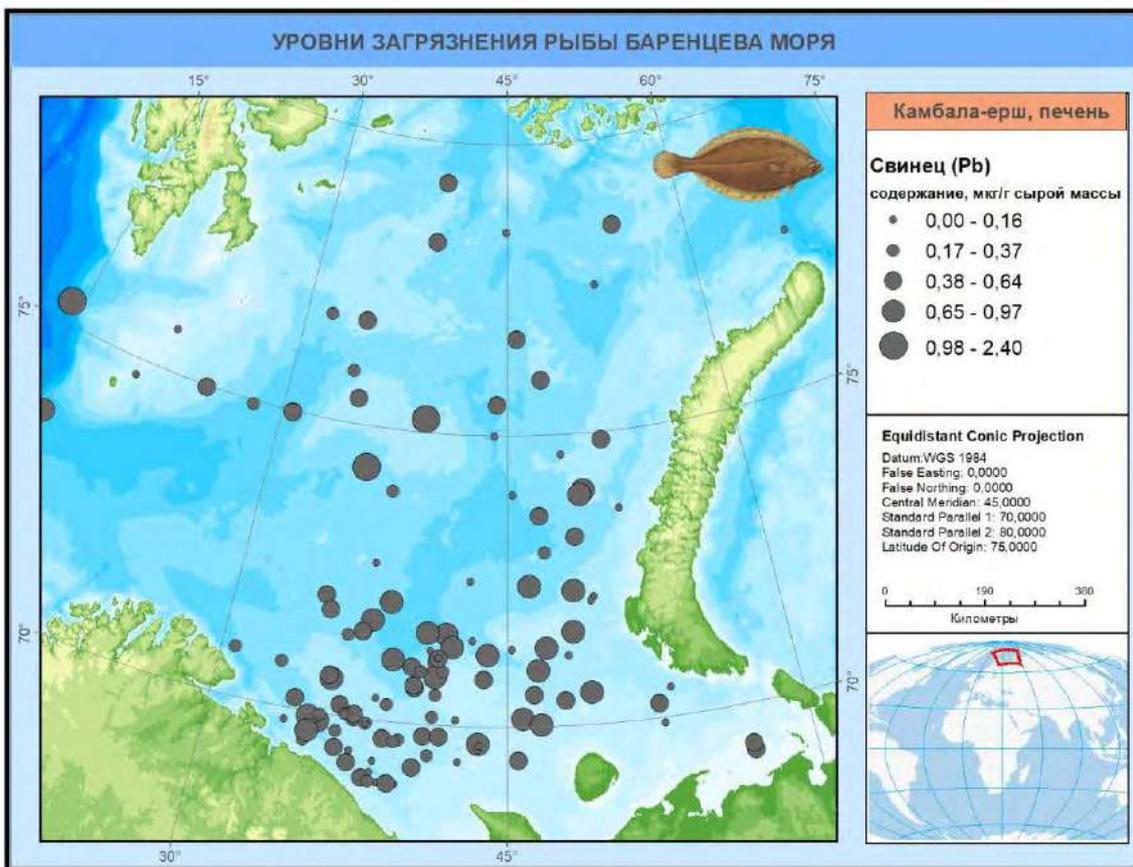
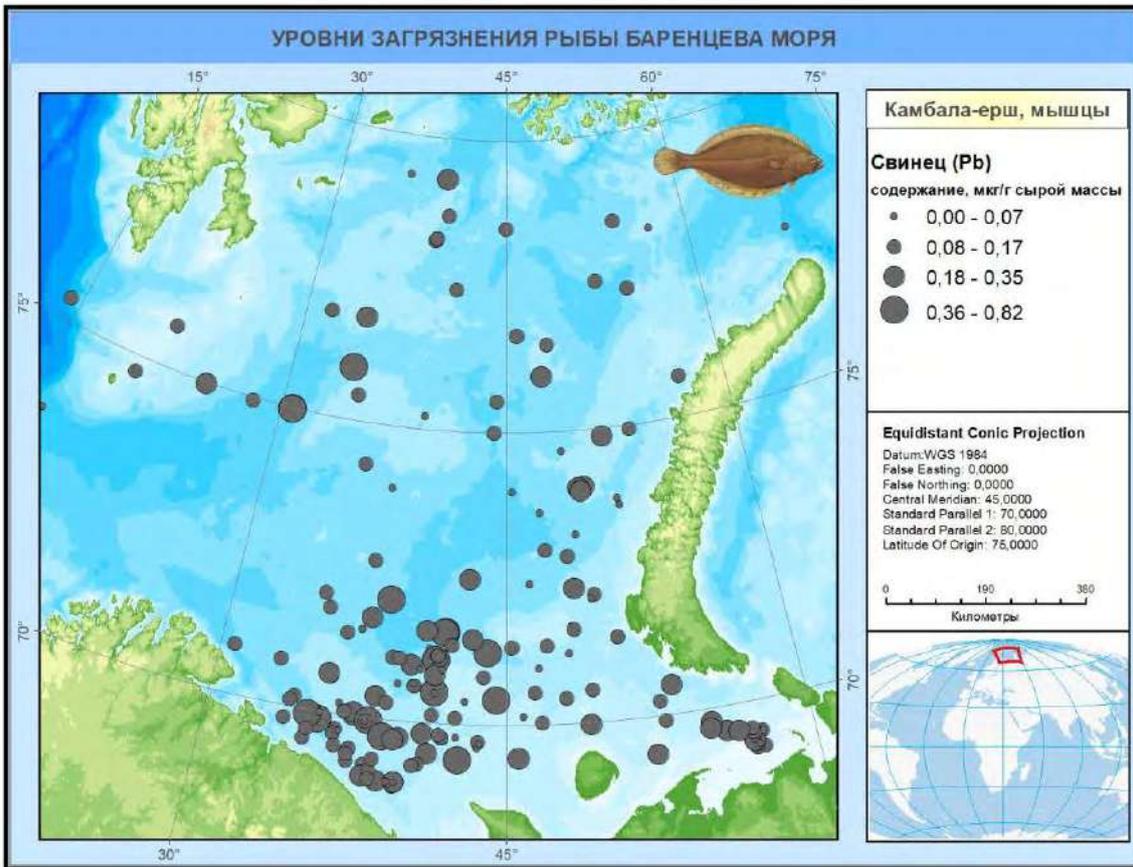
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах камбалы-ерш составляет $0,051 \pm 0,072$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,021 \pm 0,042$ мкг/г, Pb – $0,14 \pm 0,13$ мкг/г, Cu – $0,38 \pm 0,18$ мкг/г, Zn – $4,80 \pm 1,88$ мкг/г, Ni – $0,22 \pm 0,15$ мкг/г, Cr – $0,21 \pm 0,17$ мкг/г, Co – $0,15 \pm 0,15$ мкг/г и As – $4,96 \pm 2,83$ мкг/г (N=219); Σ ГХЦГ – $2,45 \pm 2,92$ нг/г, ГХБ – $1,23 \pm 2,79$ нг/г, Σ ДДТ – $2,52 \pm 1,99$ нг/г, Σ ПХБ – $2,86 \pm 2,0$ нг/г и суммы хлорданов – $0,86 \pm 1,34$ нг/г сырой массы (N=214).

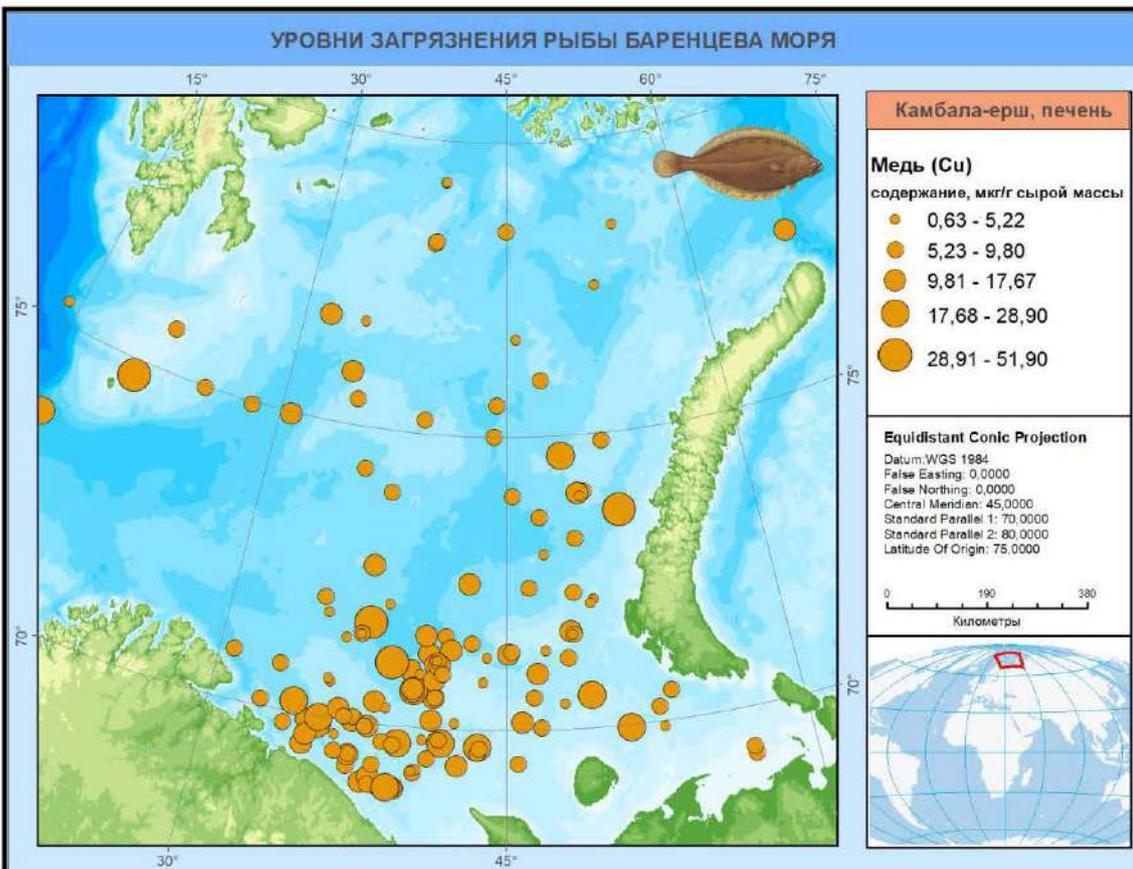
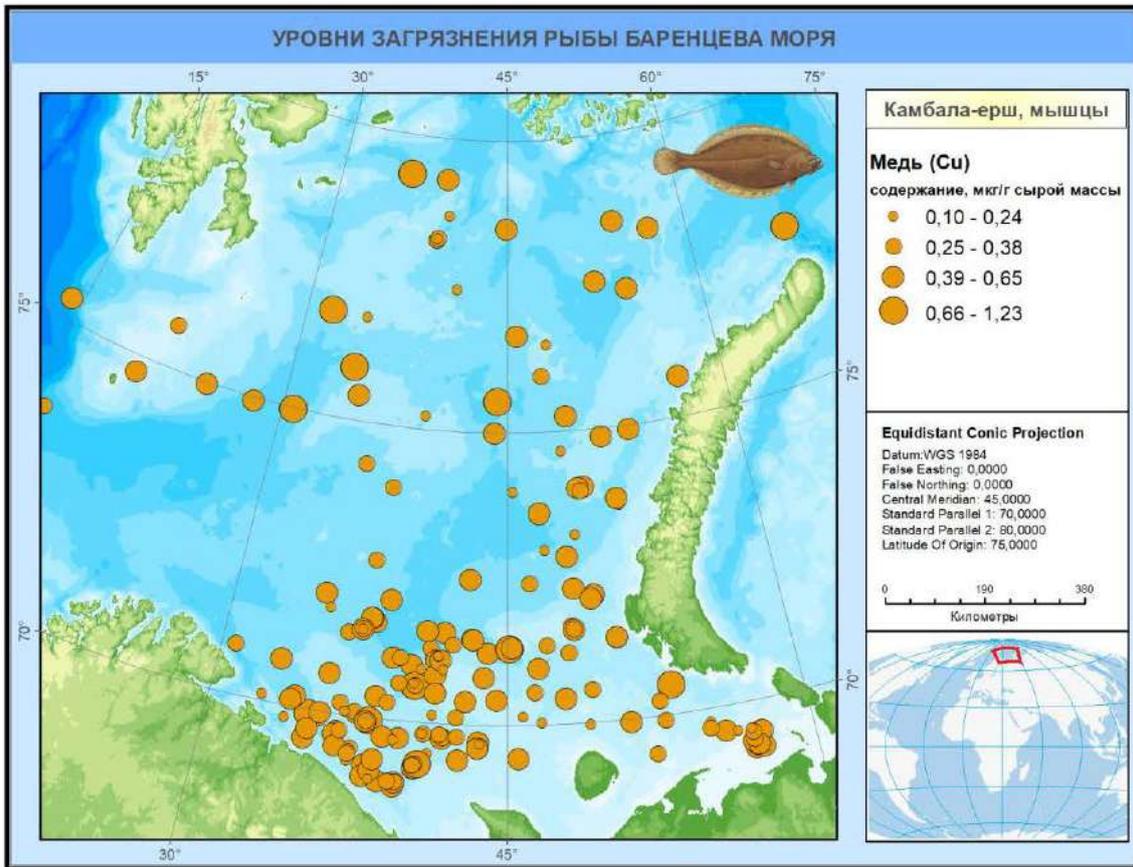


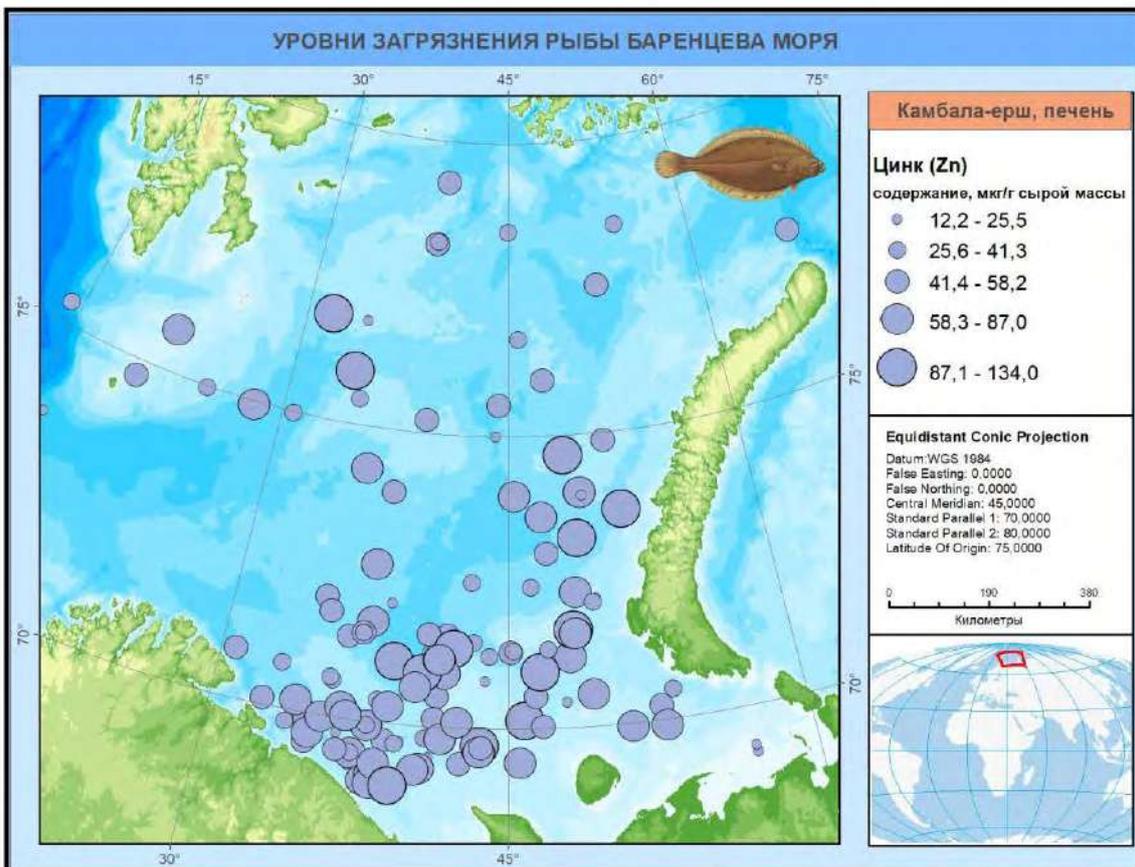
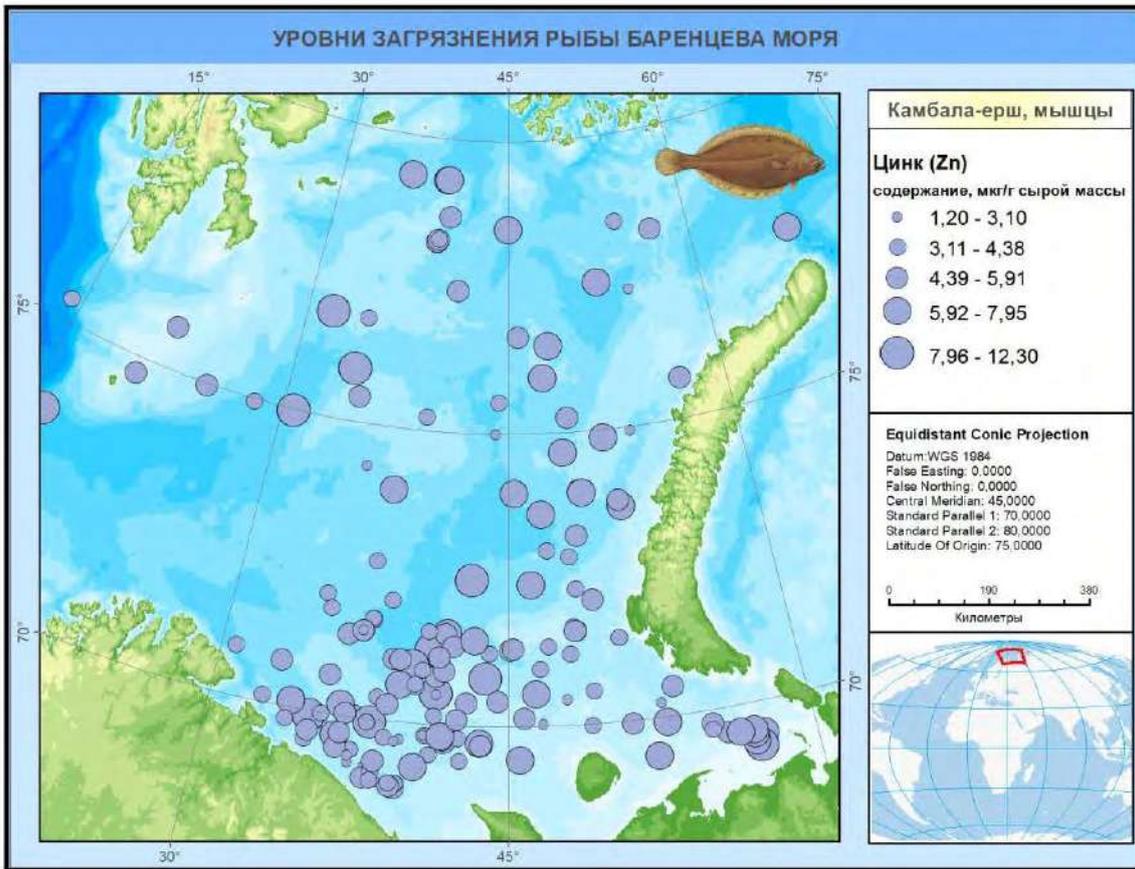
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в камбале-ерше в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

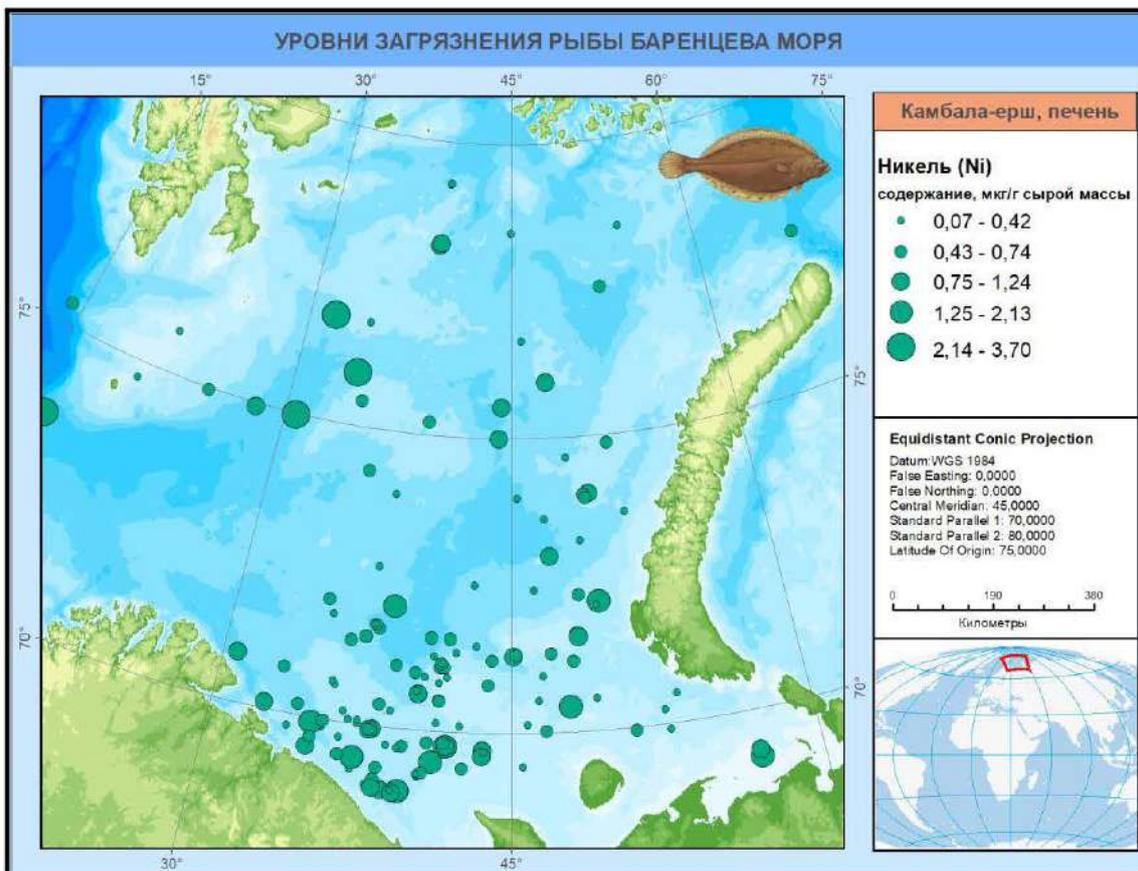
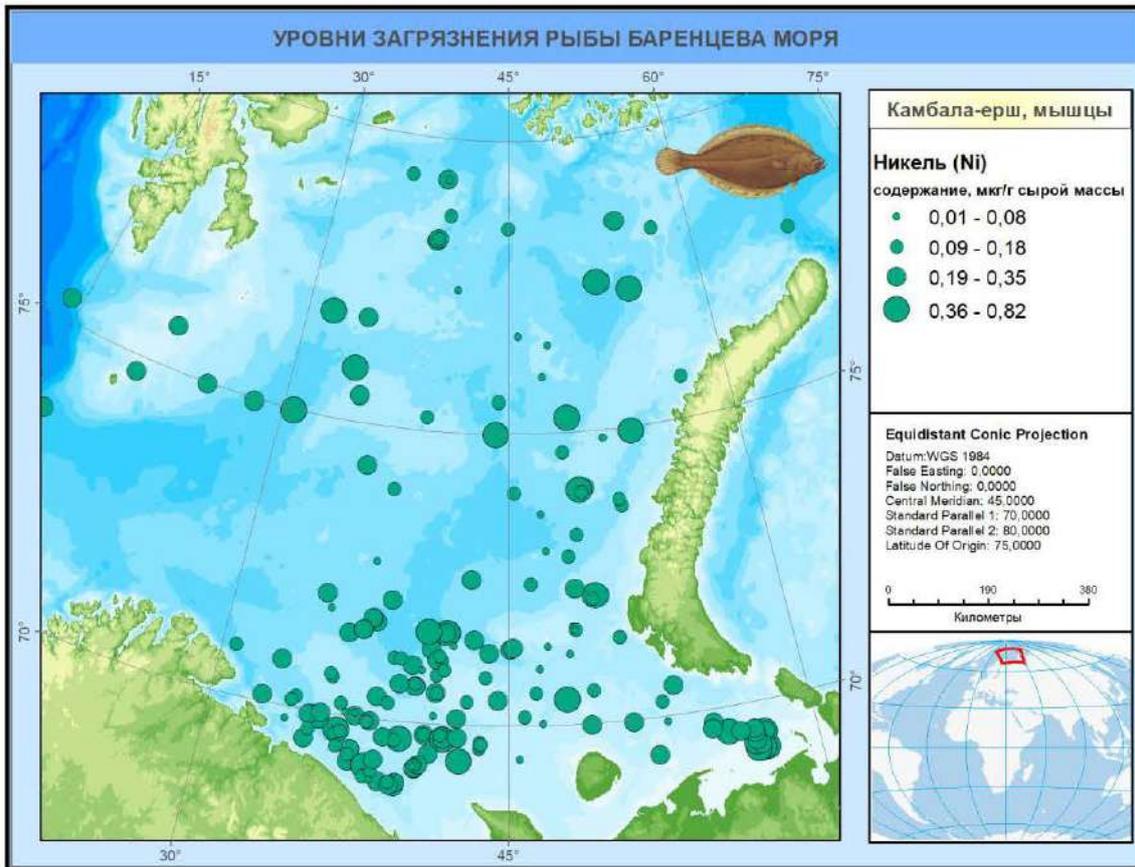


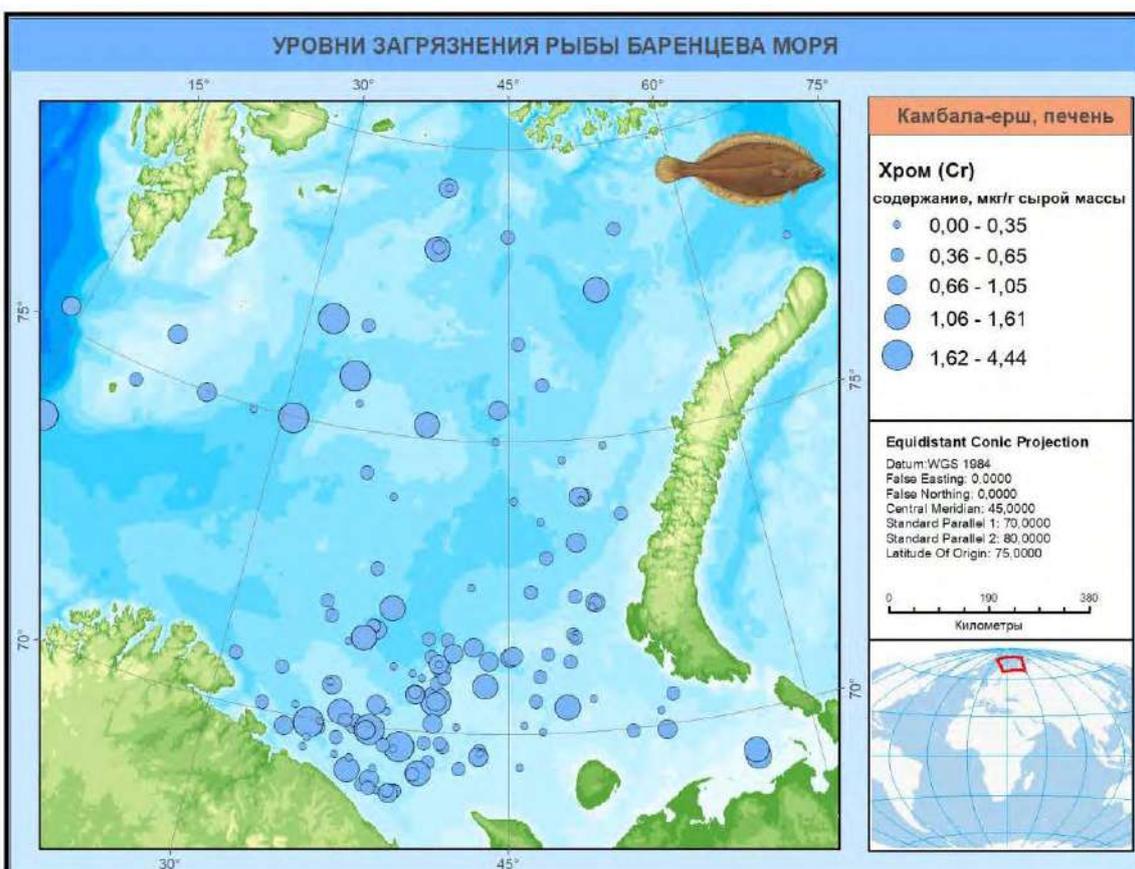
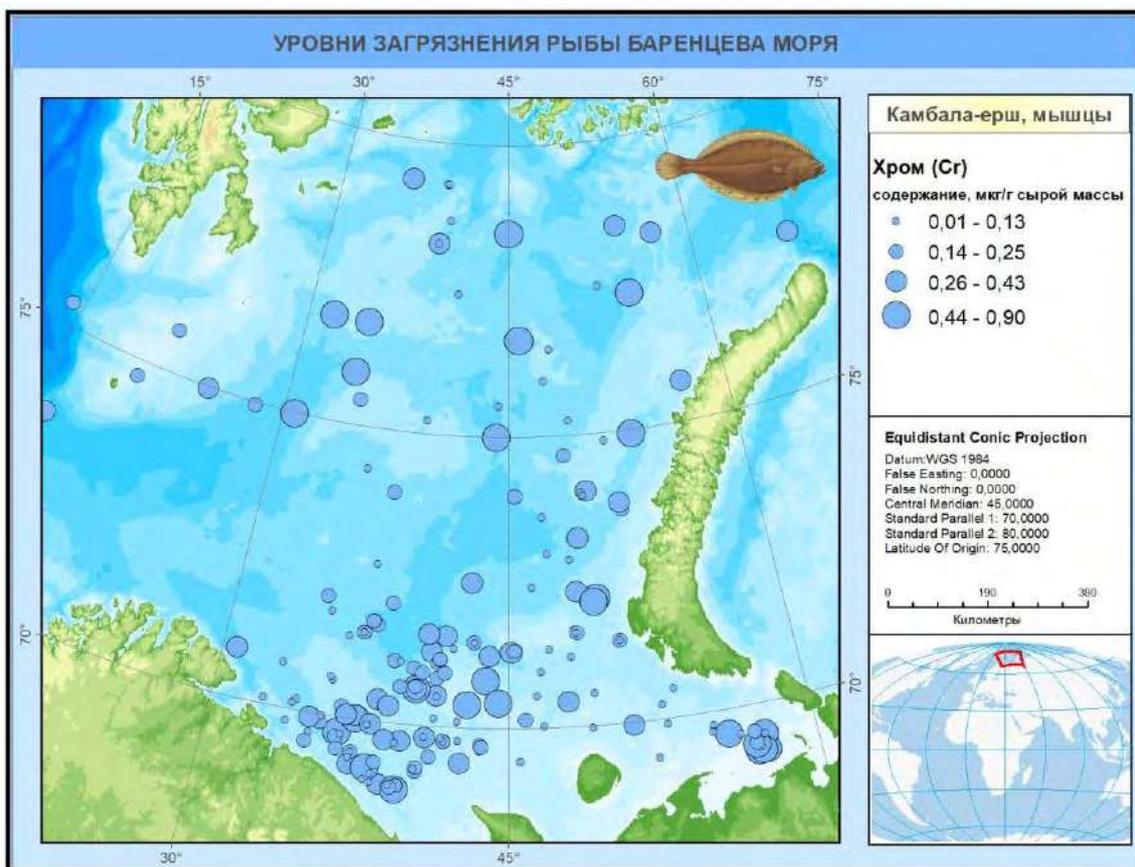


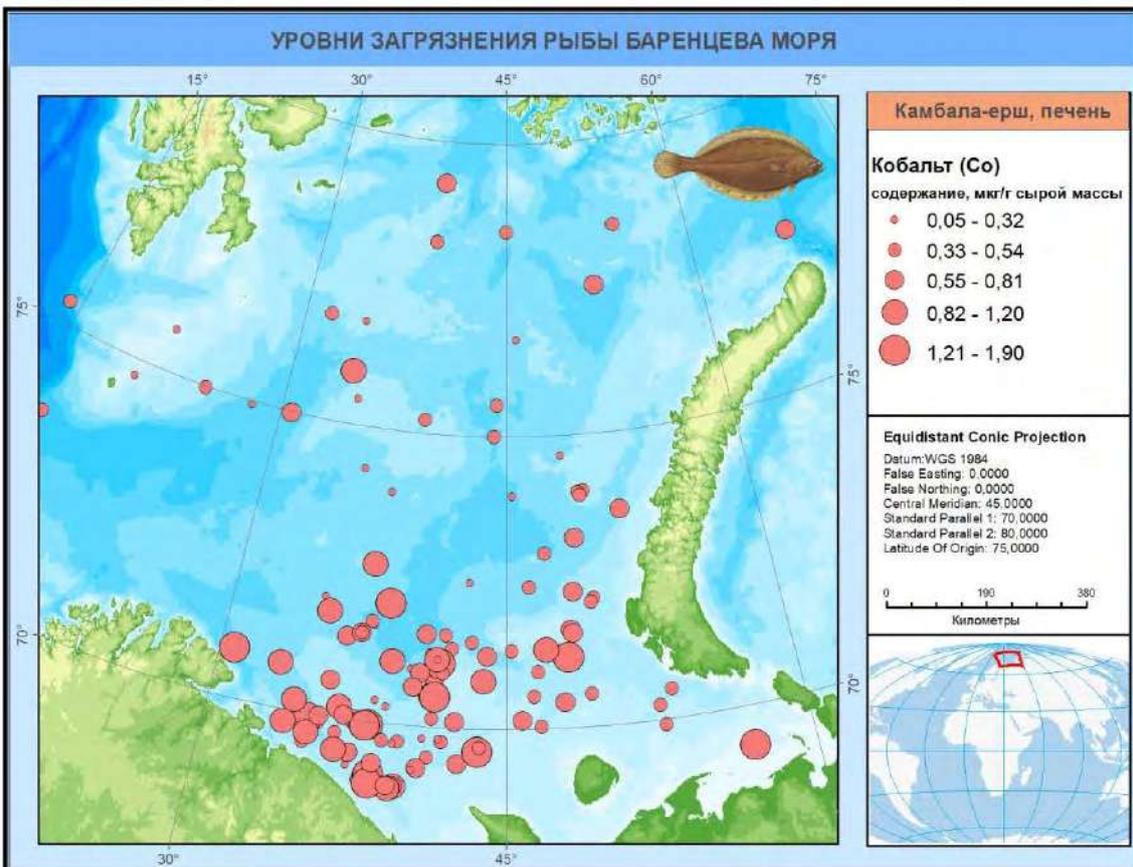
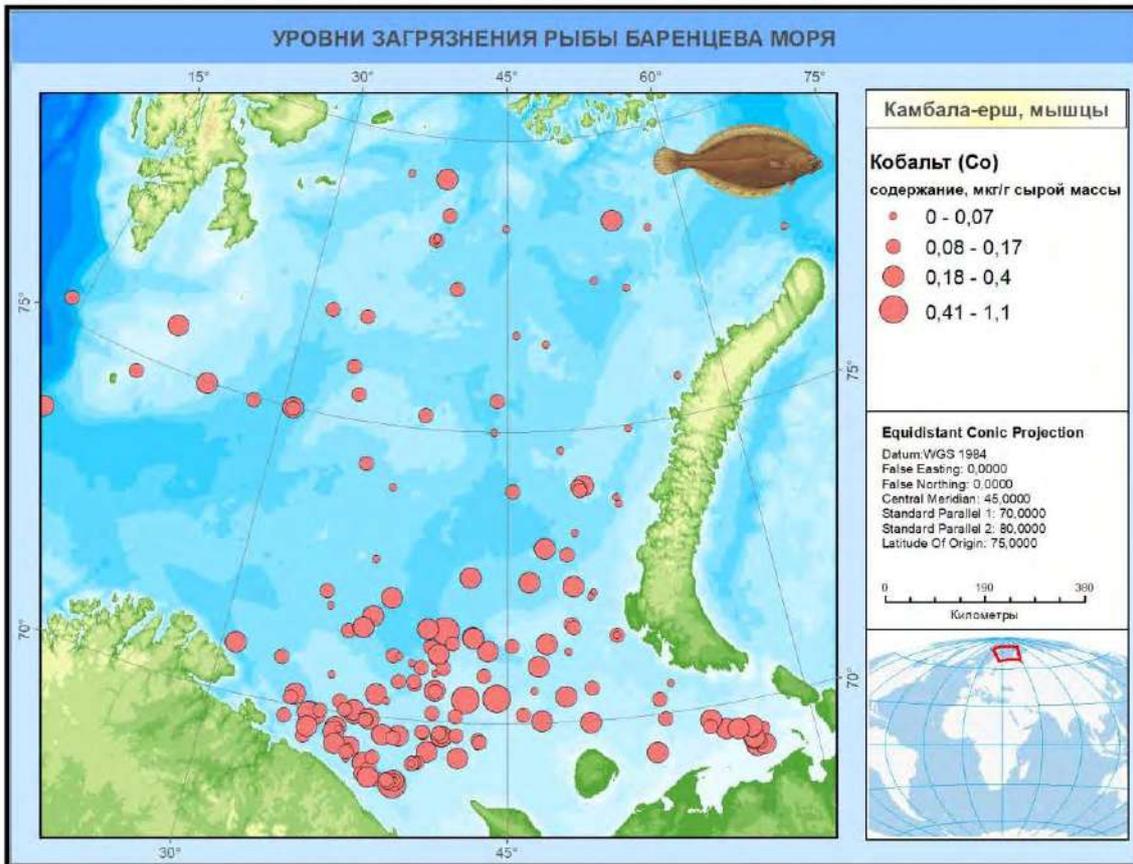


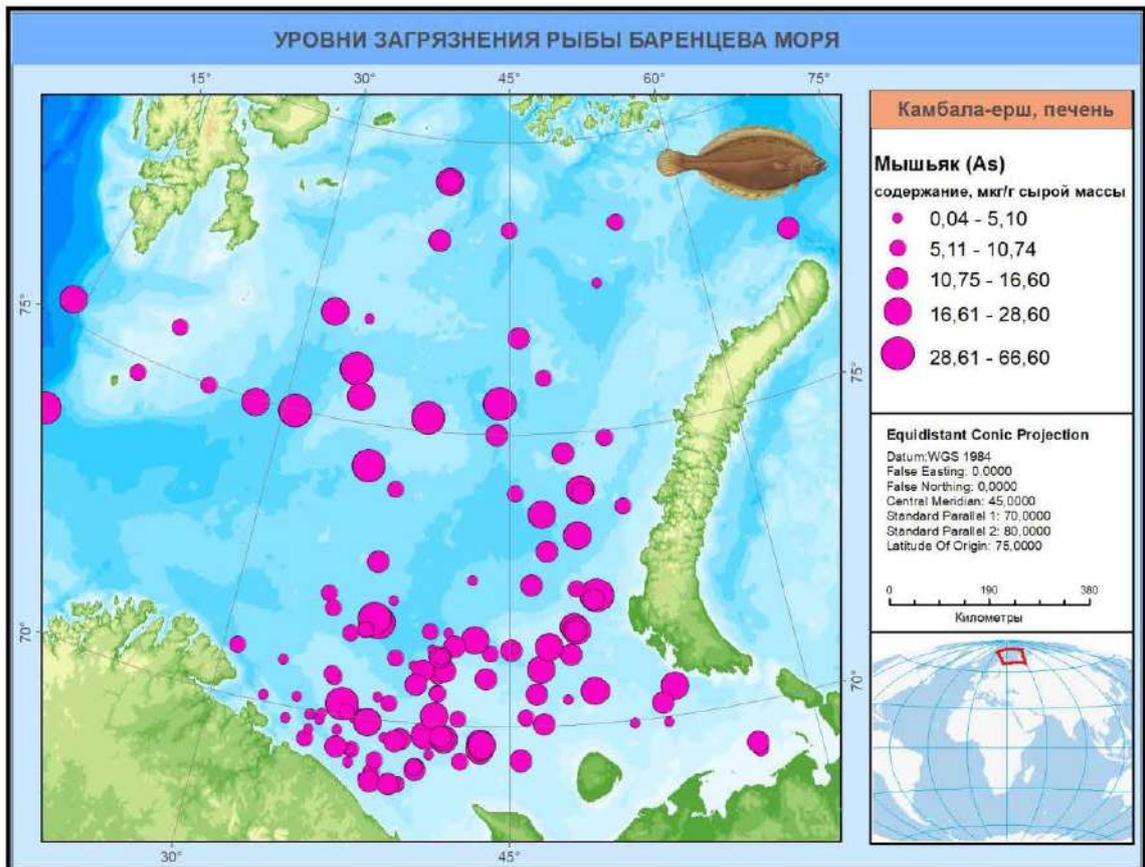
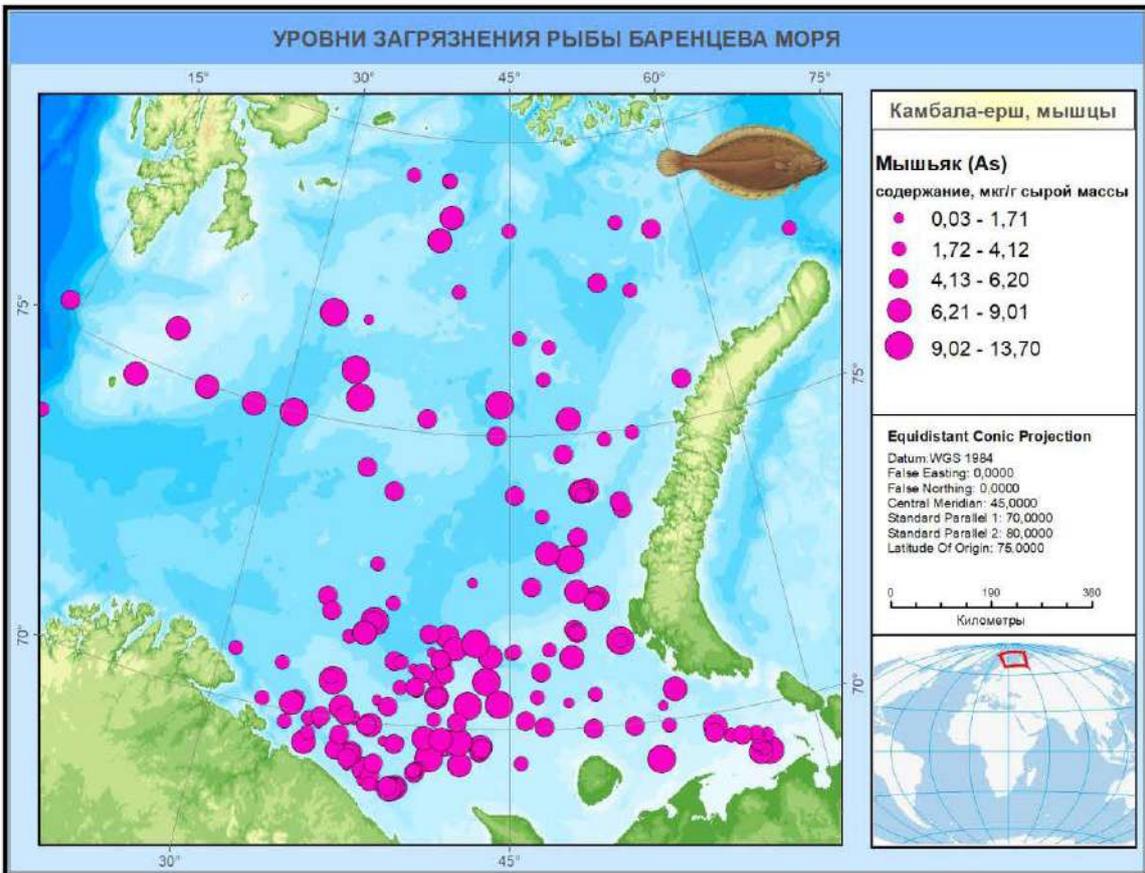


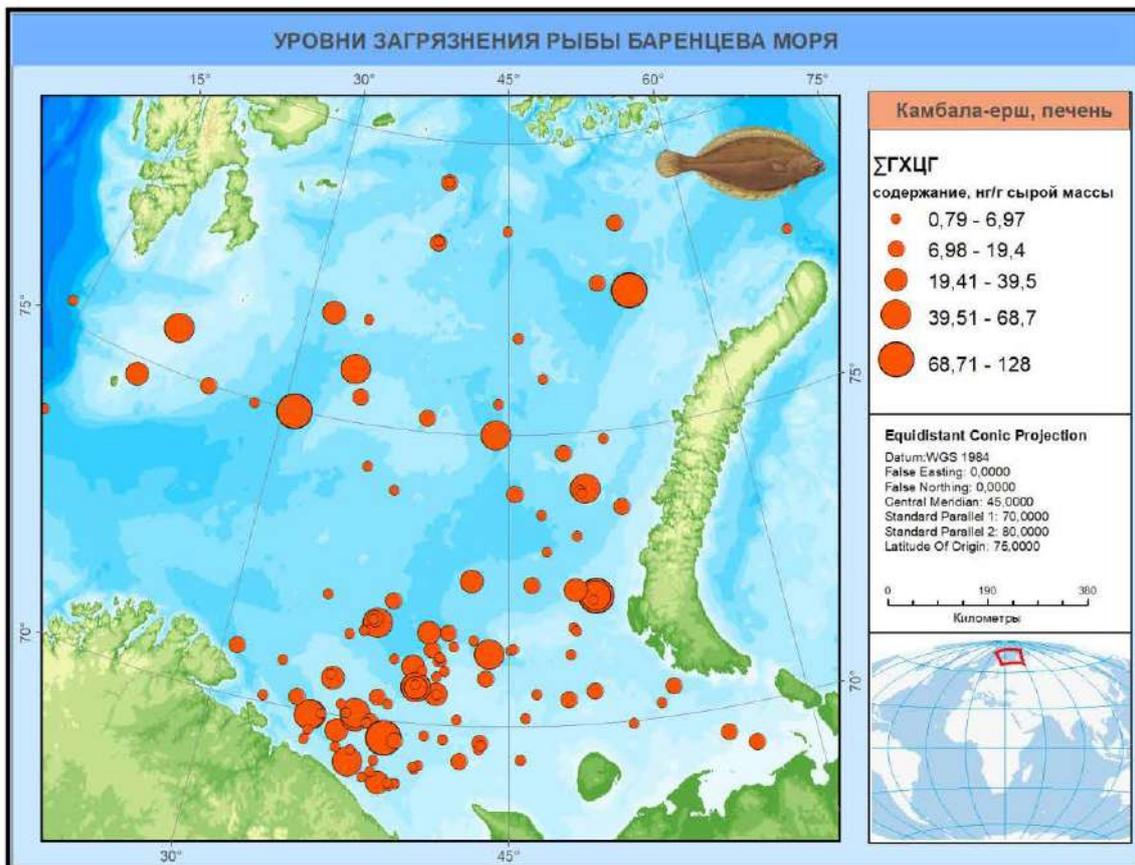
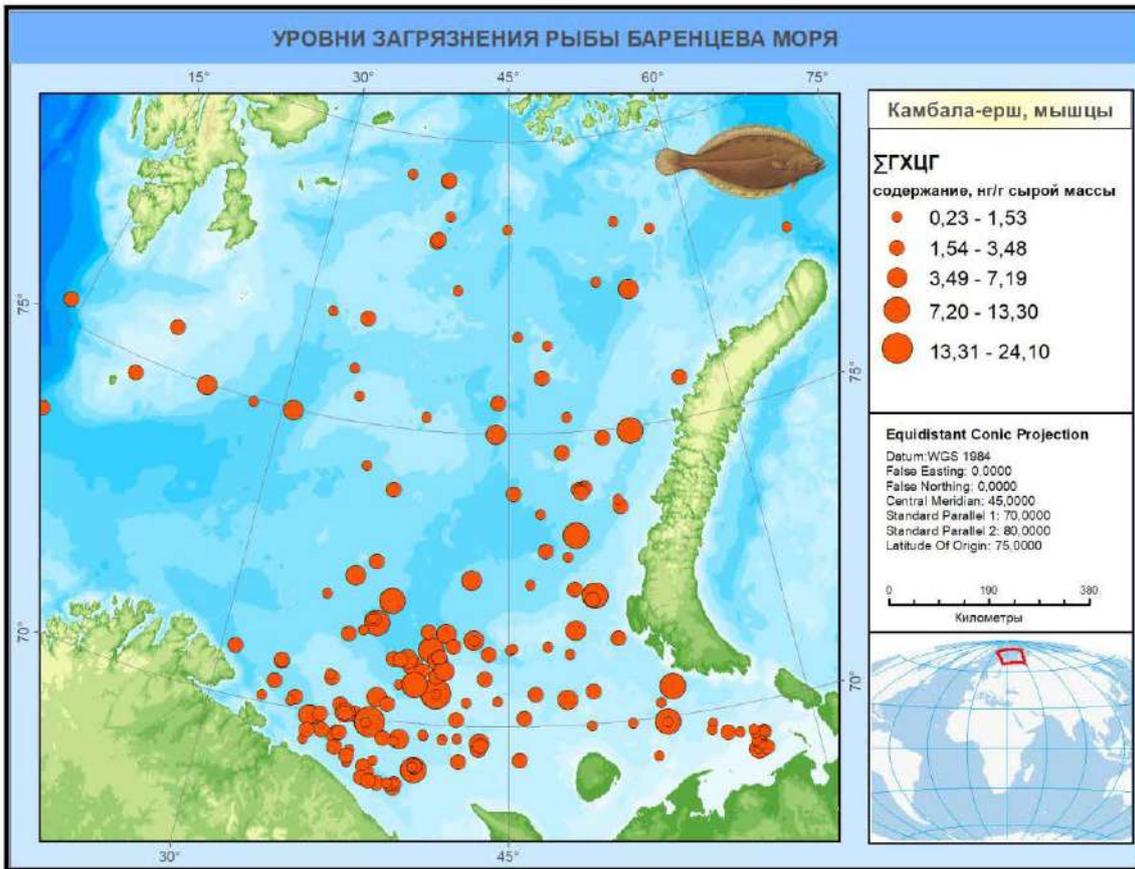


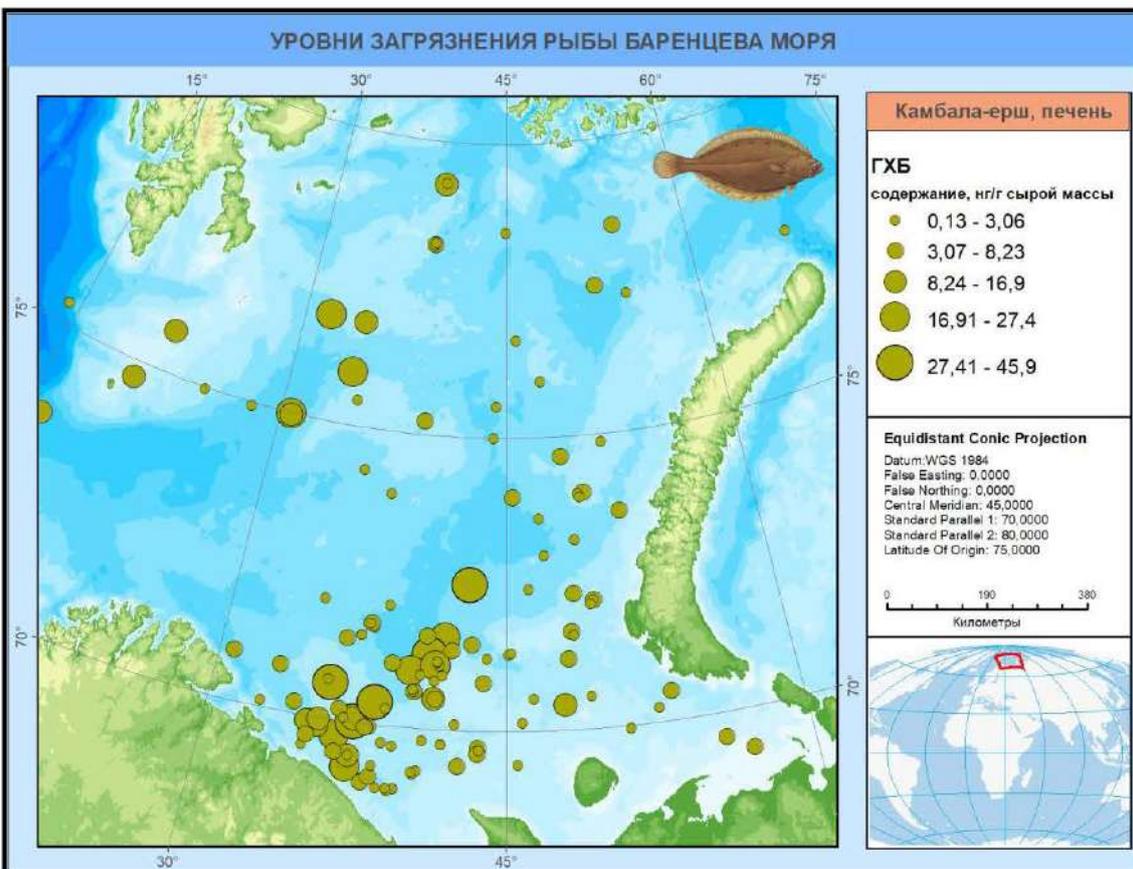
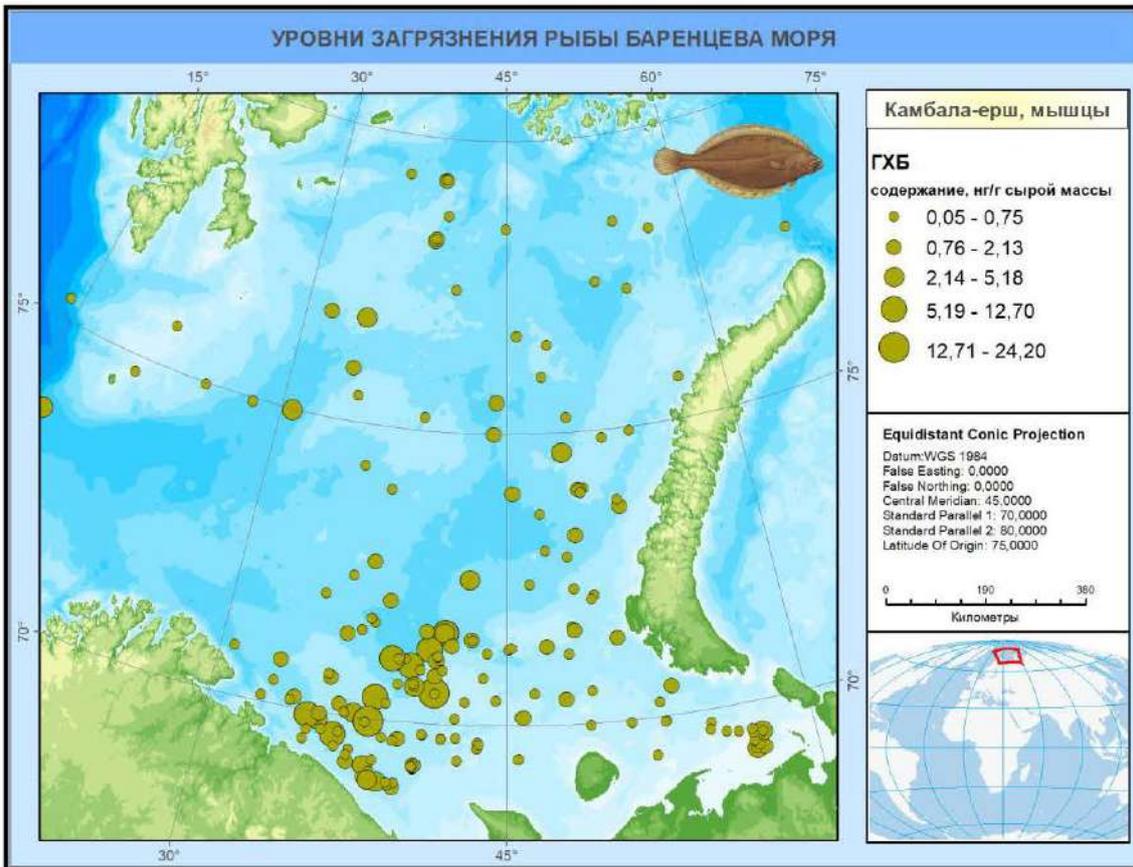


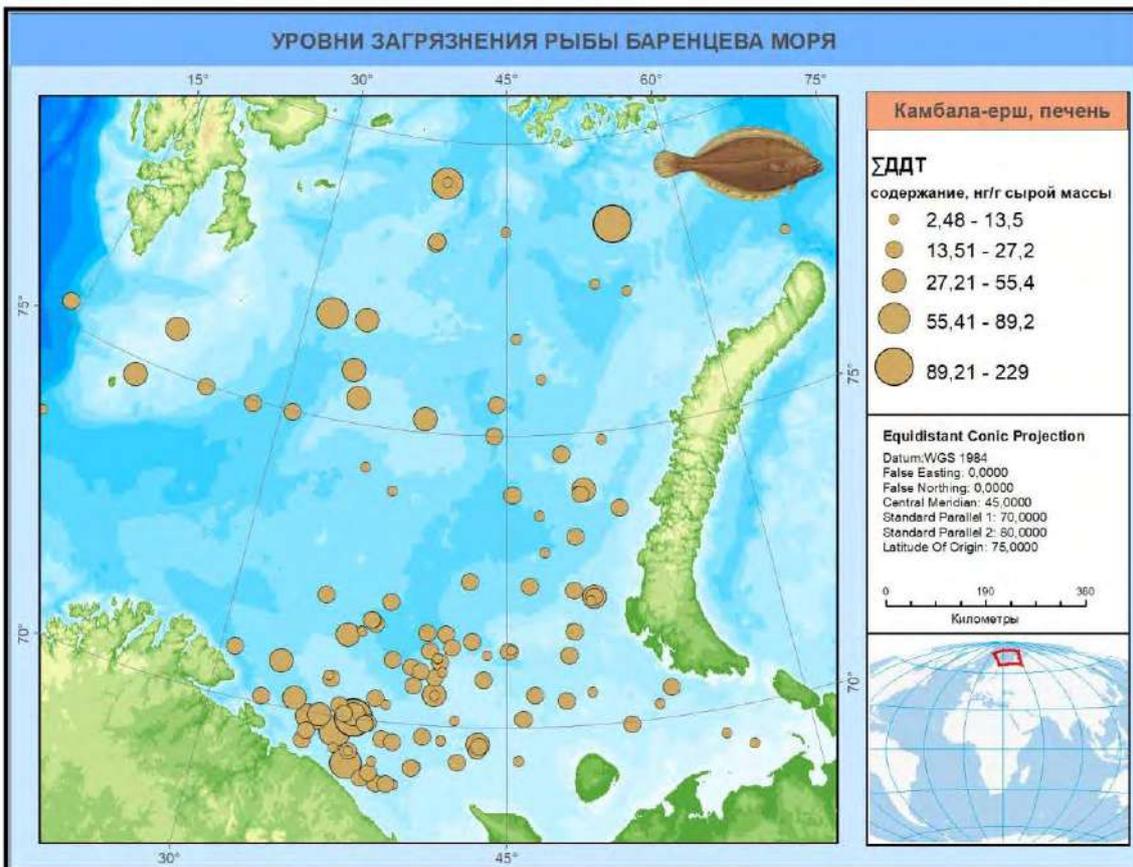
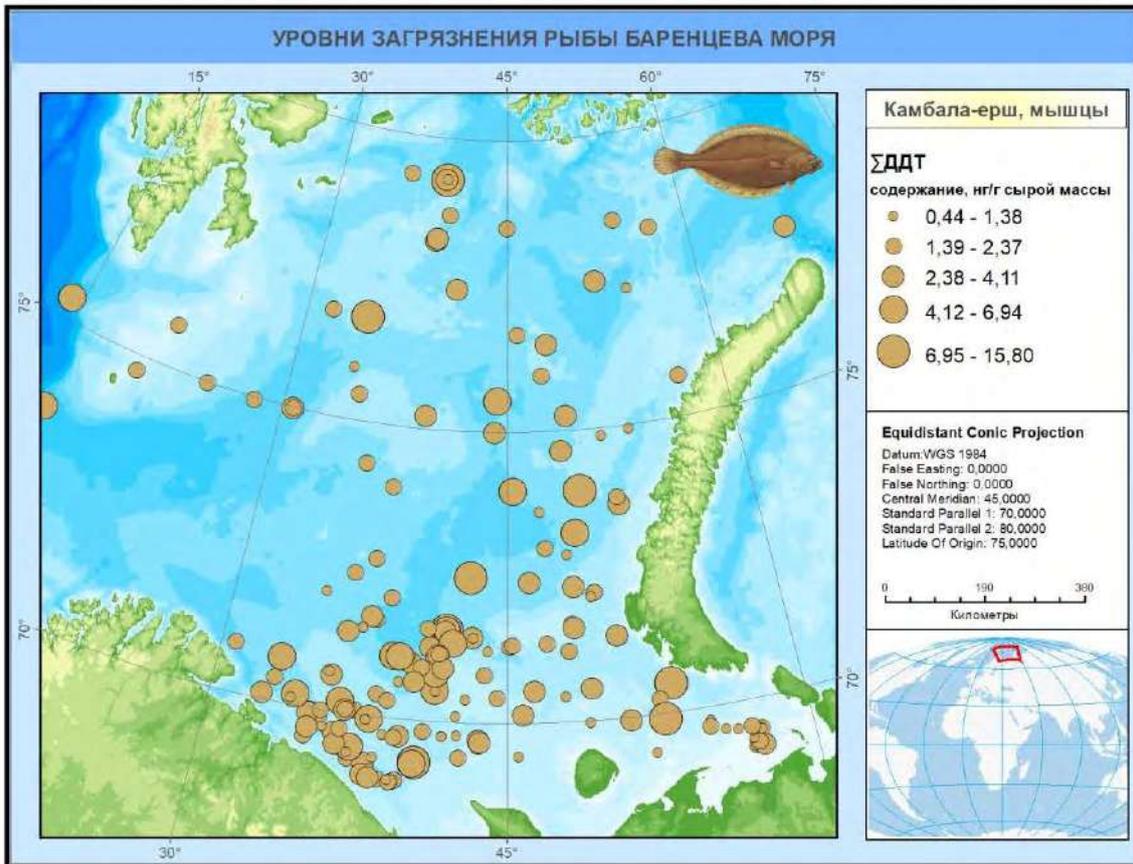


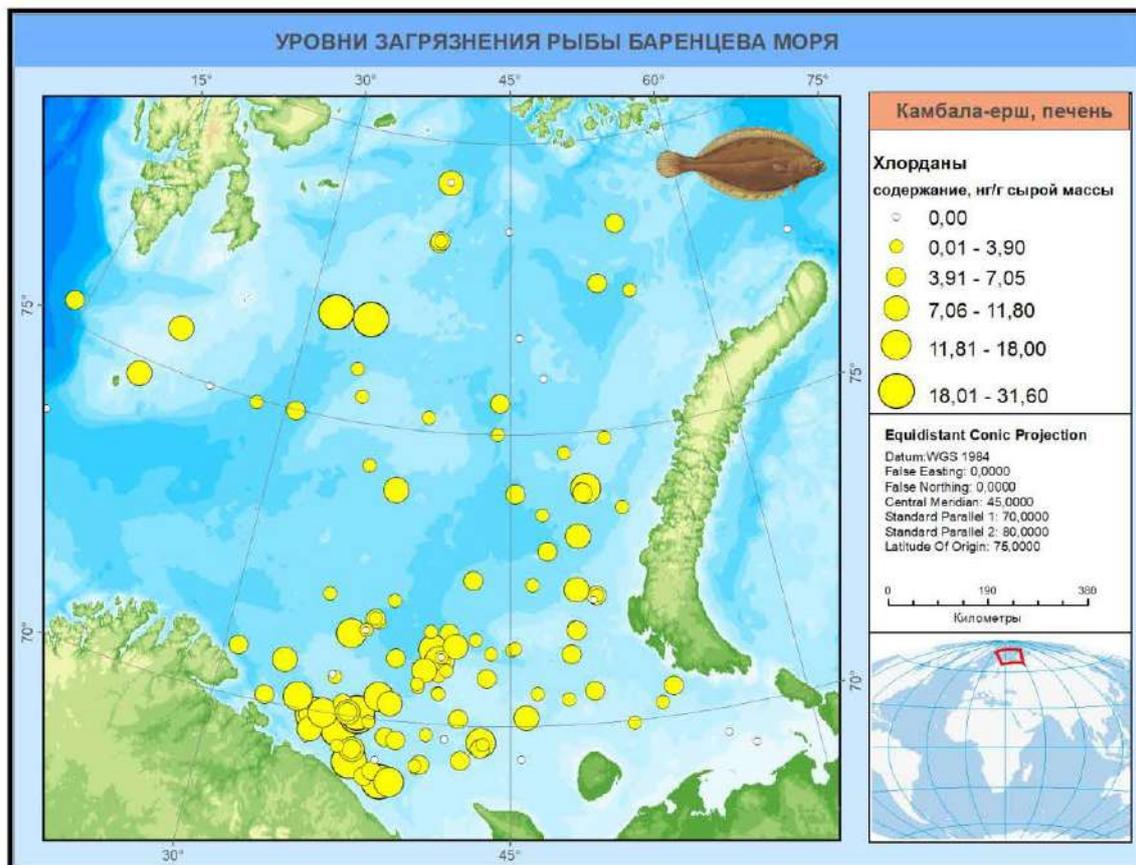
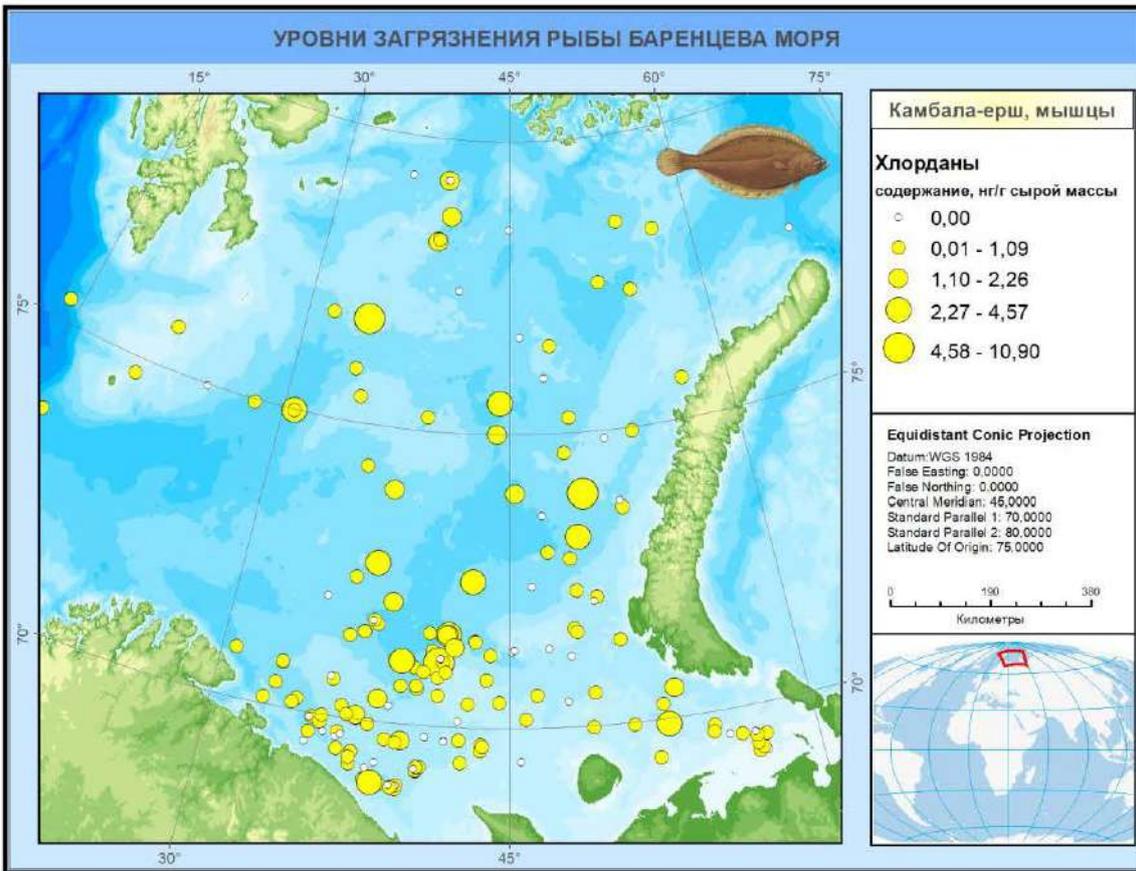


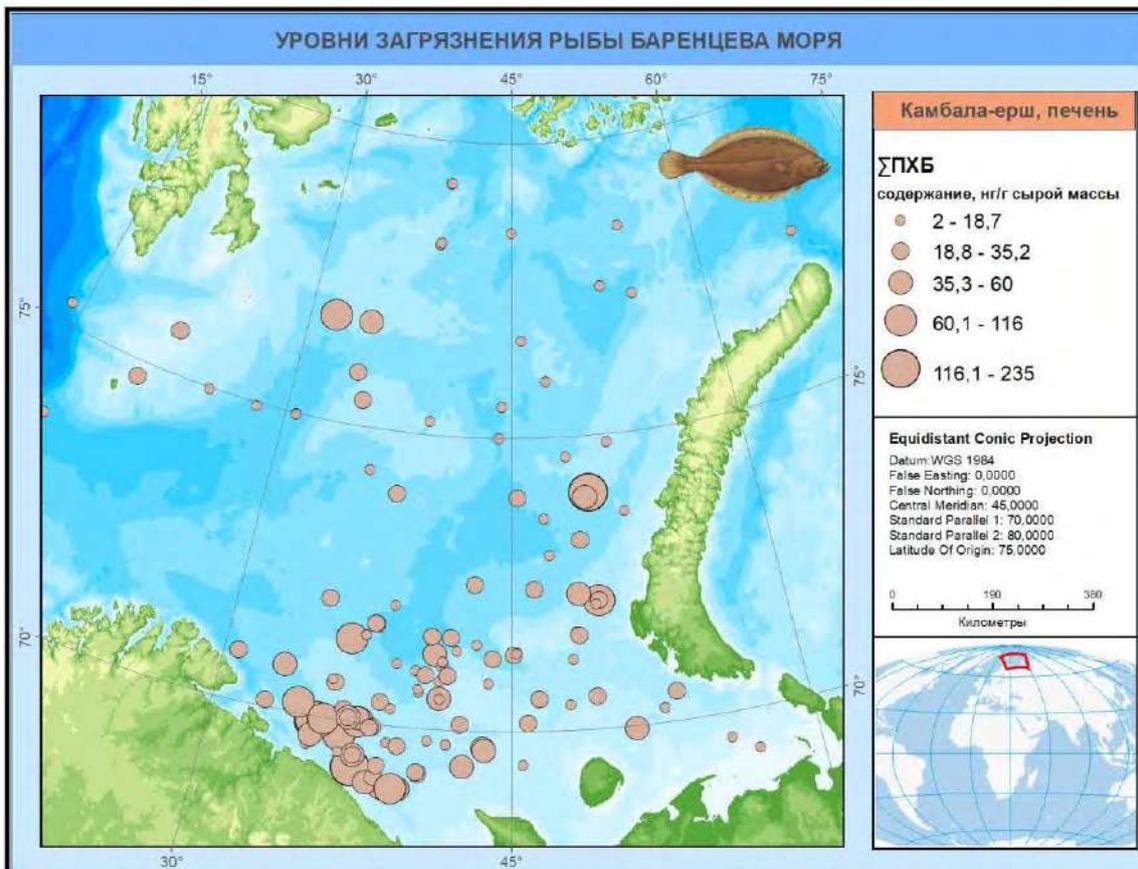
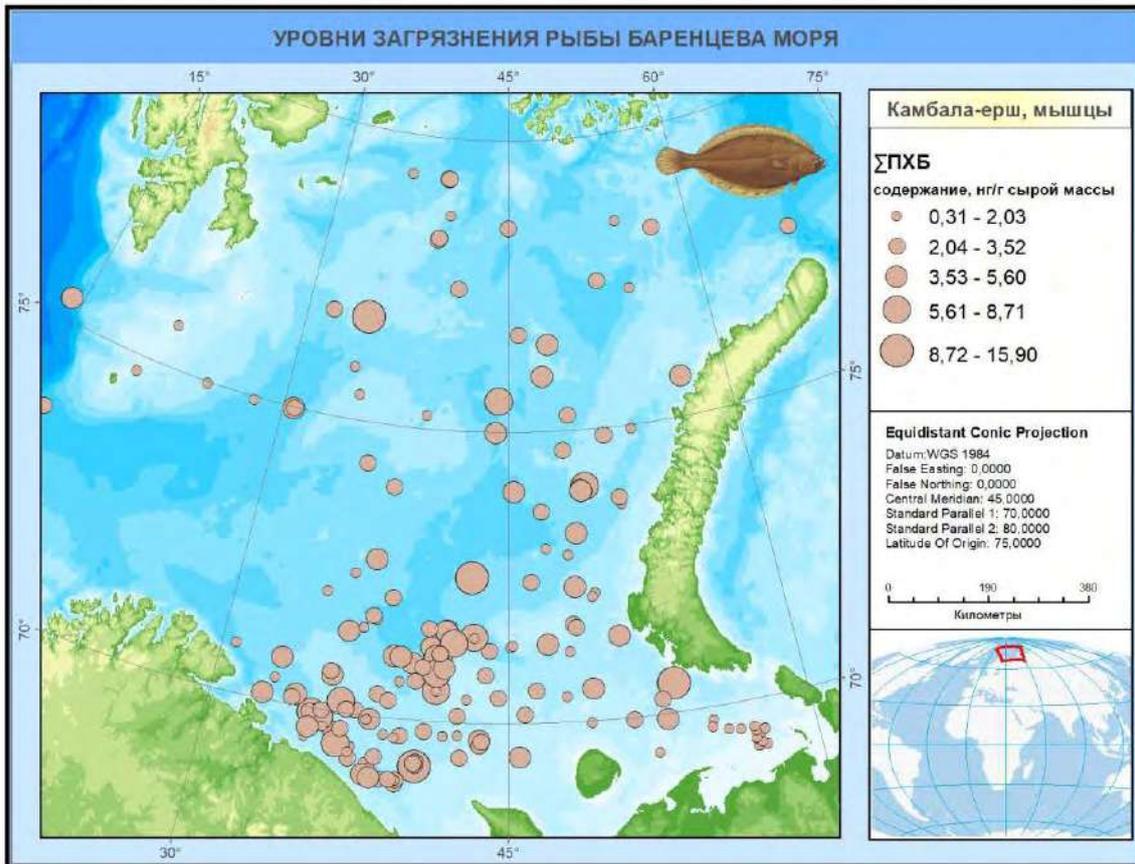












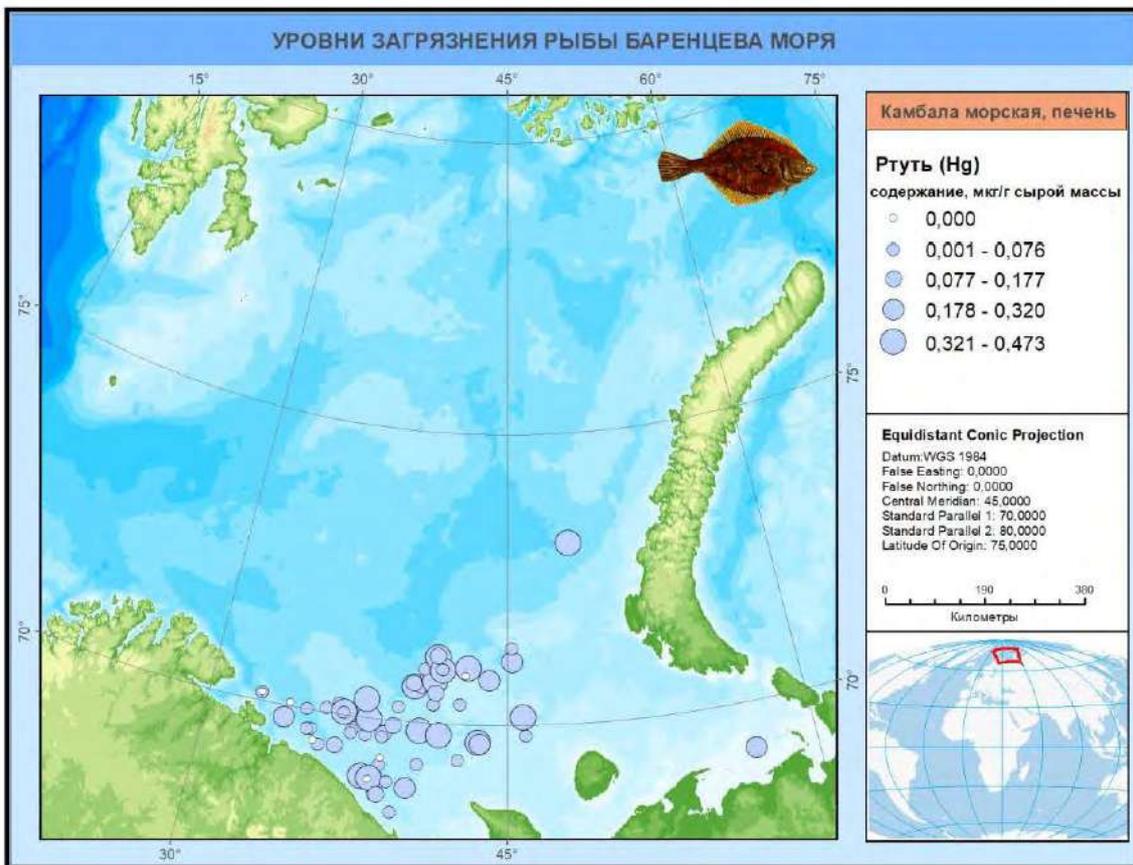
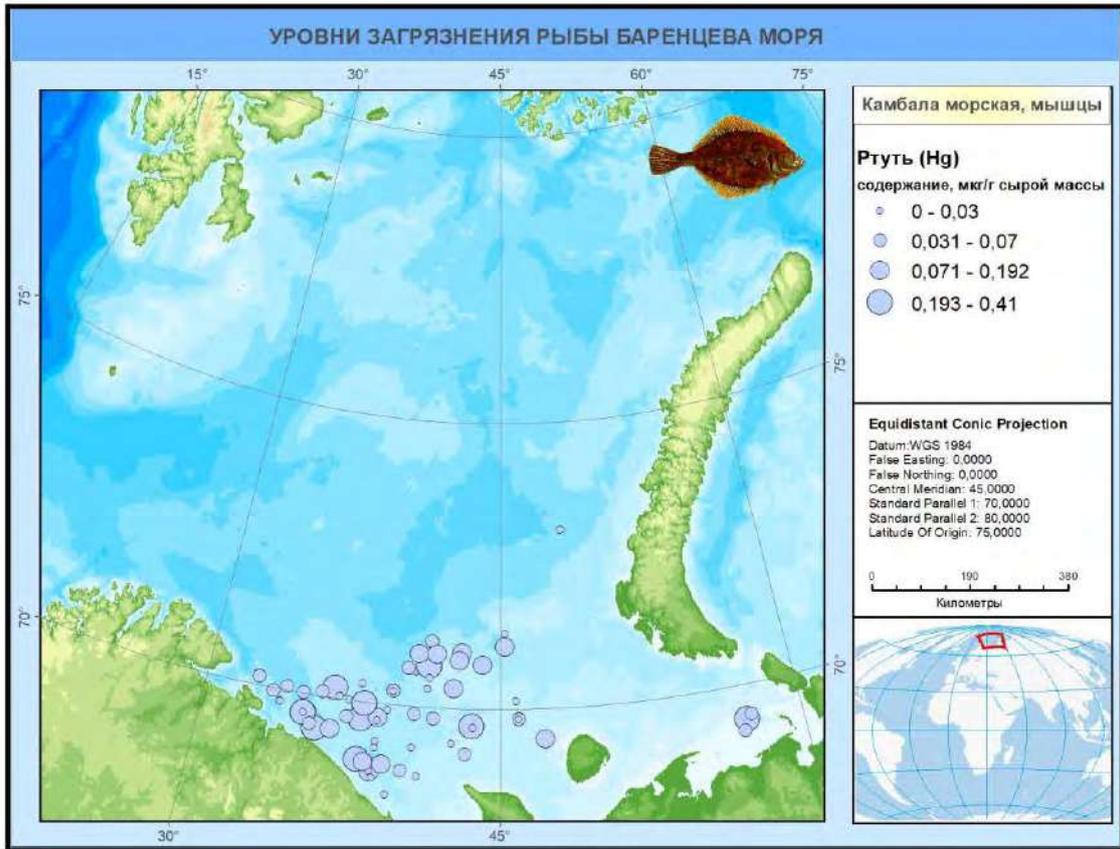
Камбала морская

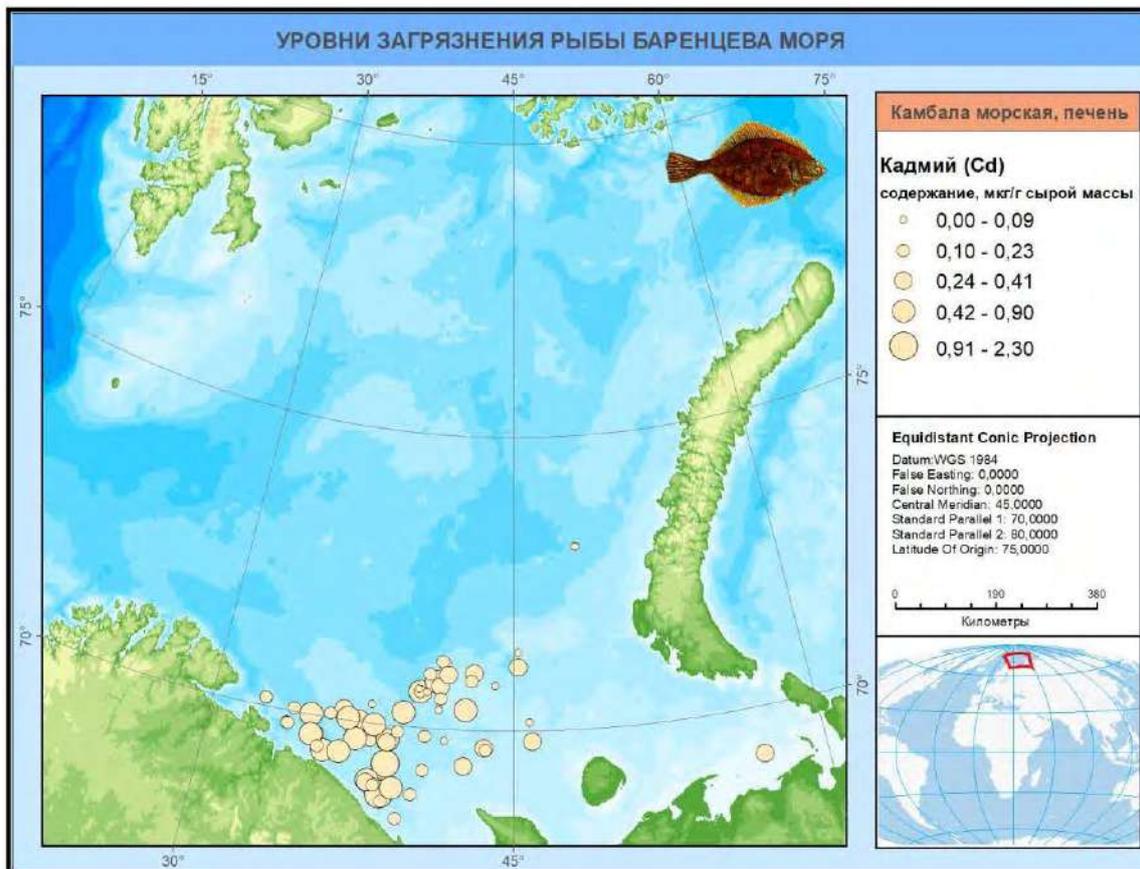
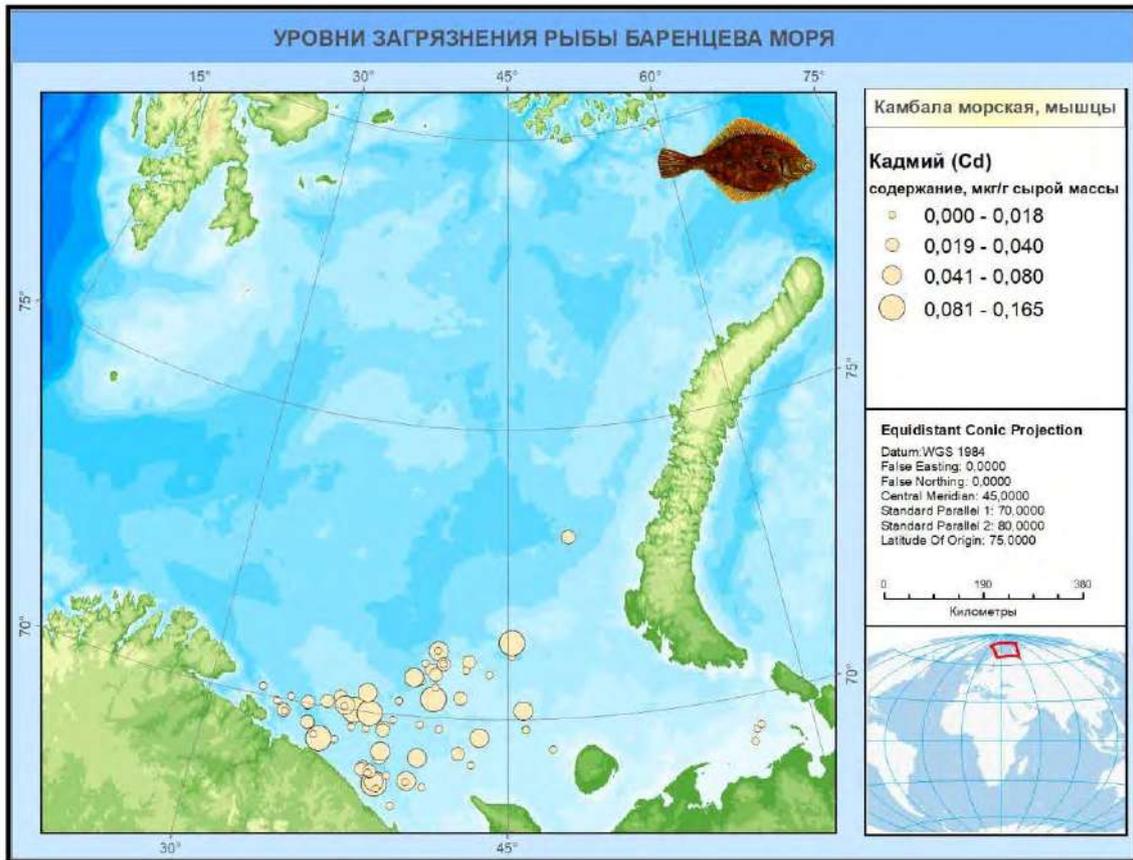
Камбала морская (*Pleuronectes platessa*). Типичный представитель отряда Камбалообразных (Pleuronectiformes). Бореальный европейский вид. Максимальная длина – 91-100 см, масса до 7 кг, но обычно не более 50 см и 1 кг соответственно. В Баренцевом море морская камбала имеет длину 45-55 см (максимум до 85 см), минимальная промысловая длина составляет 25 см. Это донная рыба, встречающаяся на различных грунтах (песчаном, илистом, галечном) в диапазоне глубин от 0 до 250 м, более многочисленна на песчаном грунте и относительно небольшой глубине. Предпочитает положительную температуру воды и высокую соленость, молодь морской камбалы более эвригалинна и может заходить даже в реки, встречается также на меньших глубинах – до 25 м. В период откорма и зимовки морская камбала совершает продолжительные миграции (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Ценный промысловый вид рыбы Баренцева моря. Общий вылов камбалы морской всеми странами за последние 11 лет (2010-2020 гг.) изменялся в пределах 6,5-10,5 тыс. т, начиная с 2012 г. он увеличивается (Состояние сырьевых биологических..., 2018, 2021). Оводненность белков мяса у морской камбалы достаточно высокая (выше, чем у трески), что способствует легкой развариваемости мяса и объясняет его нежную консистенцию. Жирность мяса невысокая – 3,3 %. В печени содержание жира – в среднем 6,2 % (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

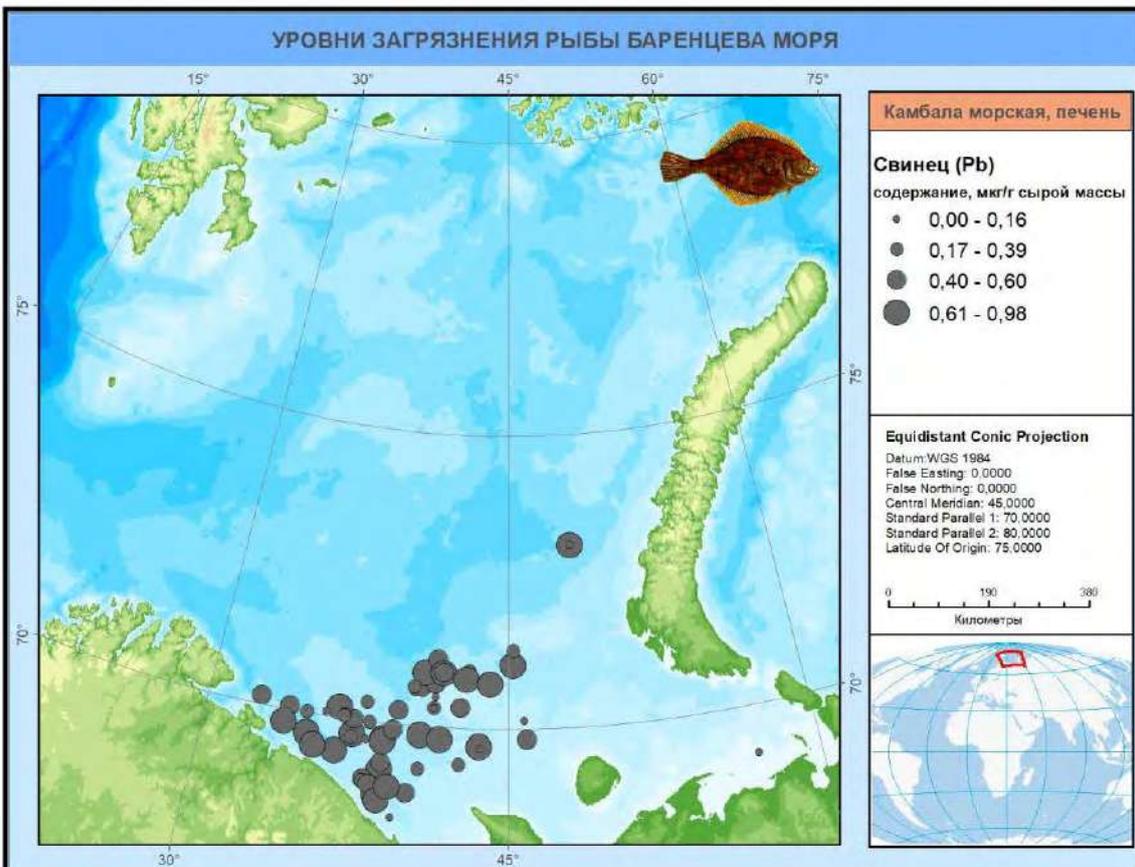
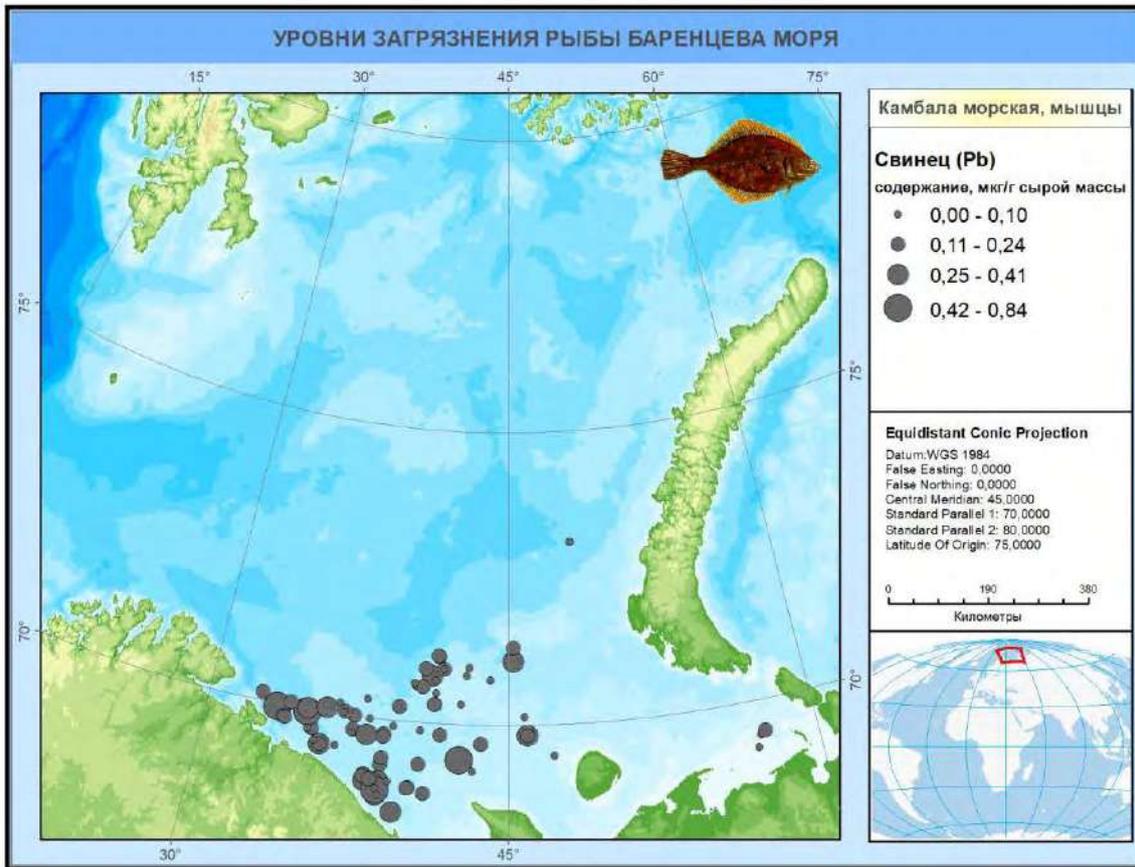
По фондовым данным ПИПРО, среднее содержание Hg в мышцах морской камбалы составляет $0,072 \pm 0,087$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,025 \pm 0,031$ мкг/г, Pb – $0,16 \pm 0,16$ мкг/г, Cu – $0,36 \pm 0,18$ мкг/г, Zn – $5,11 \pm 1,70$ мкг/г, Ni – $0,20 \pm 0,14$ мкг/г, Cr – $0,22 \pm 0,16$ мкг/г, Co – $0,17 \pm 0,11$ мкг/г и As – $4,37 \pm 2,19$ мкг/г (N=98); Σ ГХЦГ – $2,76 \pm 1,99$ нг/г, ГХБ – $1,15 \pm 1,33$ нг/г, Σ ДДТ – $2,22 \pm 1,06$ нг/г, Σ ПХБ – $3,50 \pm 3,51$ нг/г и суммы хлорданов – $0,48 \pm 0,47$ нг/г сырой массы (N=94).

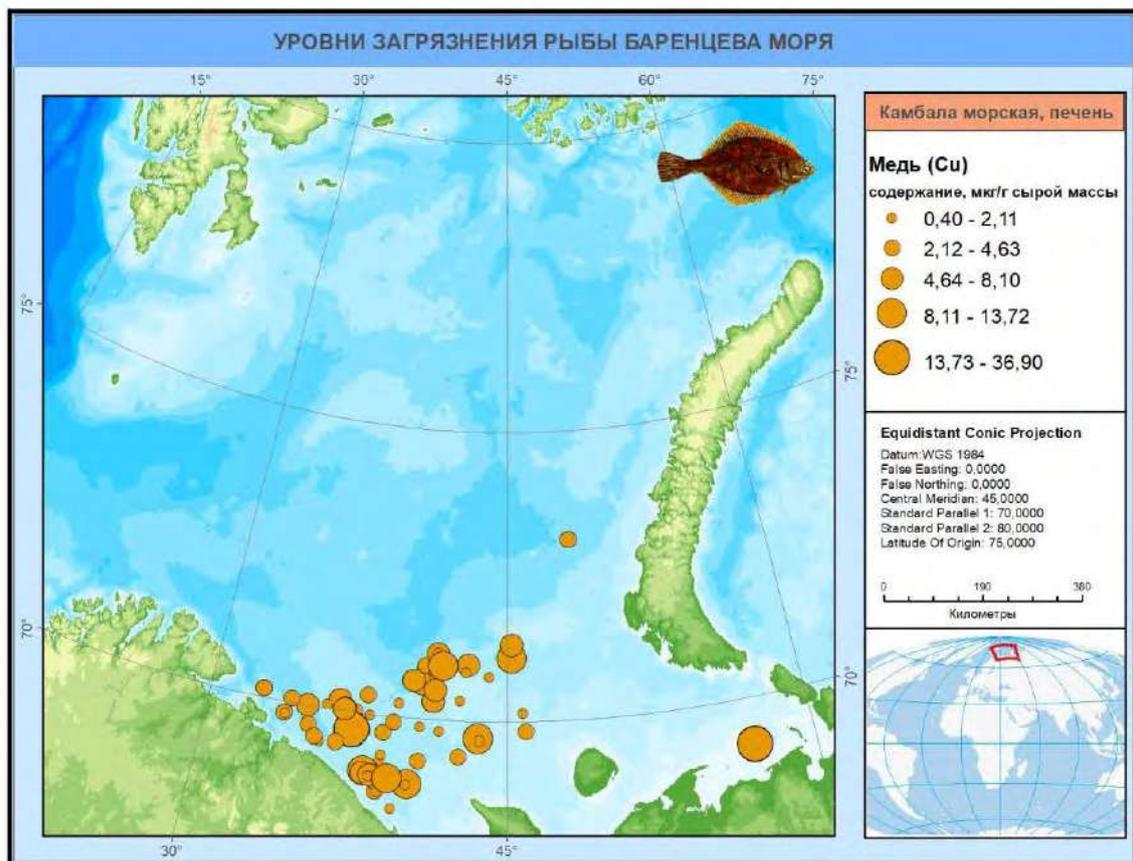
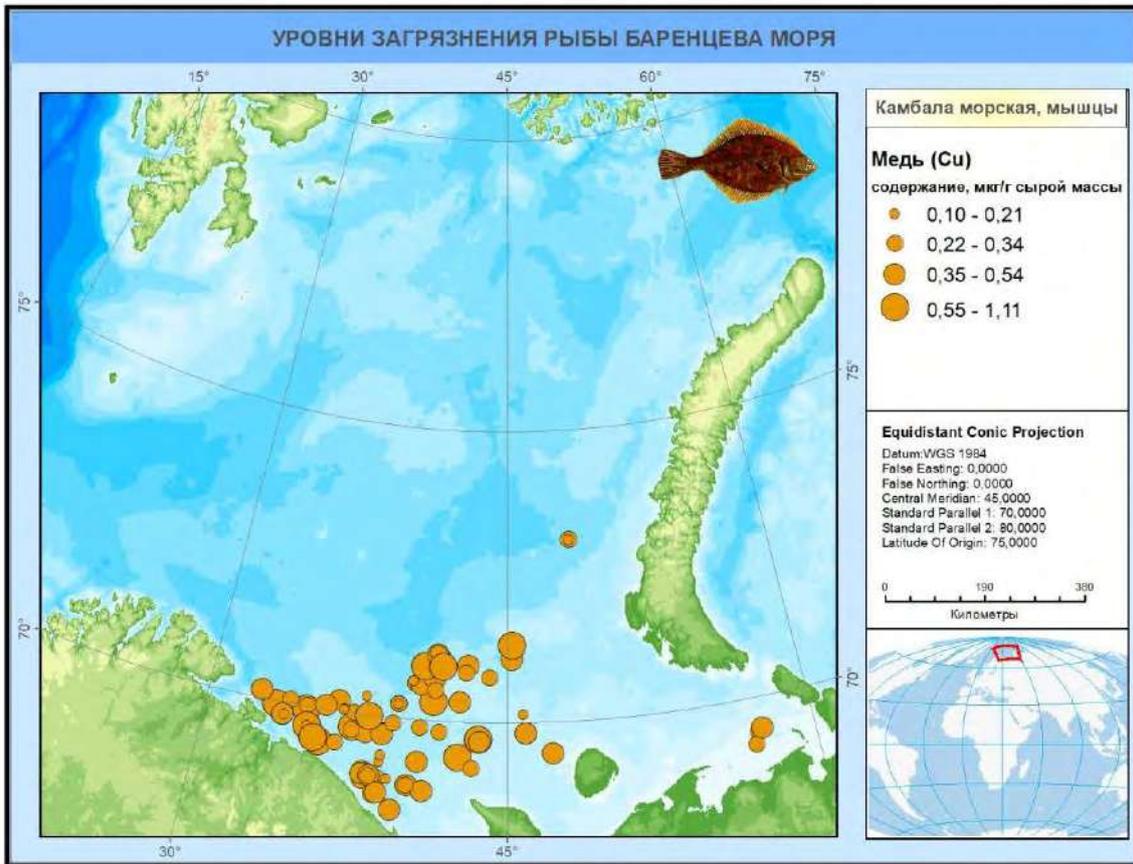


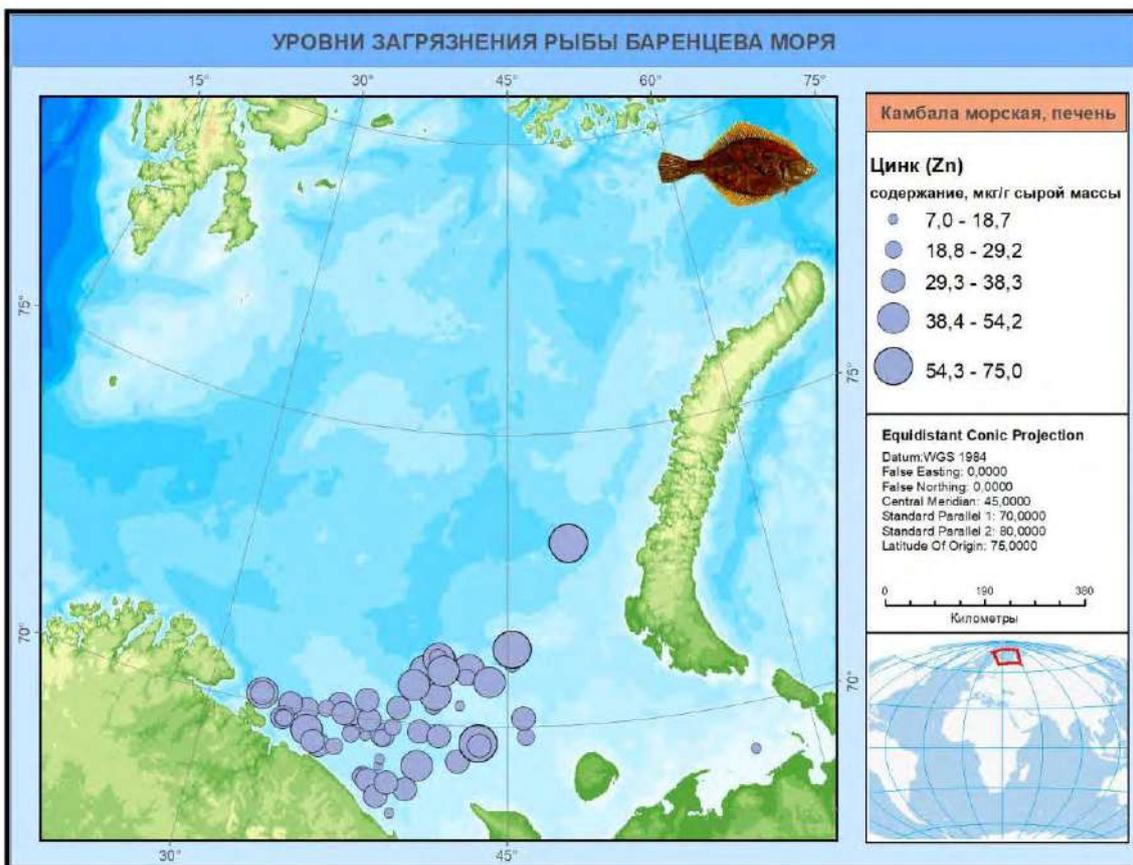
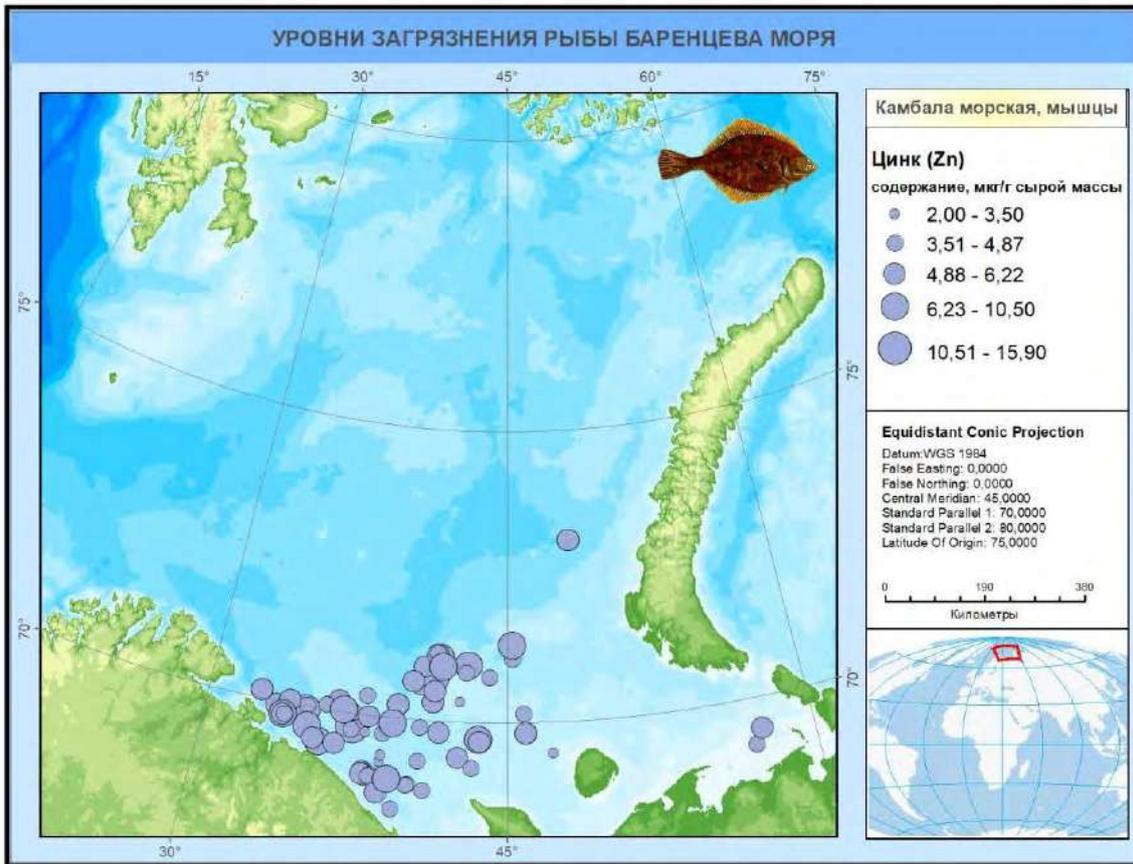
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в камбале морской в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

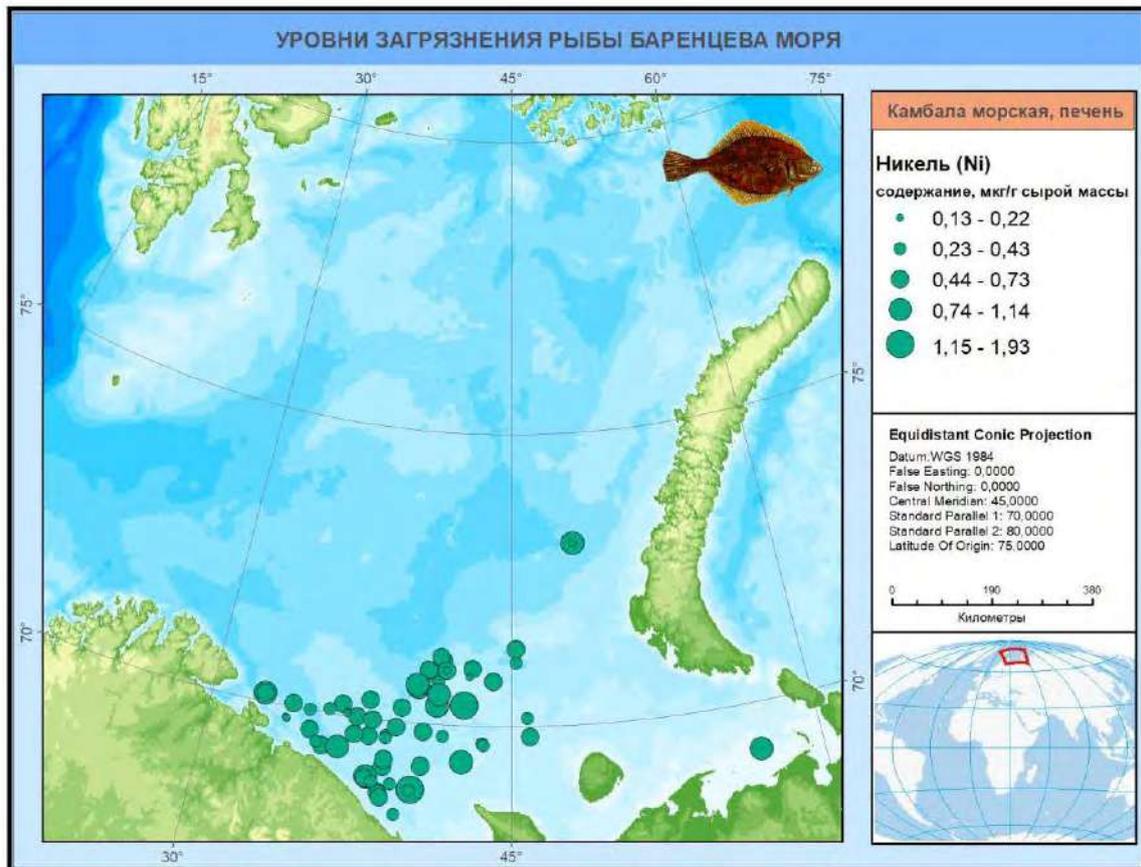
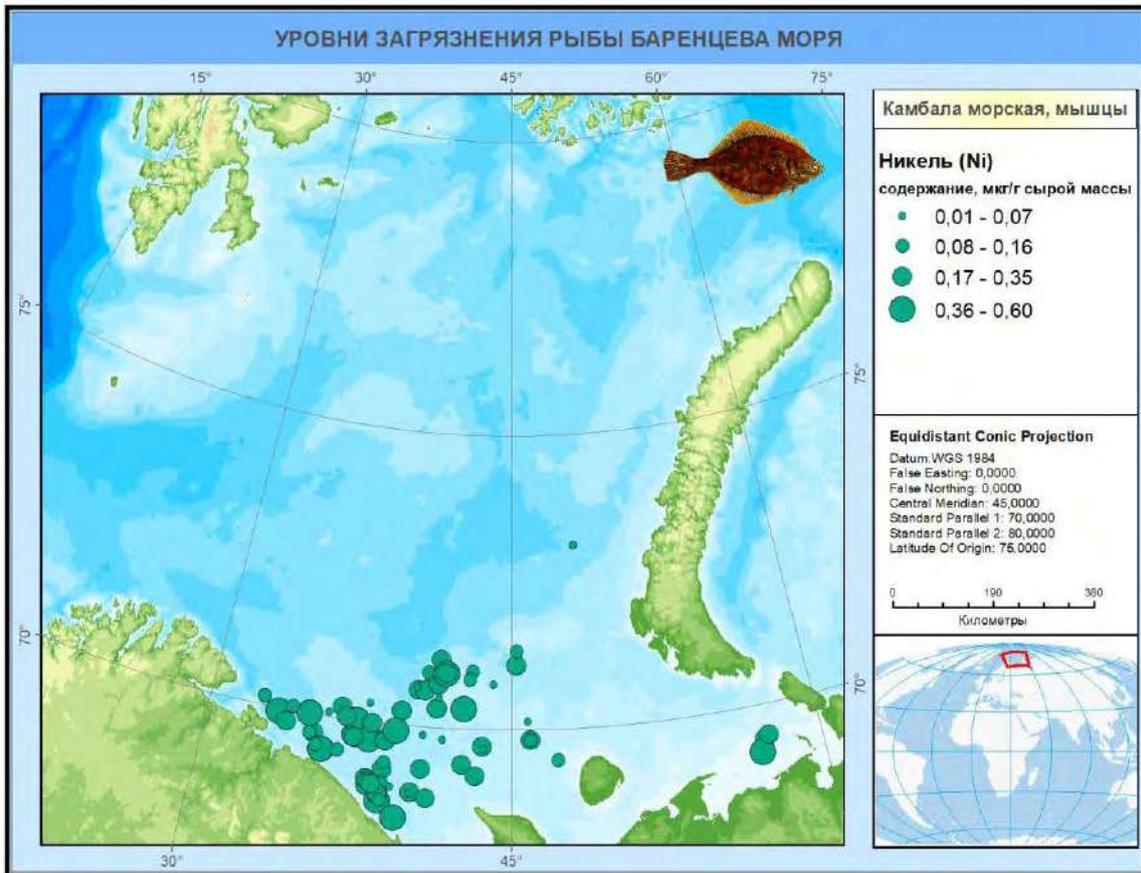


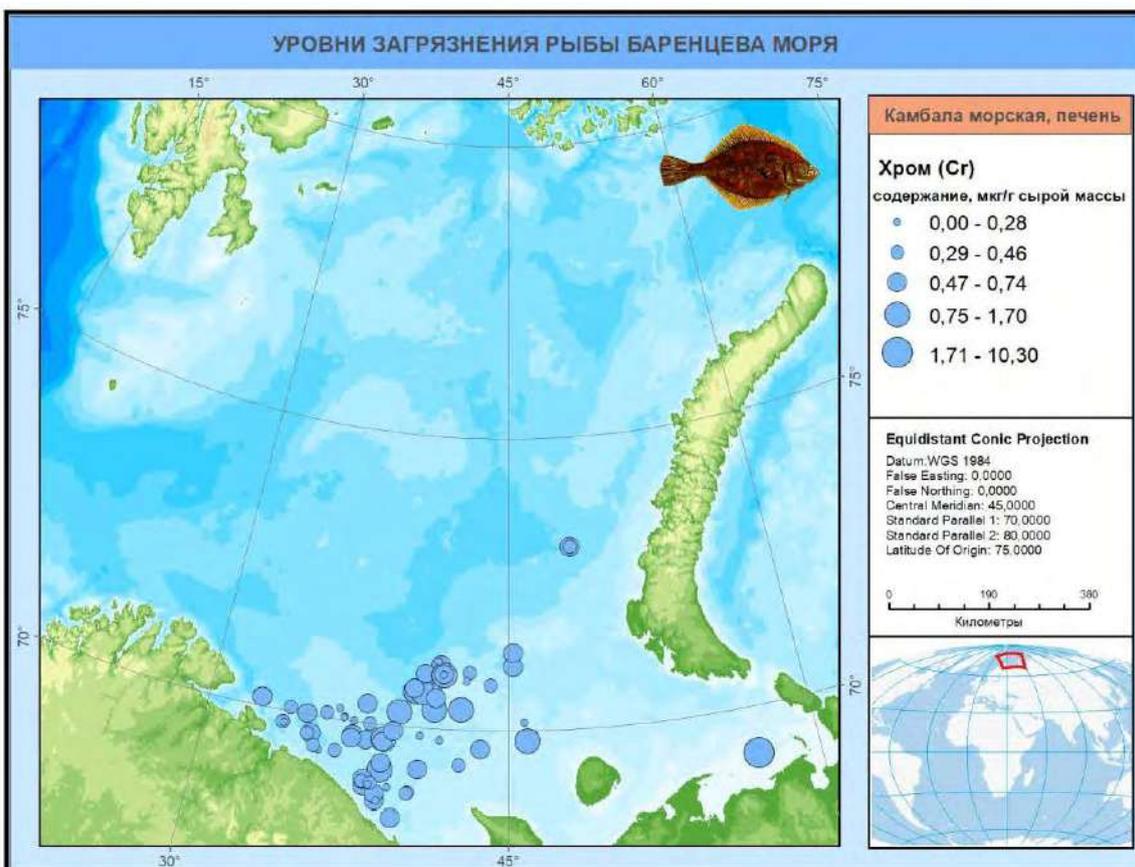
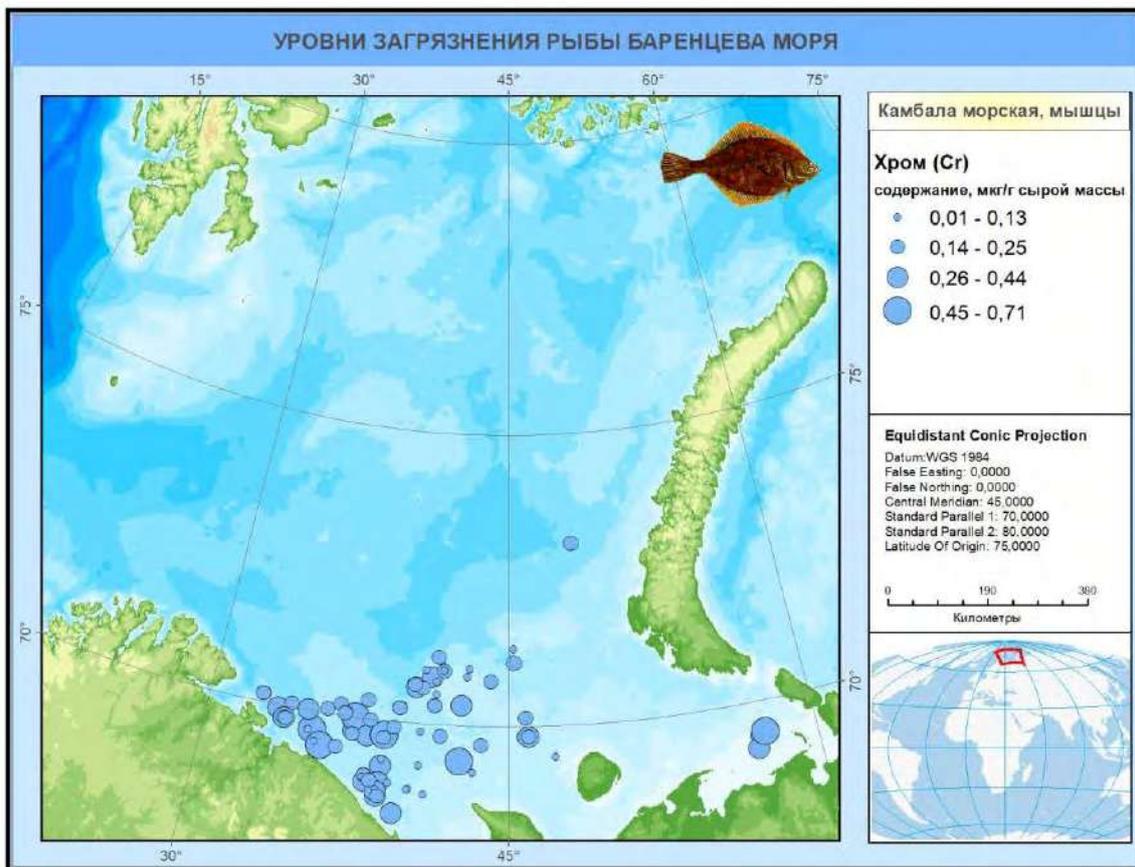


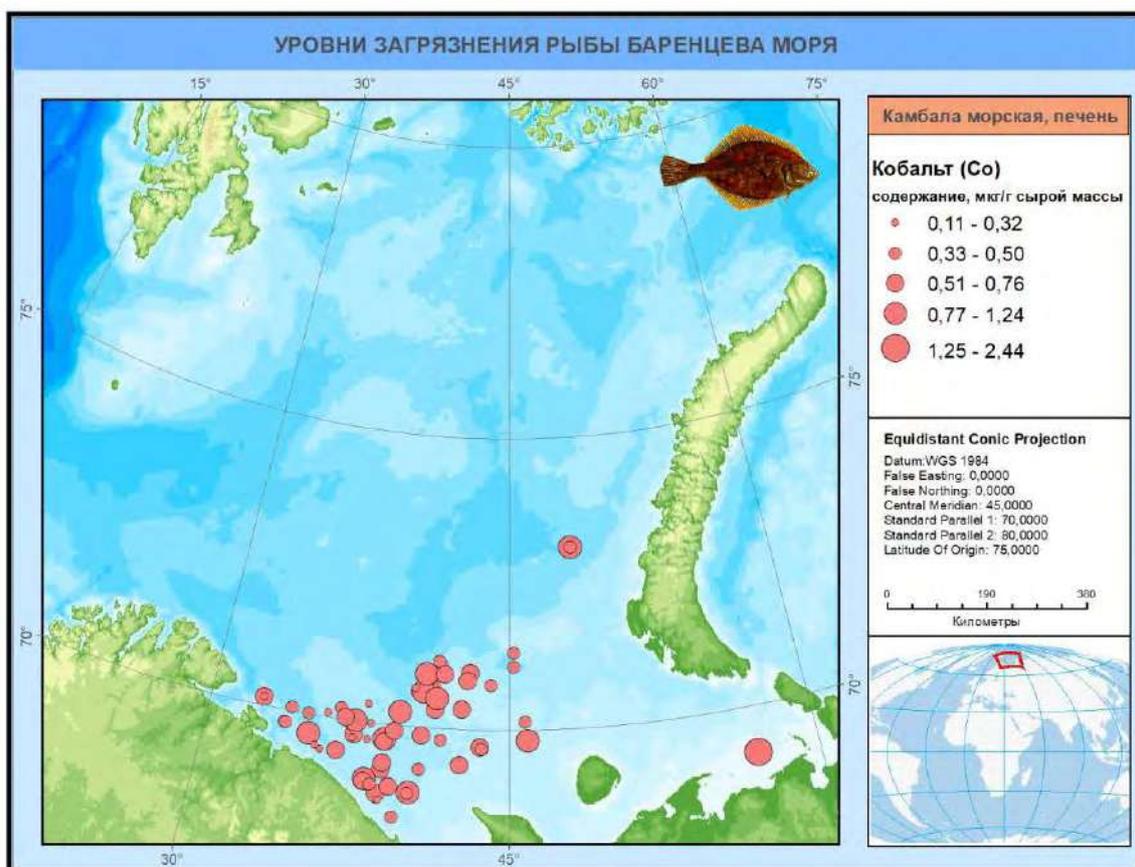
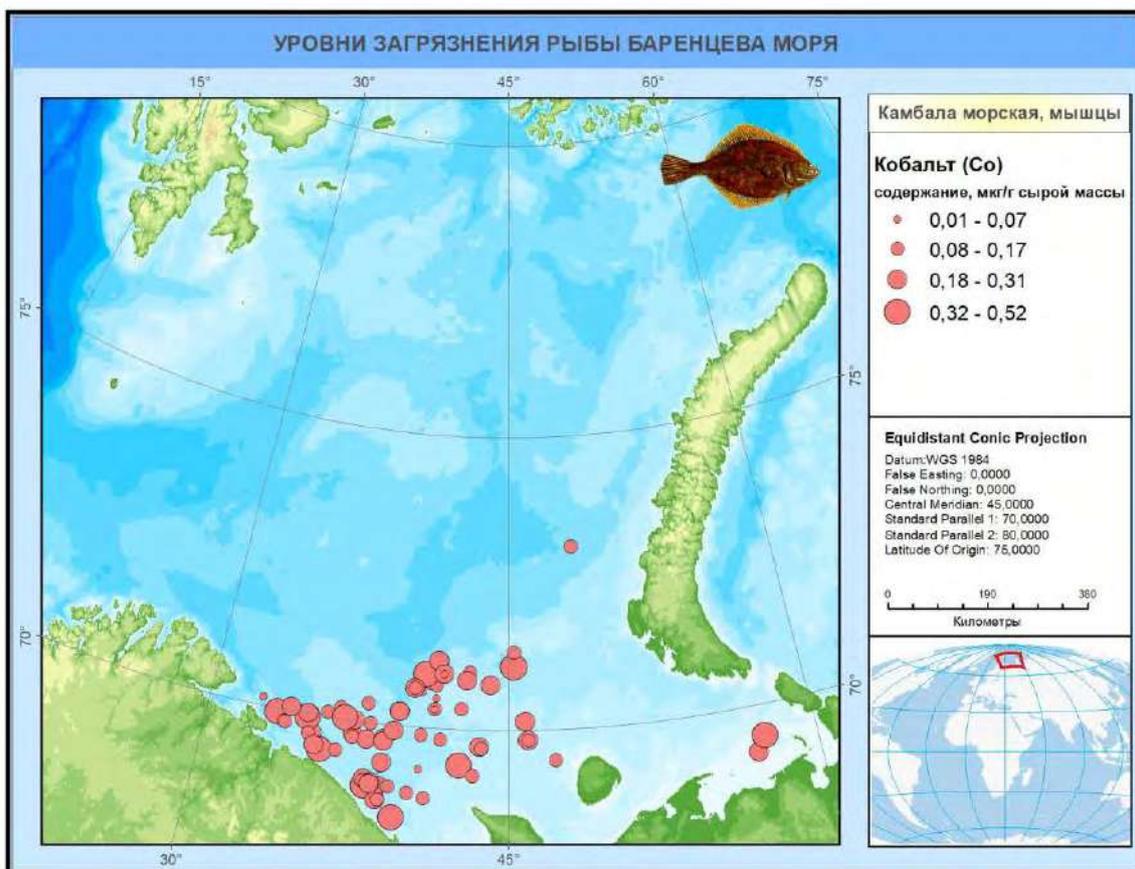


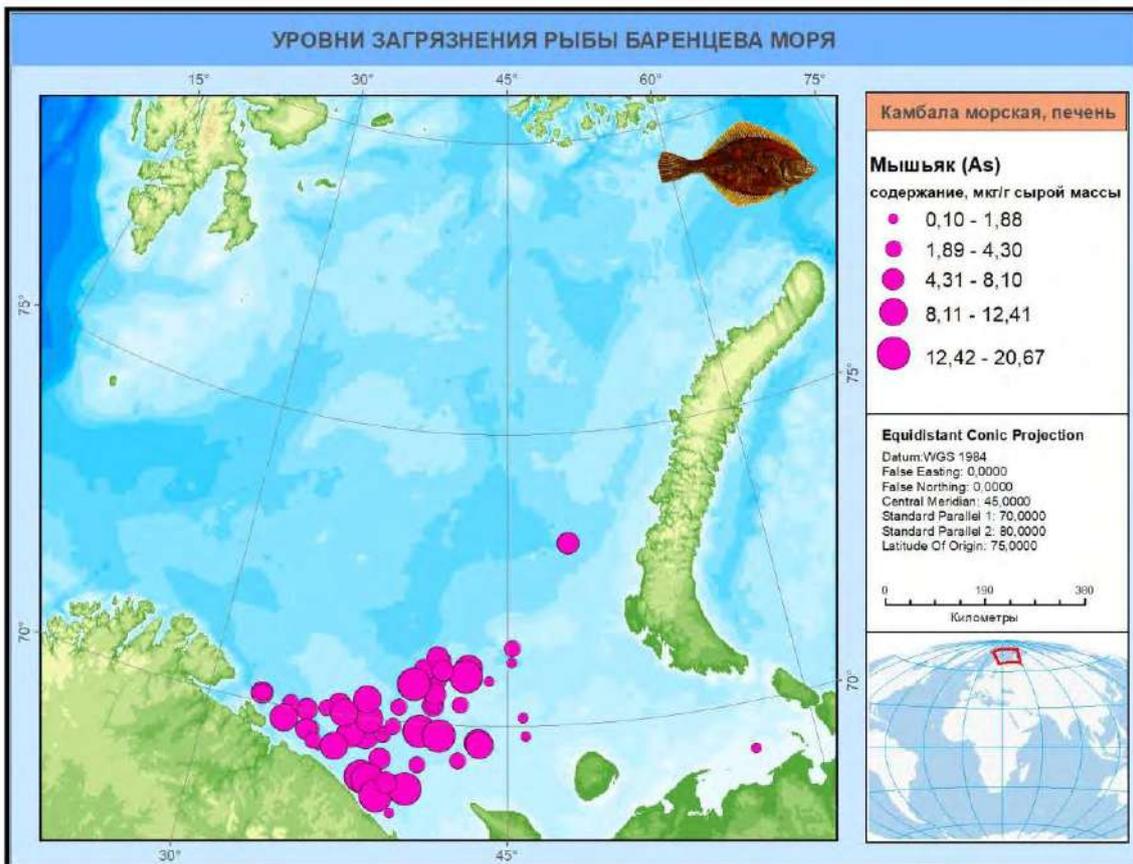
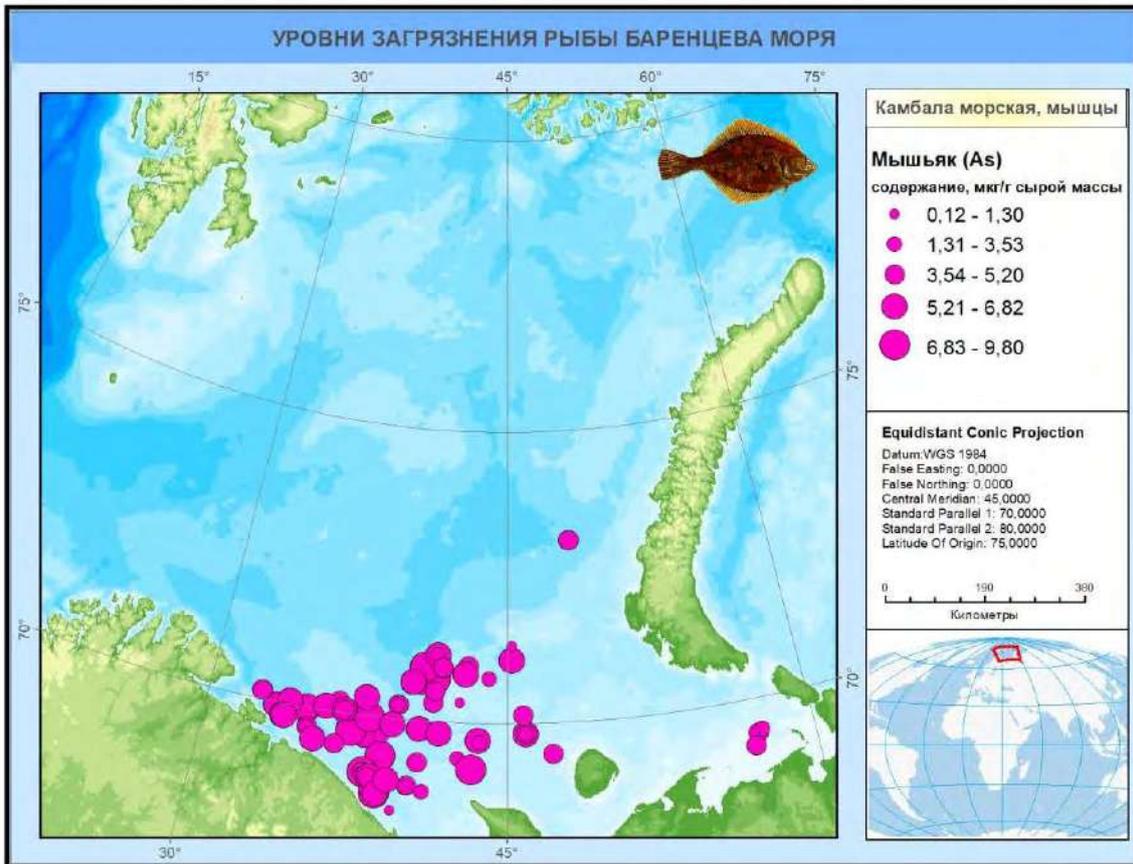


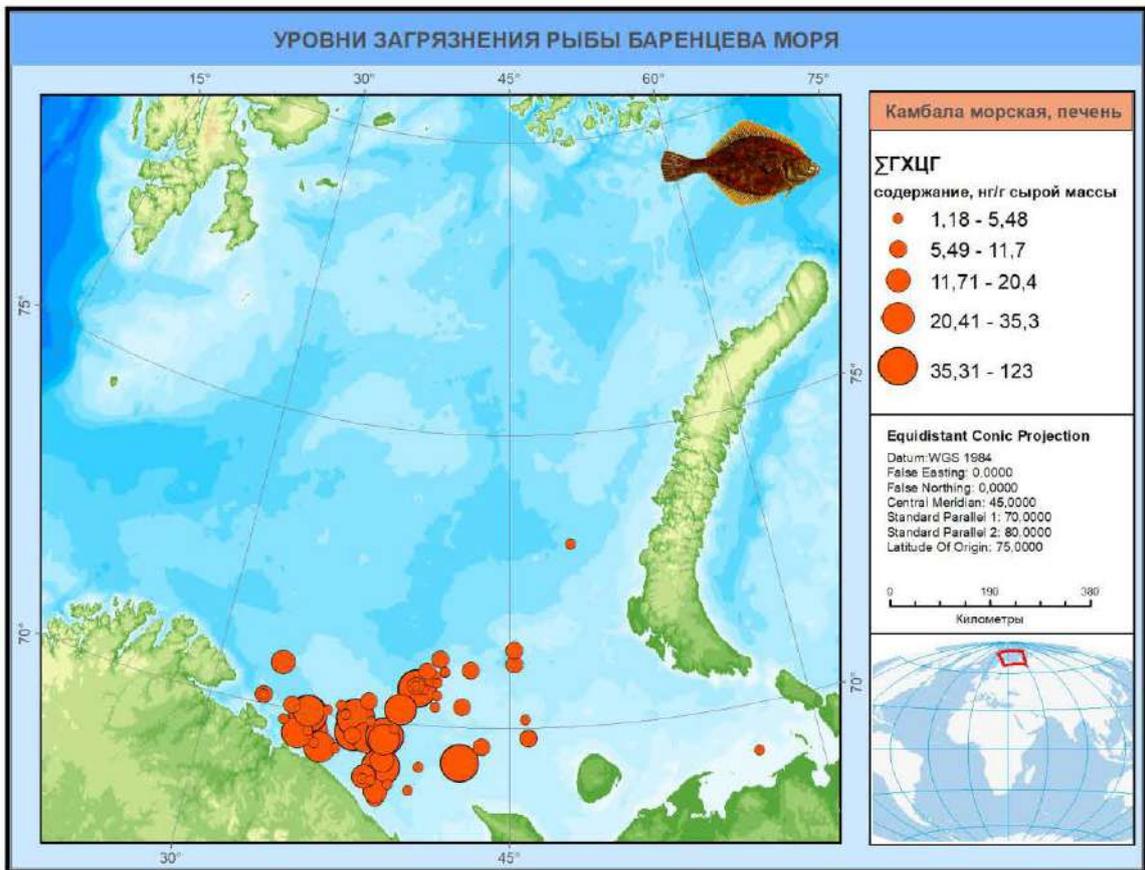
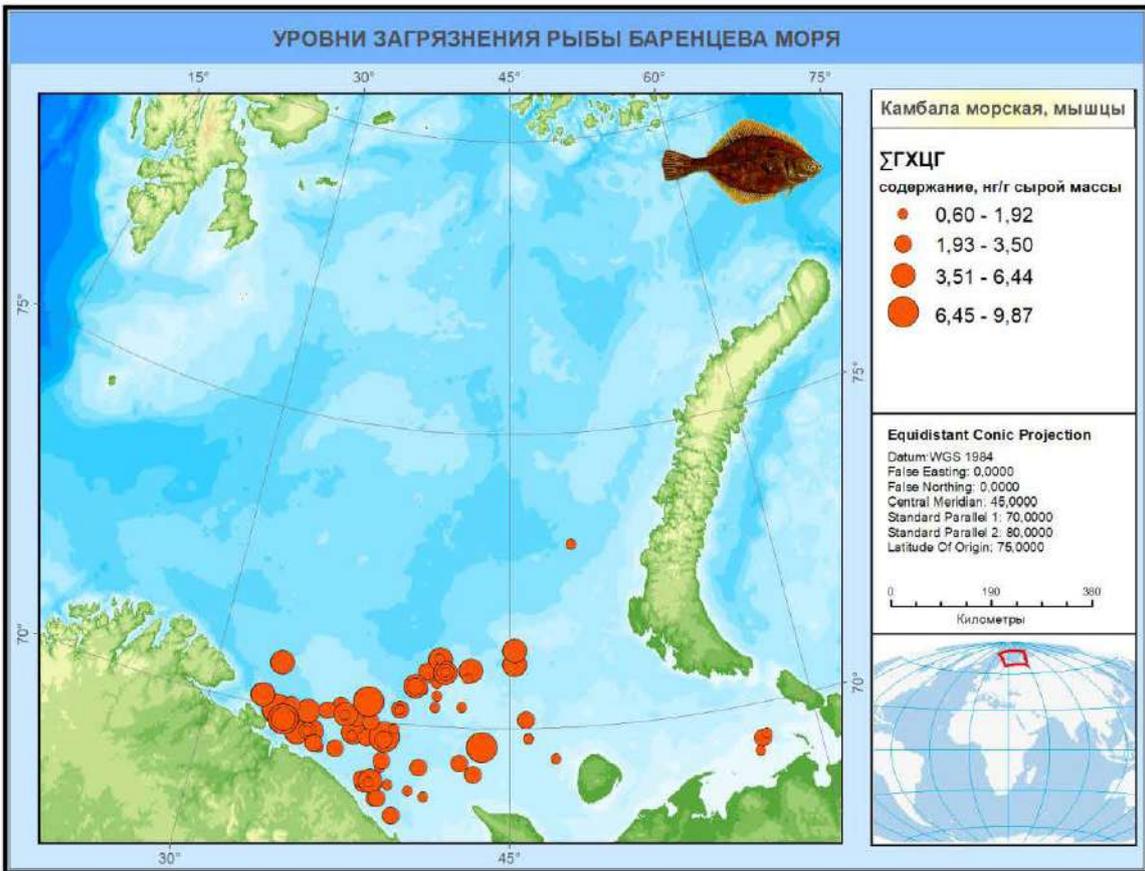


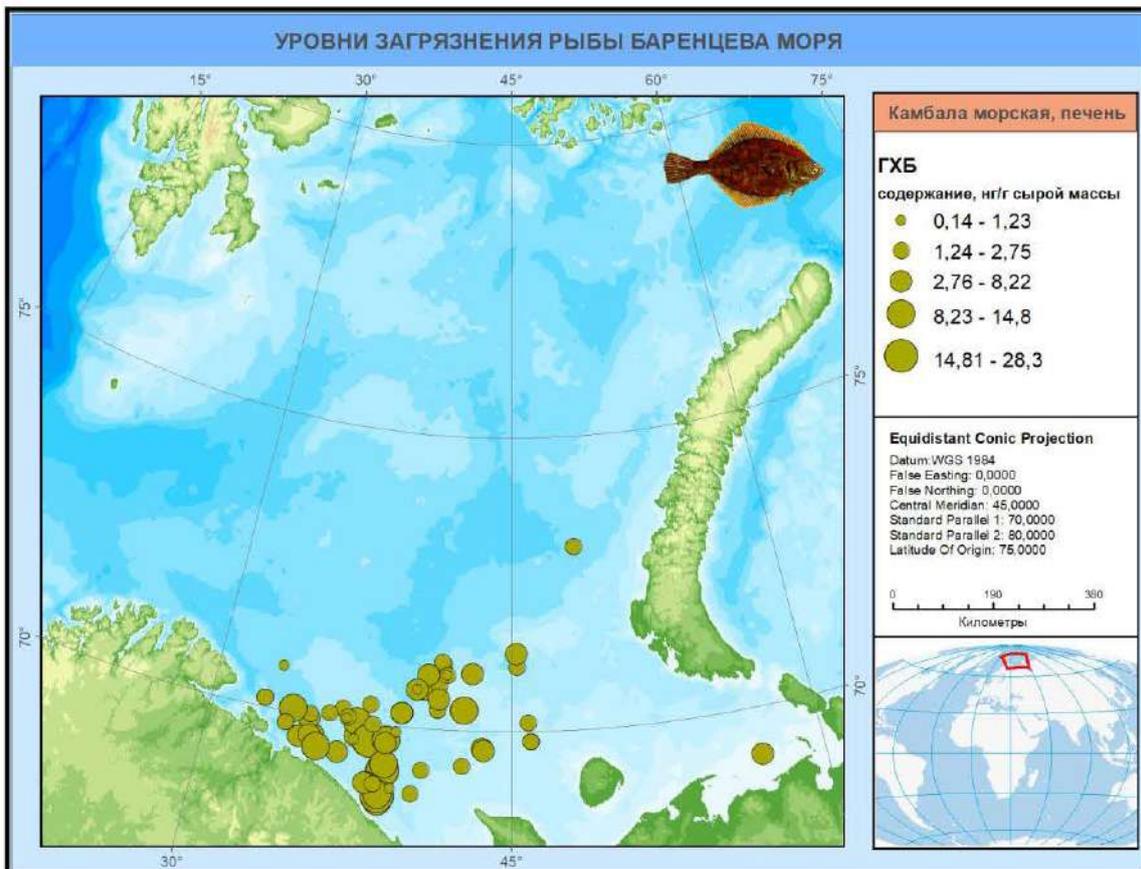
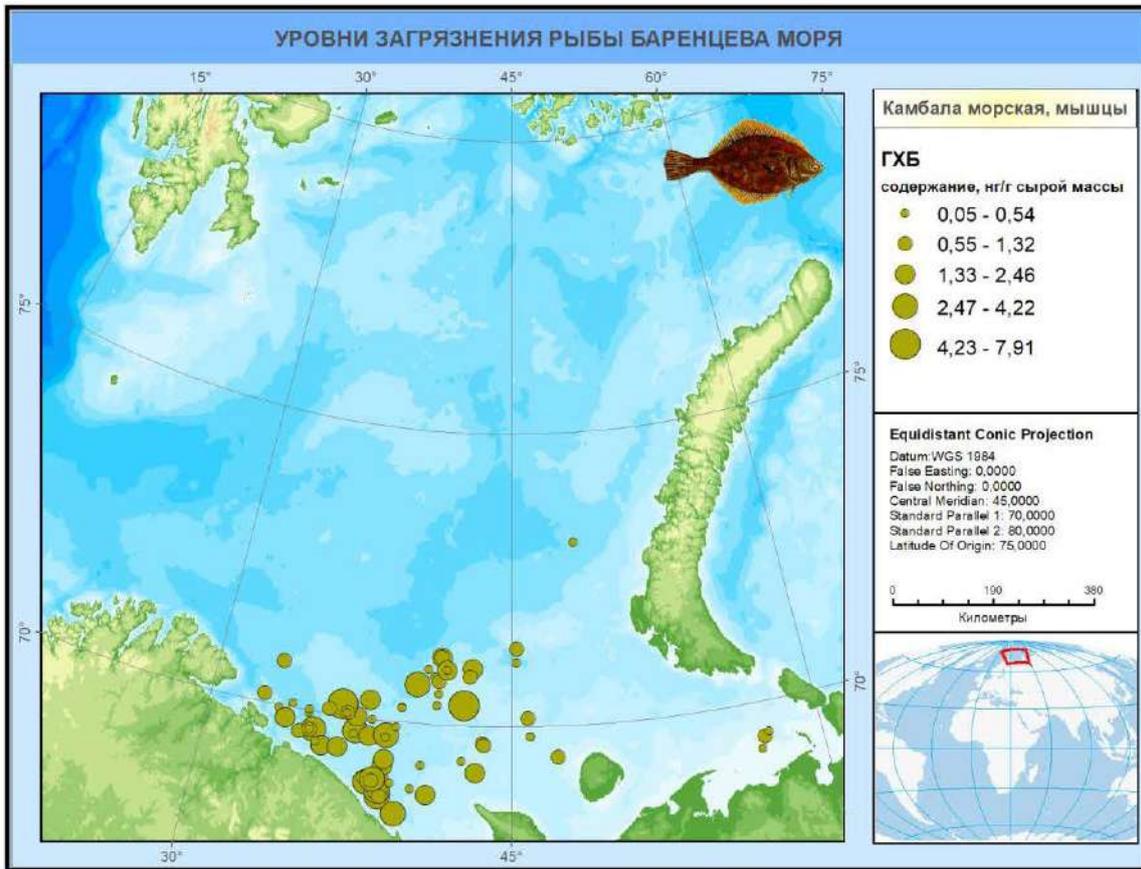


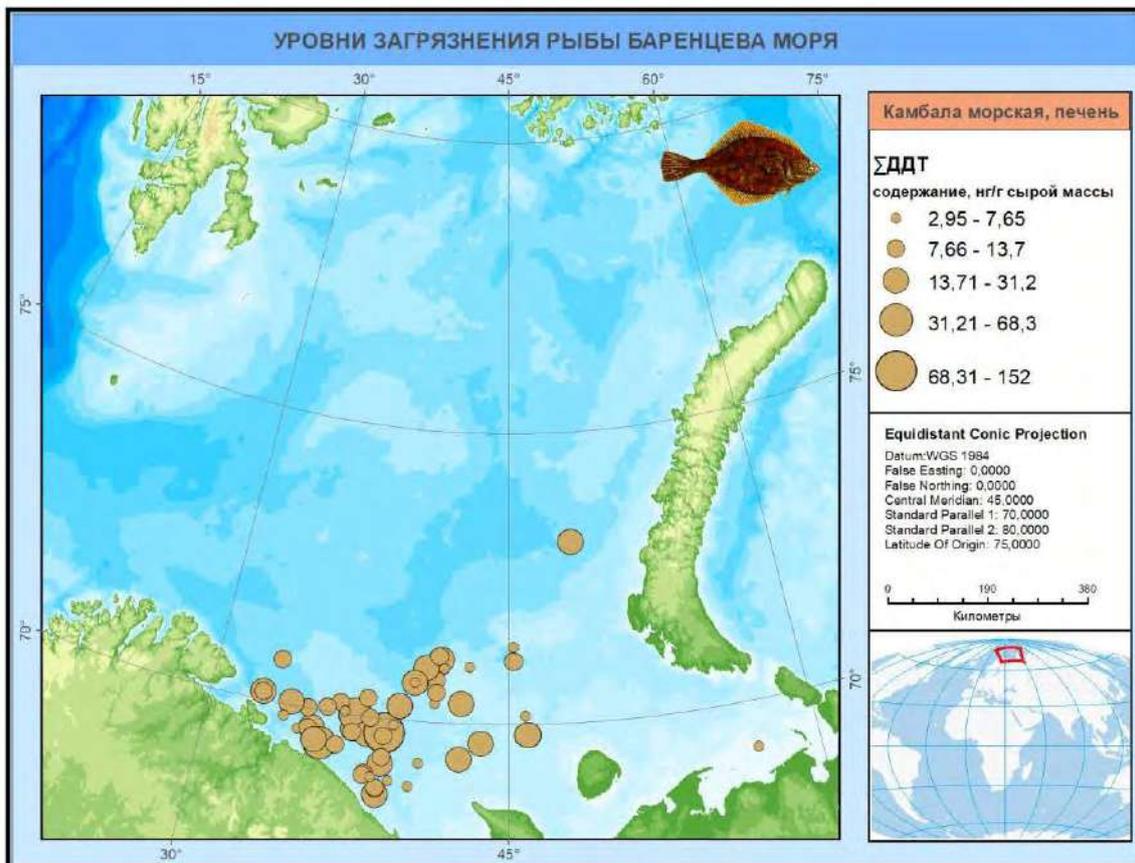
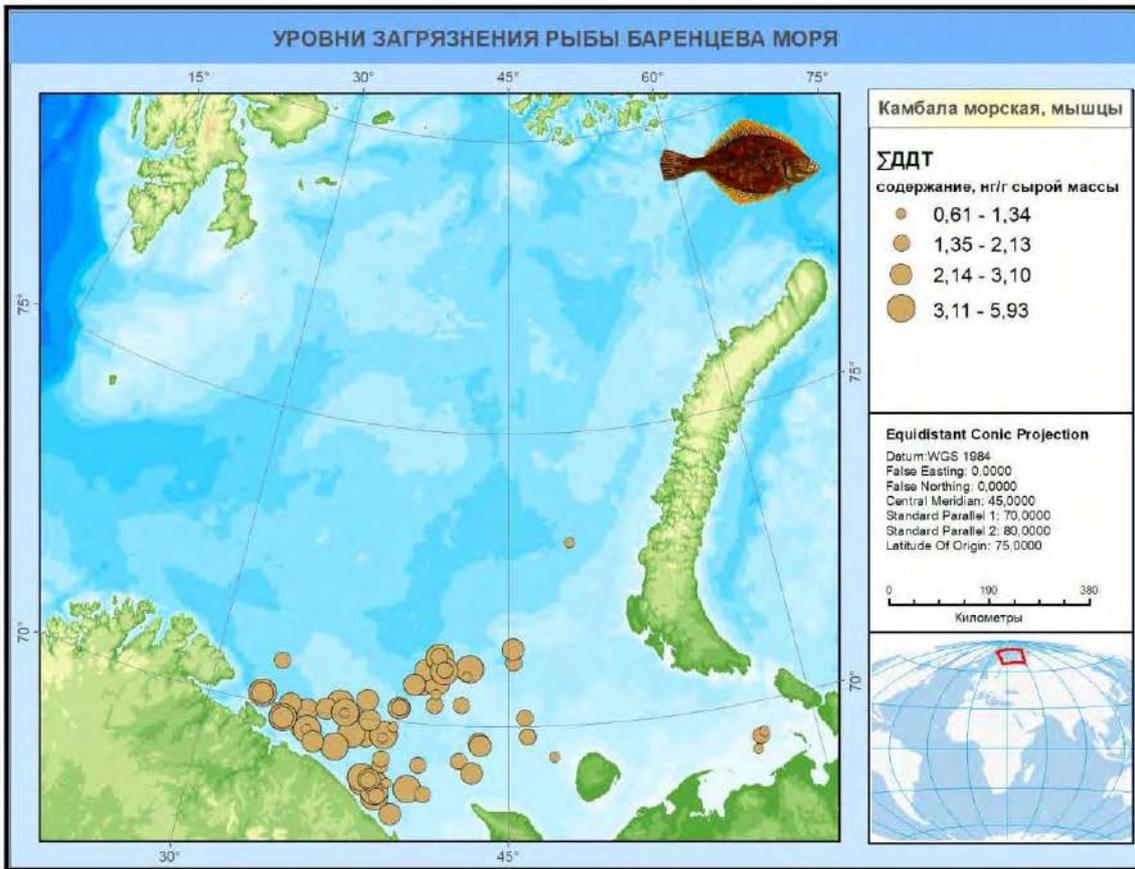


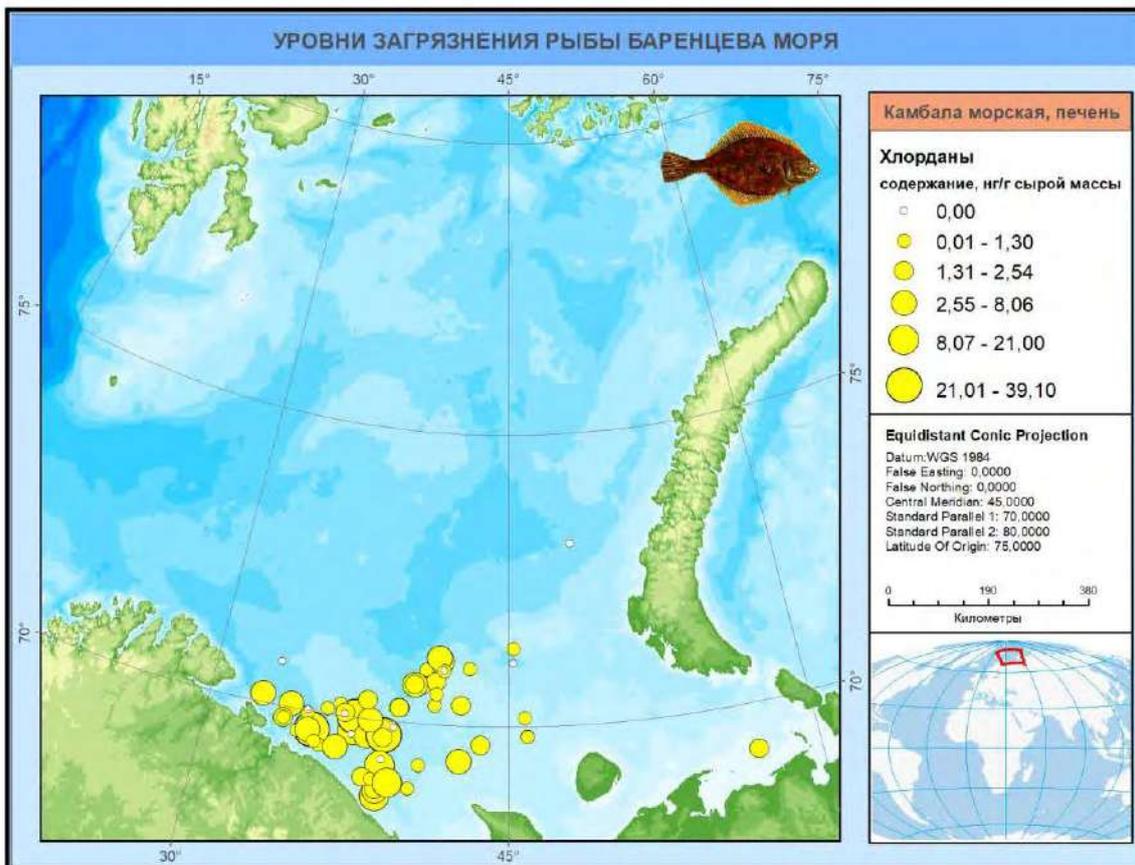
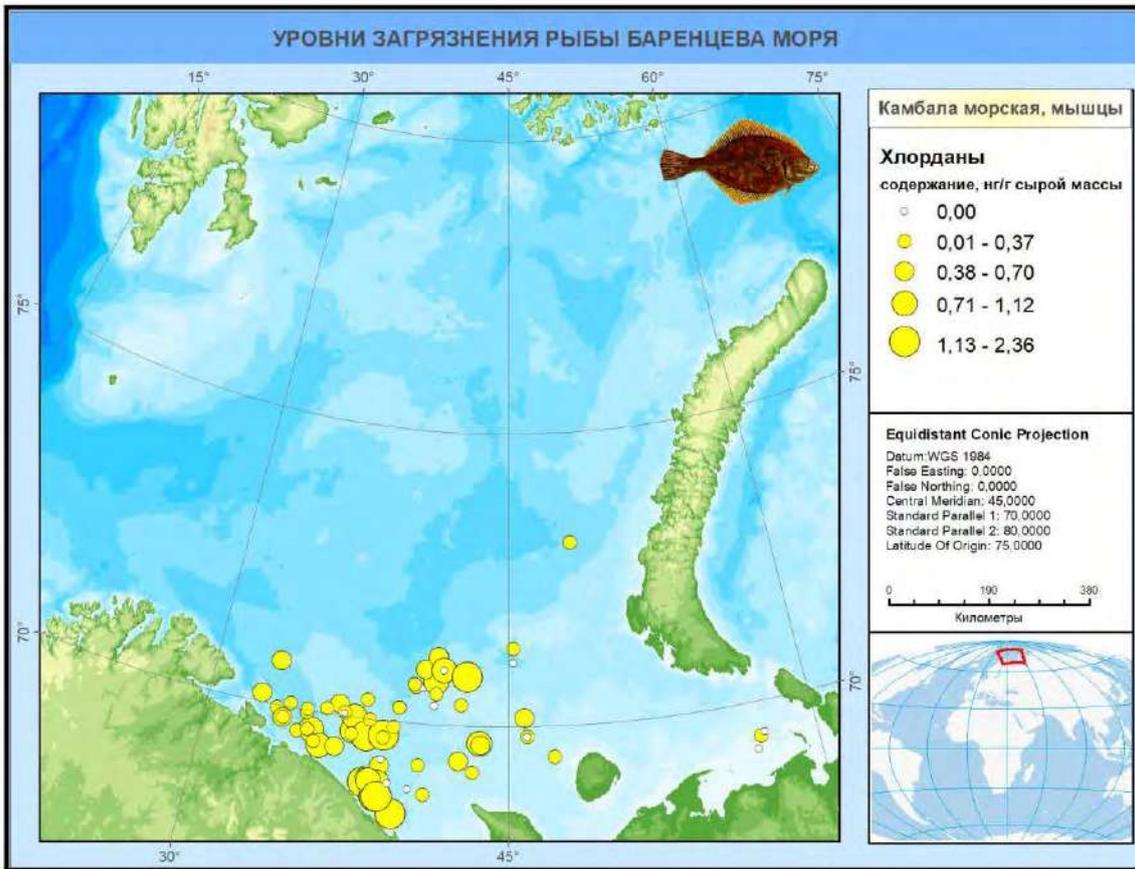


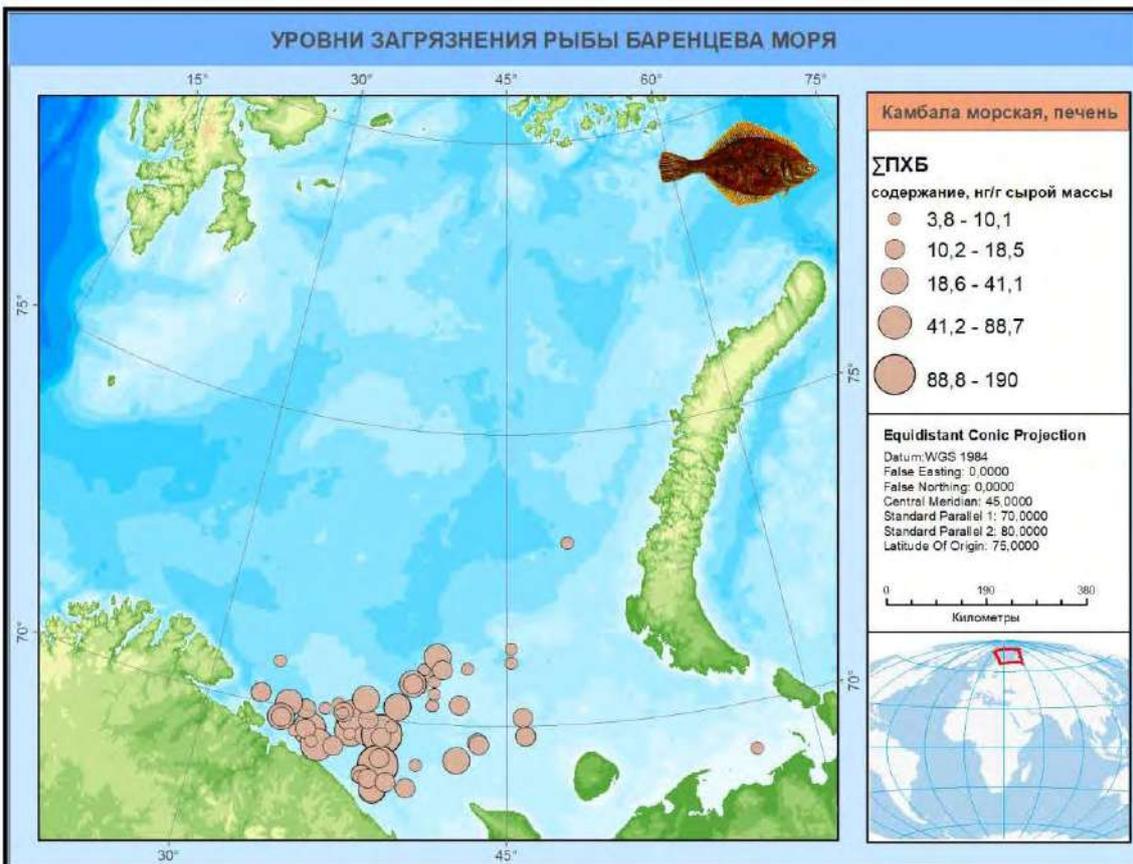
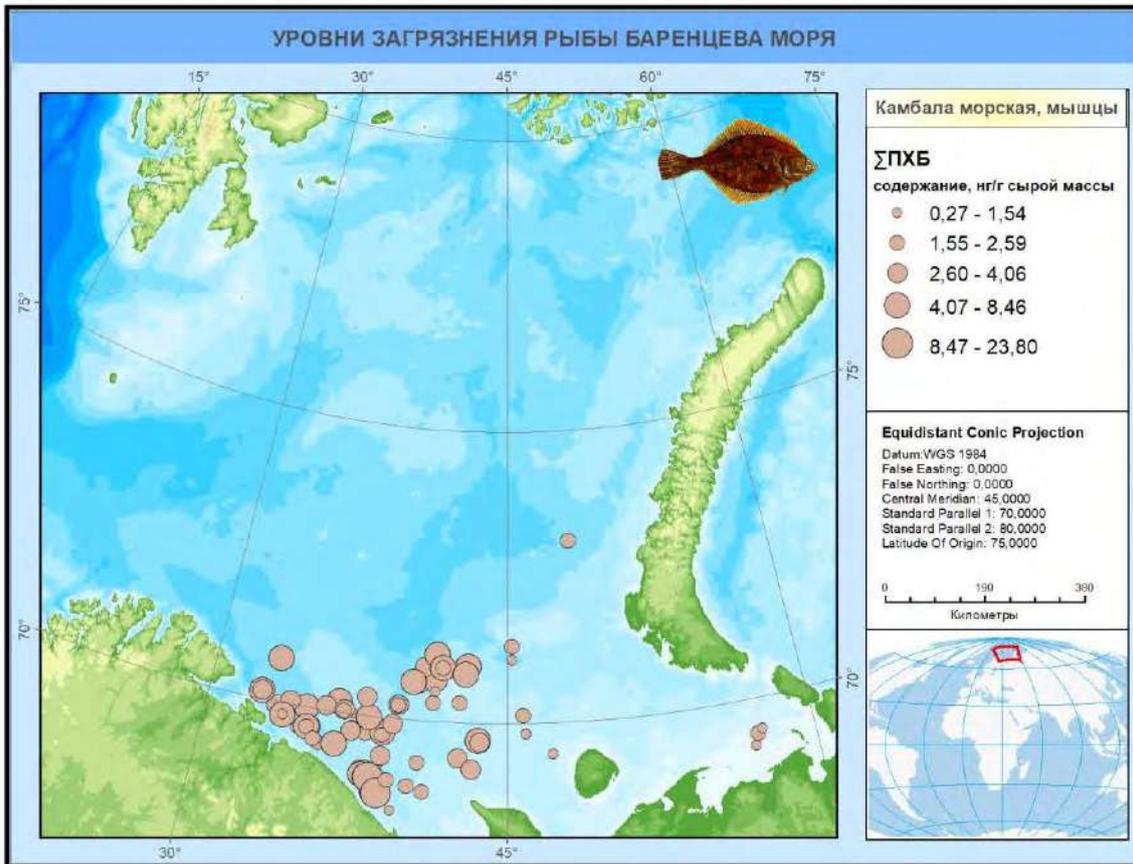












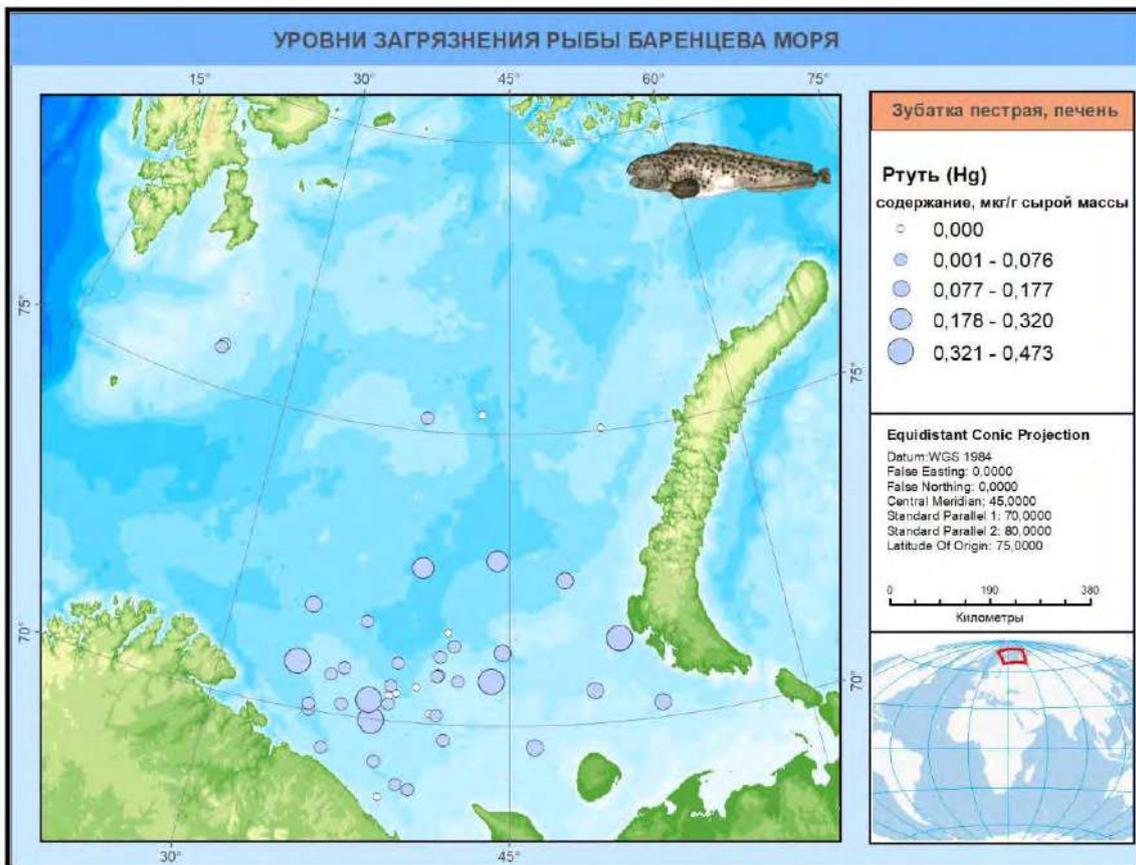
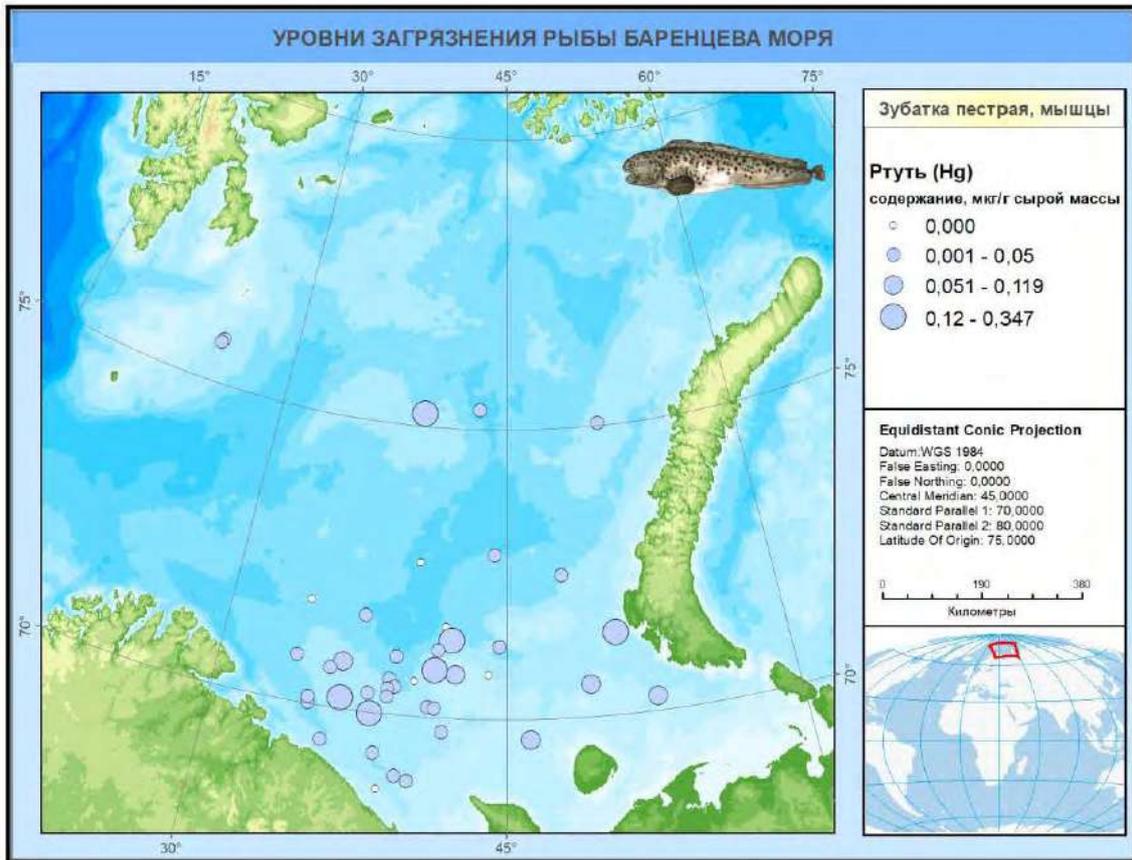
Зубатка пестрая, или пятнистая

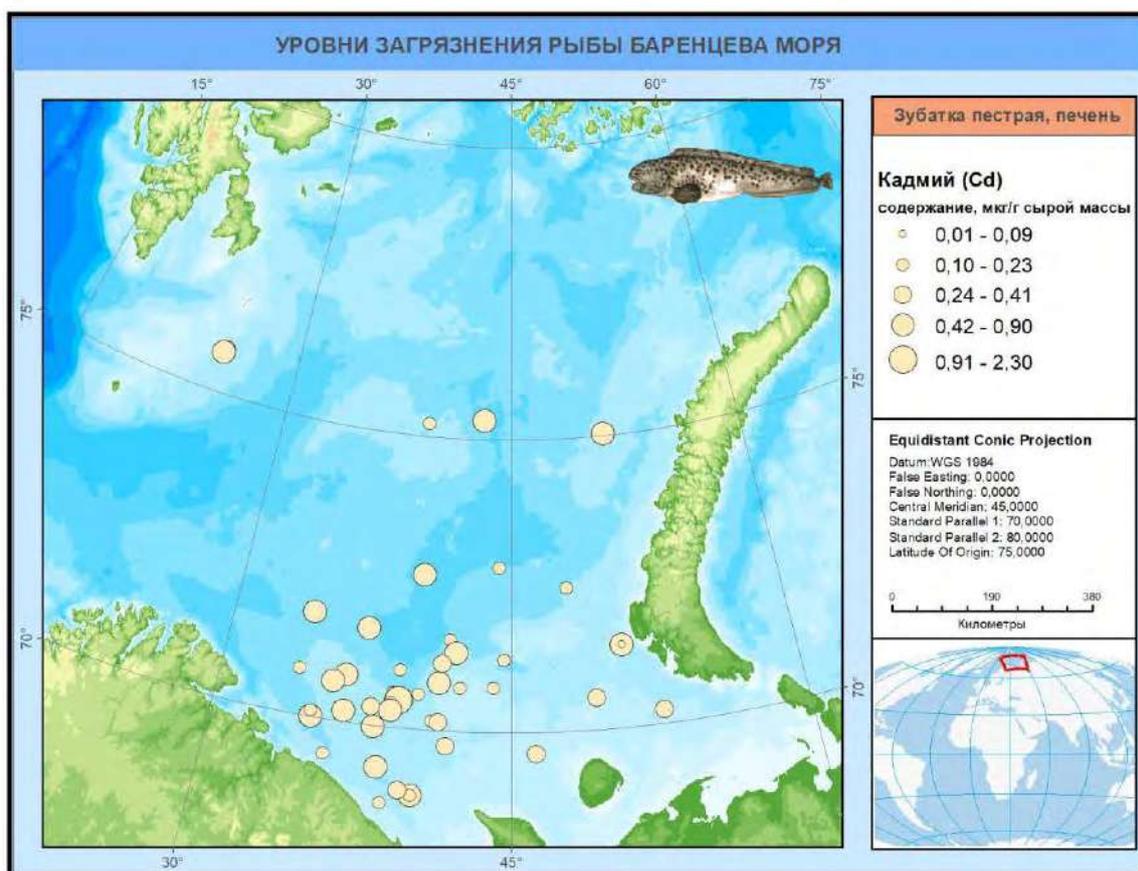
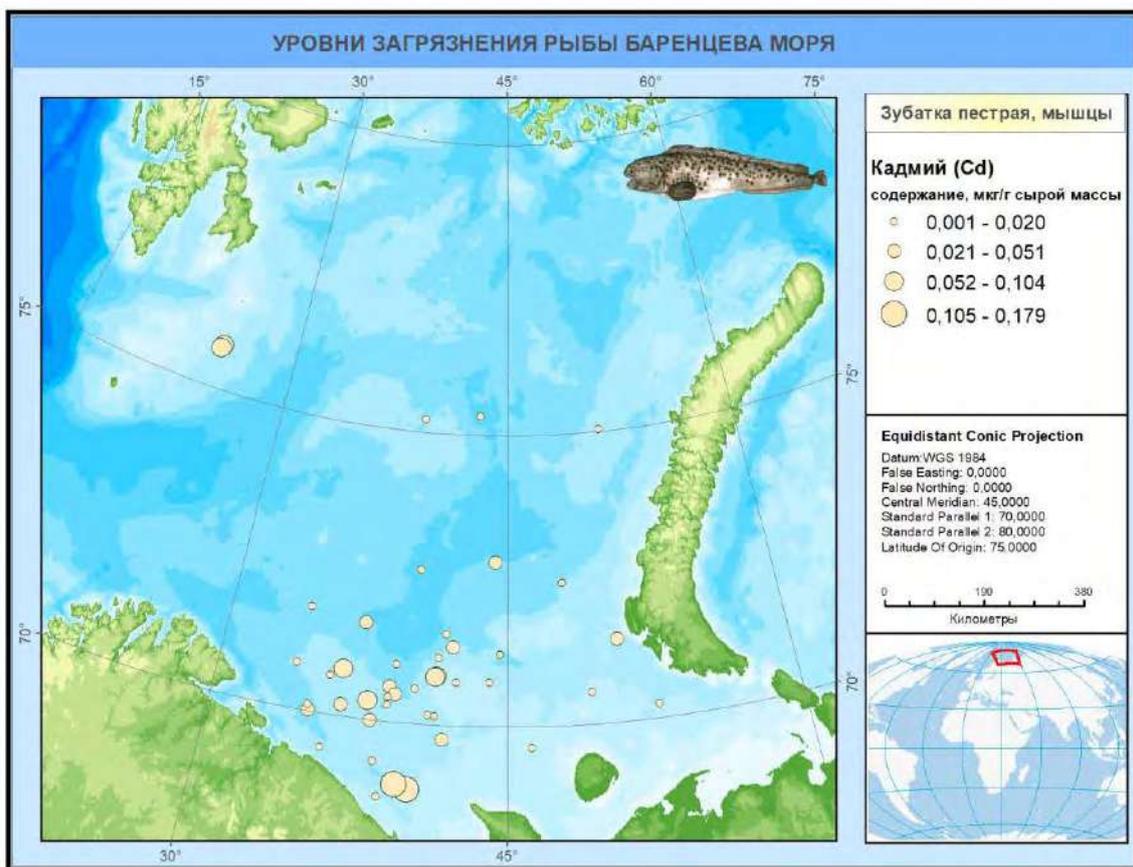
Зубатка пестрая, или пятнистая (*Anarhichas minor*). Представитель отряда Окунеобразные (Perciformes) семейства Зубатковые (Anarhichadidae). Донный, бореальный атлантический вид. Отличительный внешний признак этой зубатки – многочисленные отчетливые округлые темные пятна на голове, спине и боках. Длина пестрой зубатки достигает 144 см (обычно 60-115 см), масса – более 20 кг. Встречается на илистых или илисто-песчаных грунтах на глубинах от 20 до 650 м. Предпочитает высокую соленость и относительно высокую температуру воды (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Вылов зубаток всех видов в Баренцевом море и сопредельных водах в 2010-2020 гг. постоянно увеличивался с 12,4 до 19,8 тыс. т с локальным снижением в 2019 г. – 15,9 тыс. т. В 2020 г. среди всех видов зубаток в уловах преобладала синяя (12457,5 т), на долю пестрой зубатки пришлось 5335,3 т, полосатой – 2124,3 т (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Является наиболее ценной из всех зубаток, мясо хорошего качества. Используется в свежем, мороженом, копченом и вяленом виде (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Благодаря высокой жирности, умеренному содержанию белка и значительной оводненности мясо зубатки очень нежное, при варке его консистенция становится мягкой. Жирность мяса значительно варьирует от 0,5 до 9,0 % и зависит от возраста, сезона и индивидуальных особенностей особи. Наибольшее содержание жира в мышцах зубаток весной и у особей старших возрастных групп. Содержание жира в печени колеблется от 5,5 до 42 % со среднегодовым значением 21,9 %. Зубатка – прекрасное сырье для кулинарных изделий, консервов, а также продуктов холодного и горячего копчения. Пятнистая зубатка благодаря высокому содержанию полиненасыщенных жирных кислот липидов мышечной ткани рекомендуется для питания в лечебно-профилактических целях (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

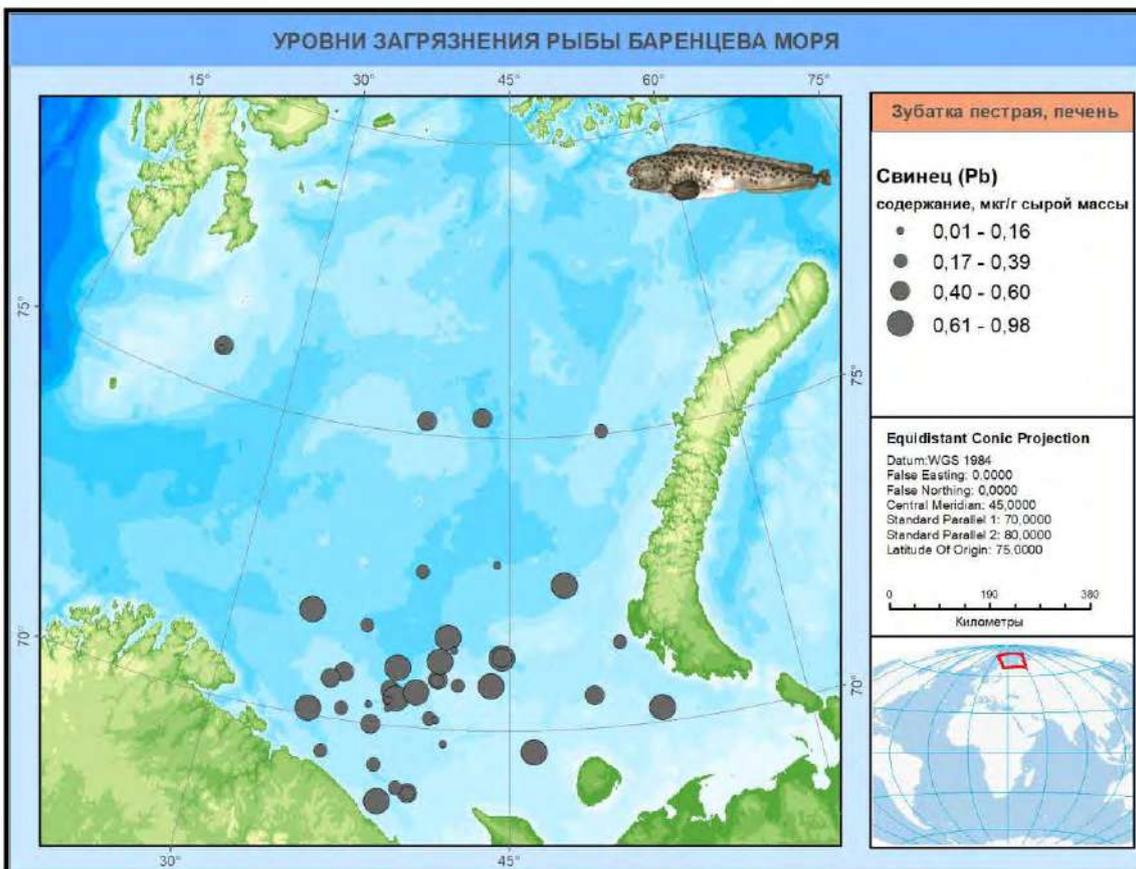
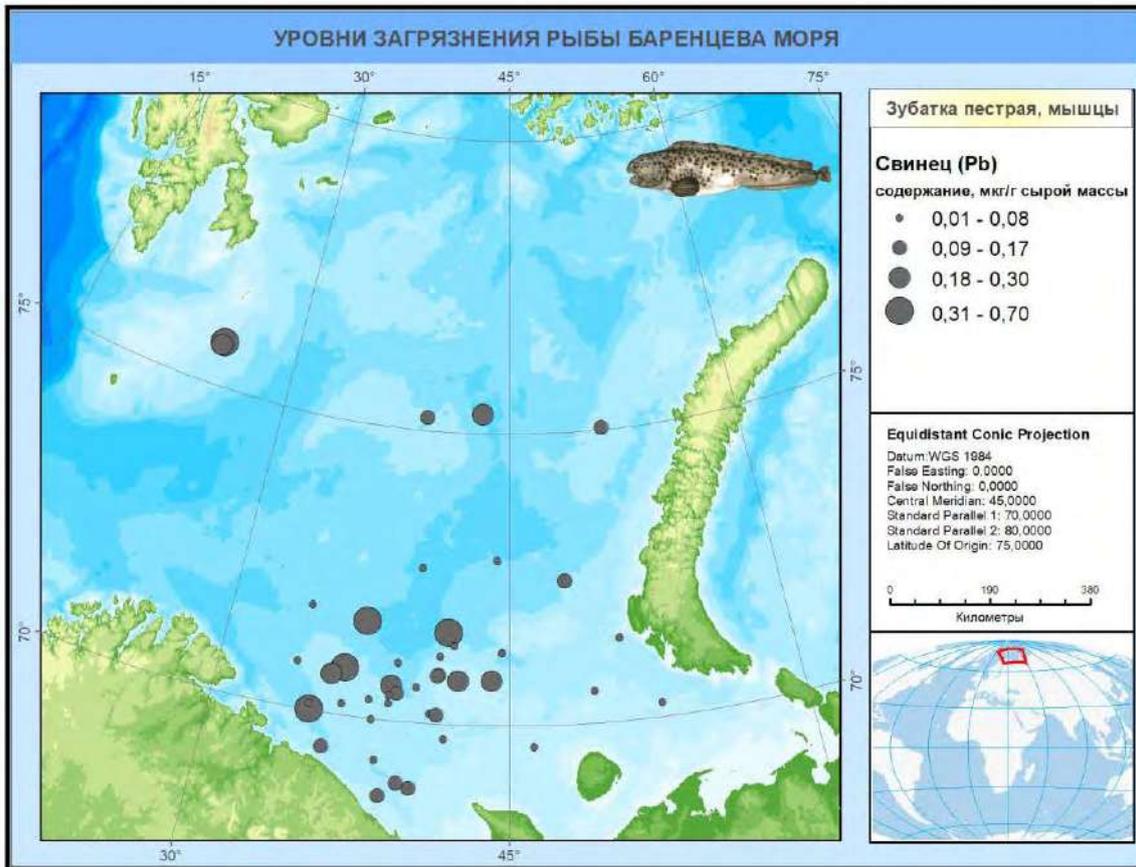
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах пятнистой зубатки составляет $0,060 \pm 0,094$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,030 \pm 0,041$ мкг/г, Pb – $0,14 \pm 0,15$ мкг/г, Cu – $0,34 \pm 0,13$ мкг/г, Zn – $7,70 \pm 2,91$ мкг/г, Ni – $0,17 \pm 0,11$ мкг/г, Cr – $0,20 \pm 0,23$ мкг/г, Co – $0,12 \pm 0,07$ мкг/г и As – $4,92 \pm 2,15$ мкг/г (N=50); Σ ГХЦГ – $3,23 \pm 2,65$ нг/г, ГХБ – $1,29 \pm 1,90$ нг/г, Σ ДДТ – $4,20 \pm 3,10$ нг/г, Σ ПХБ – $4,84 \pm 3,05$ нг/г и суммы хлорданов – $3,90 \pm 3,48$ нг/г сырой массы (N=45).

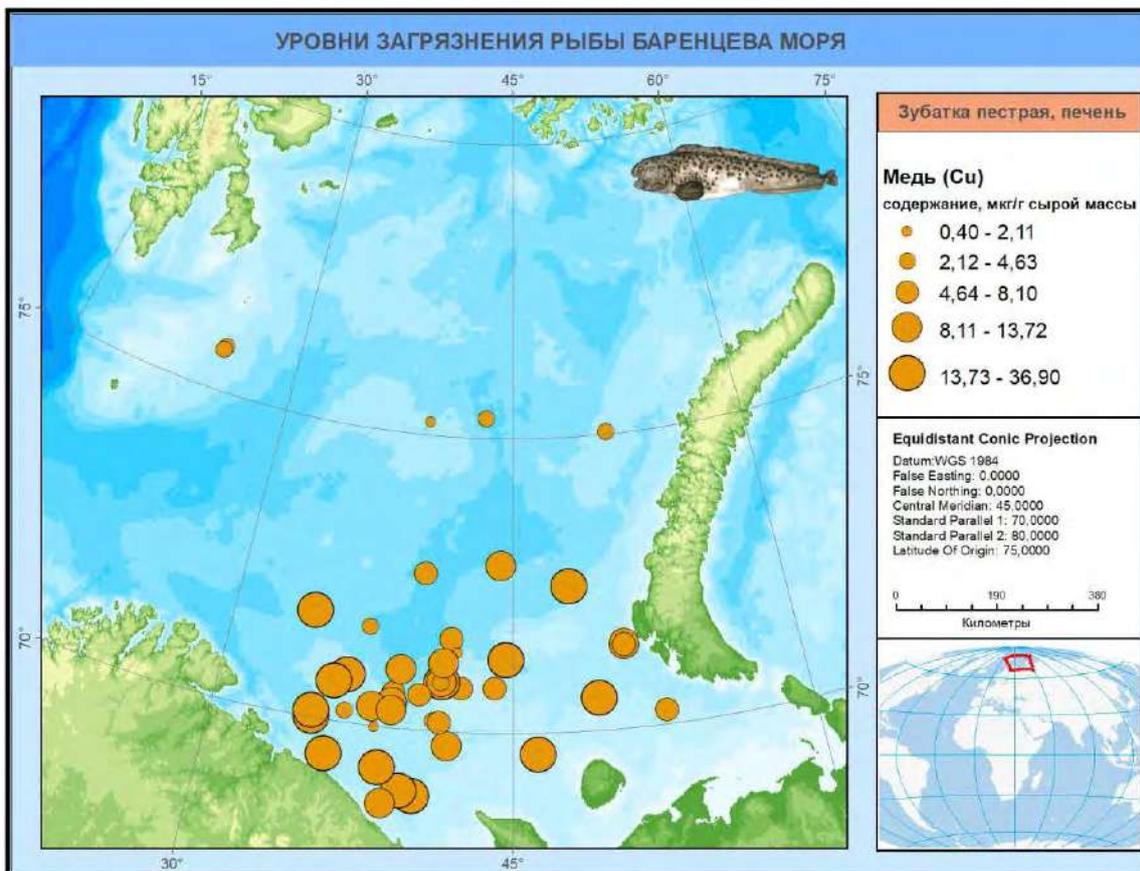
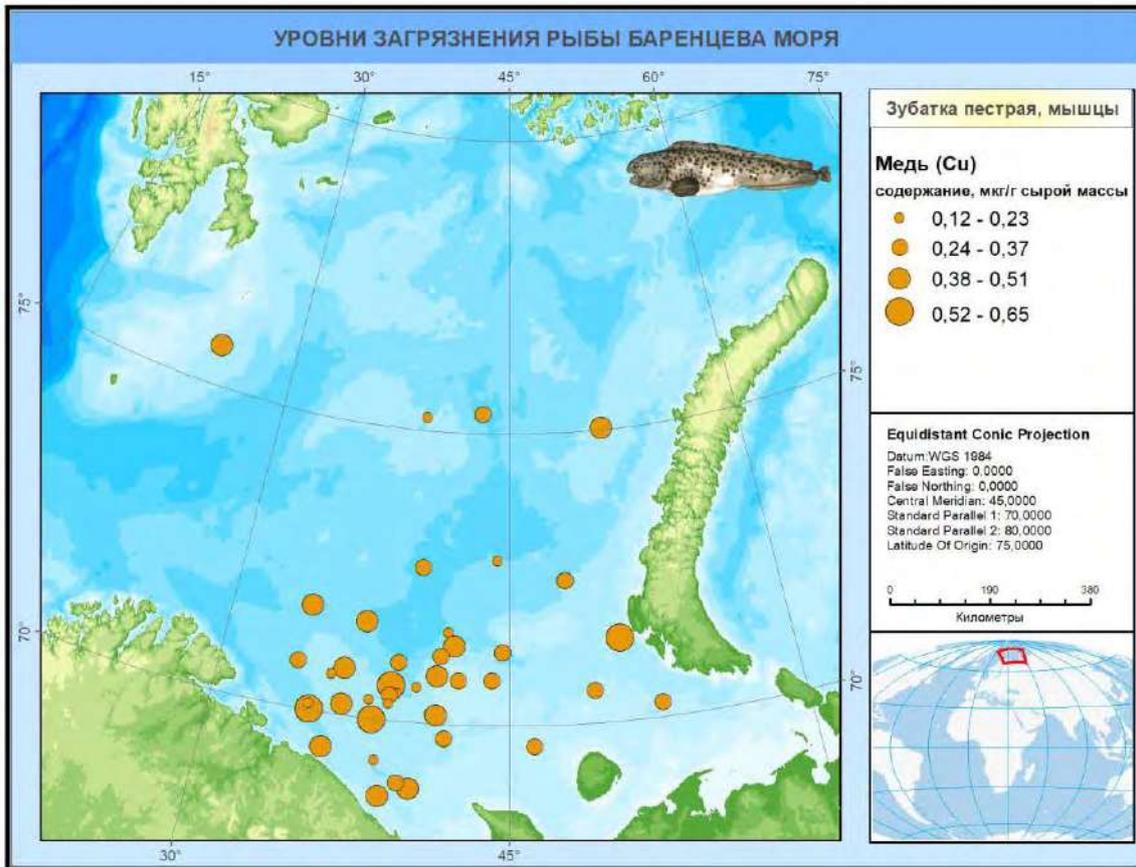


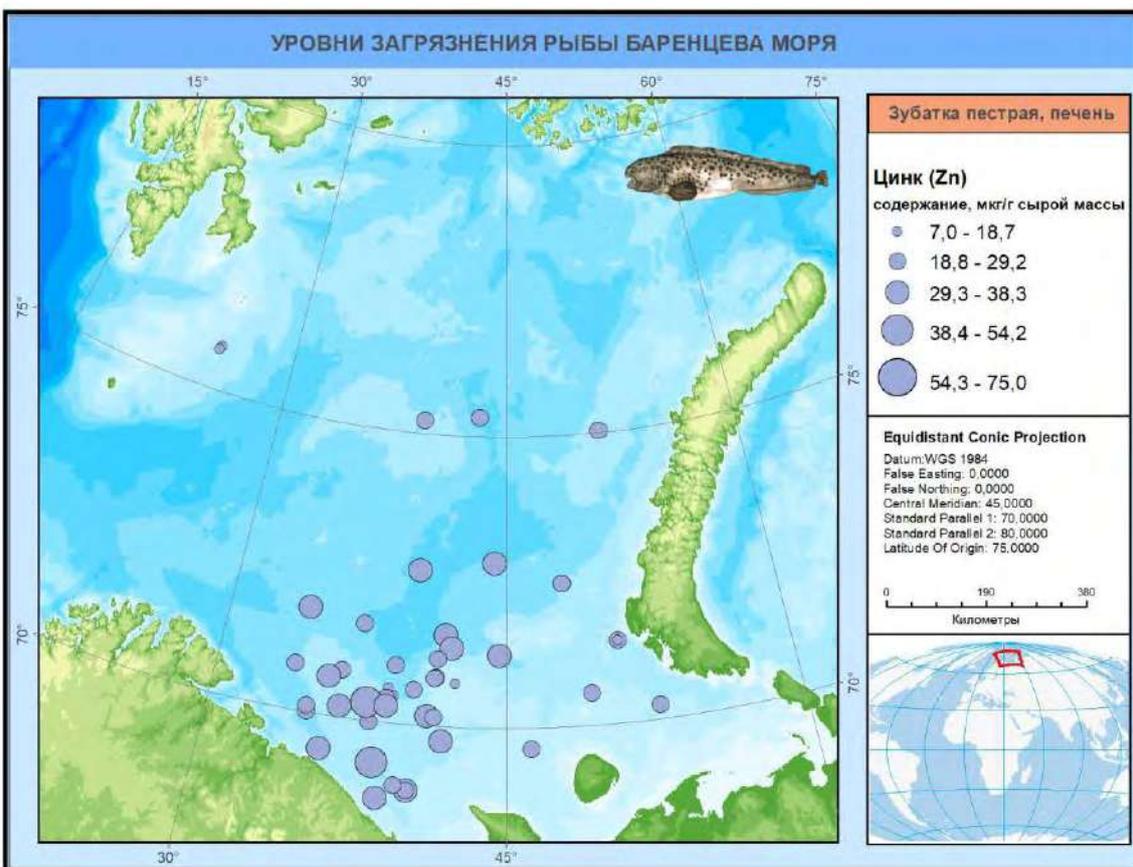
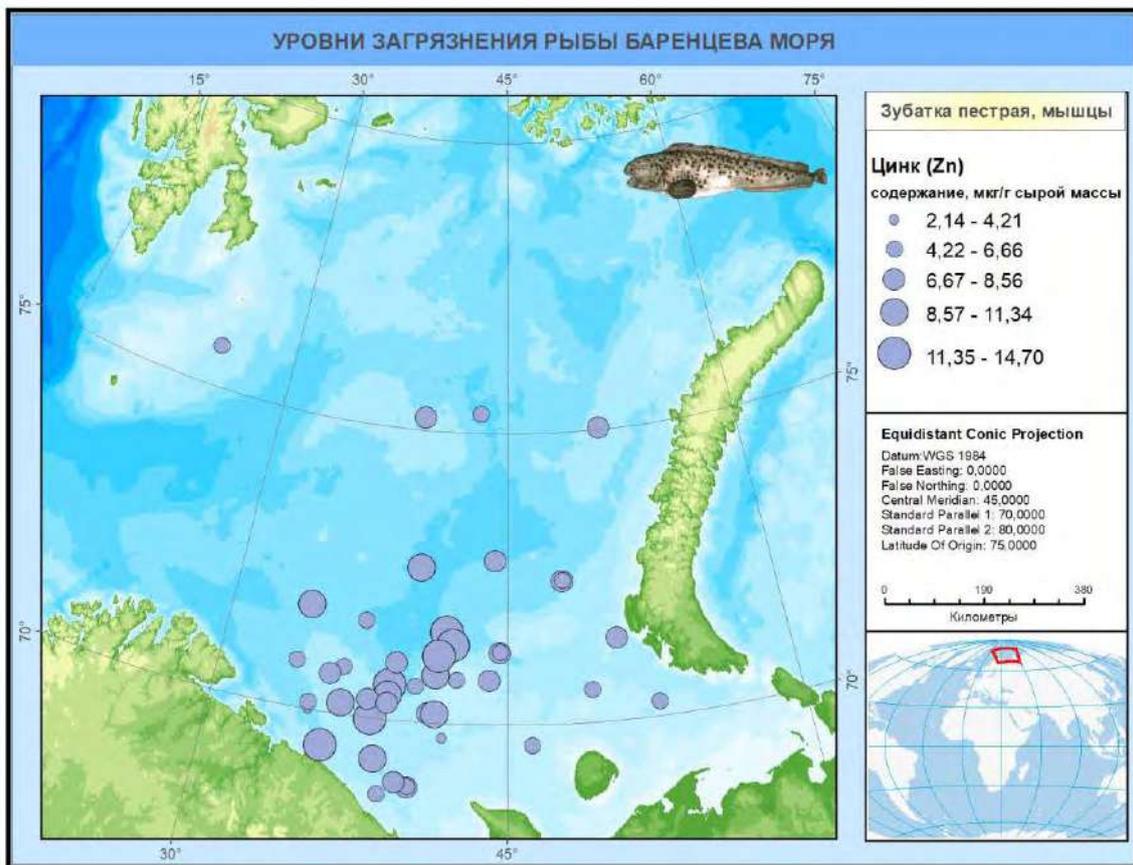
Ниже приводятся карты содержания загрязнителей в зубатке пестрой, или пятнистой в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

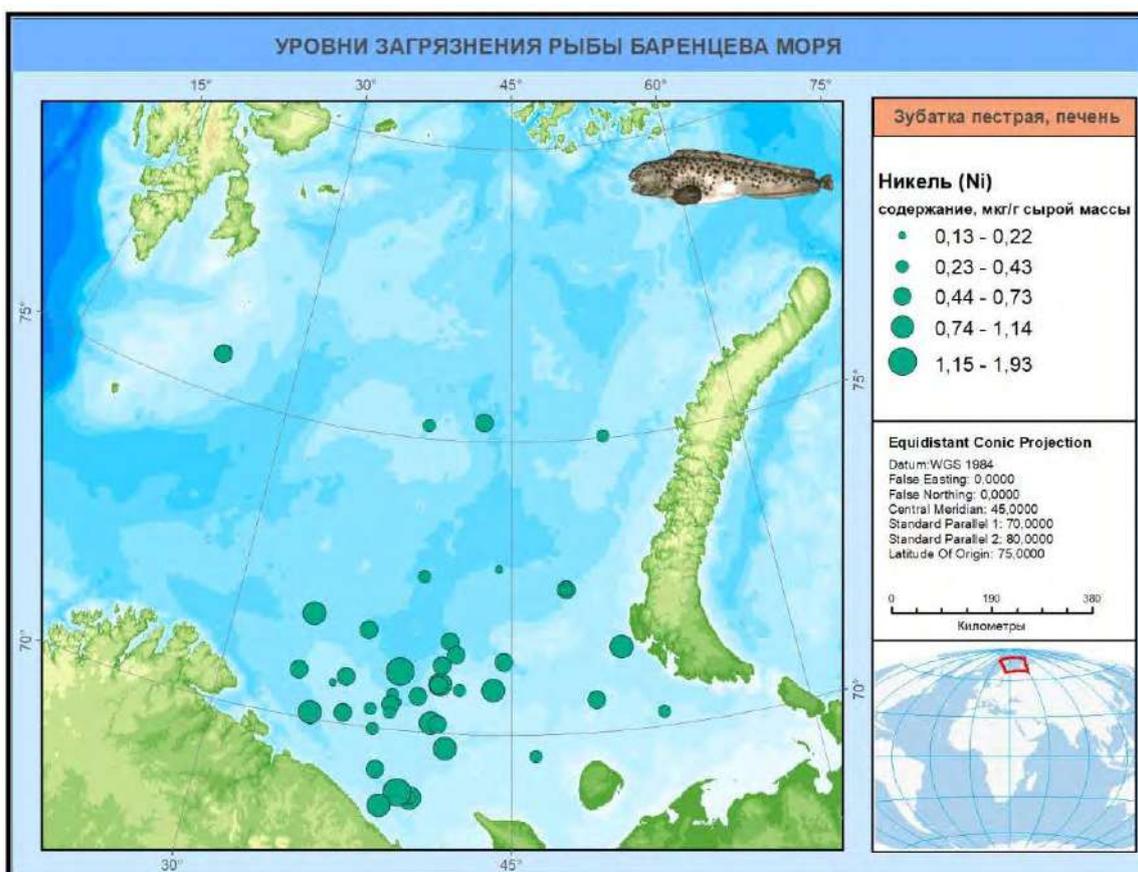
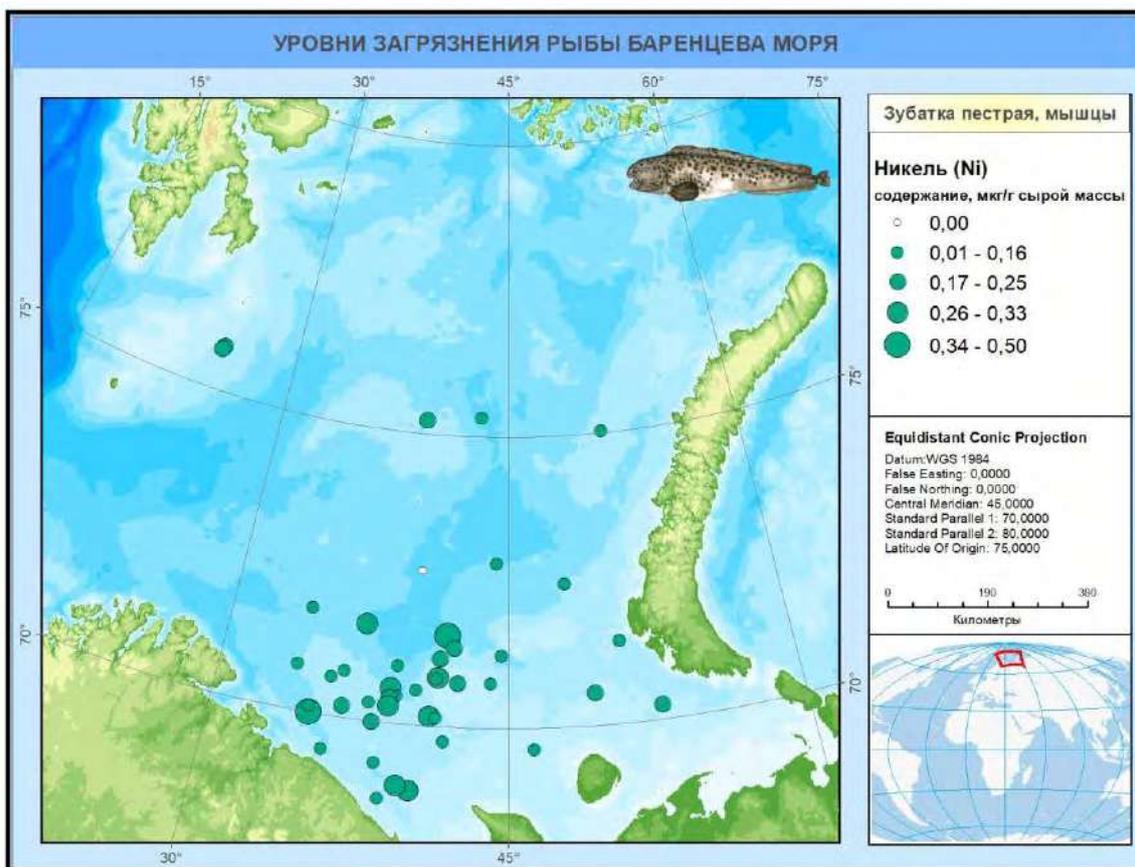


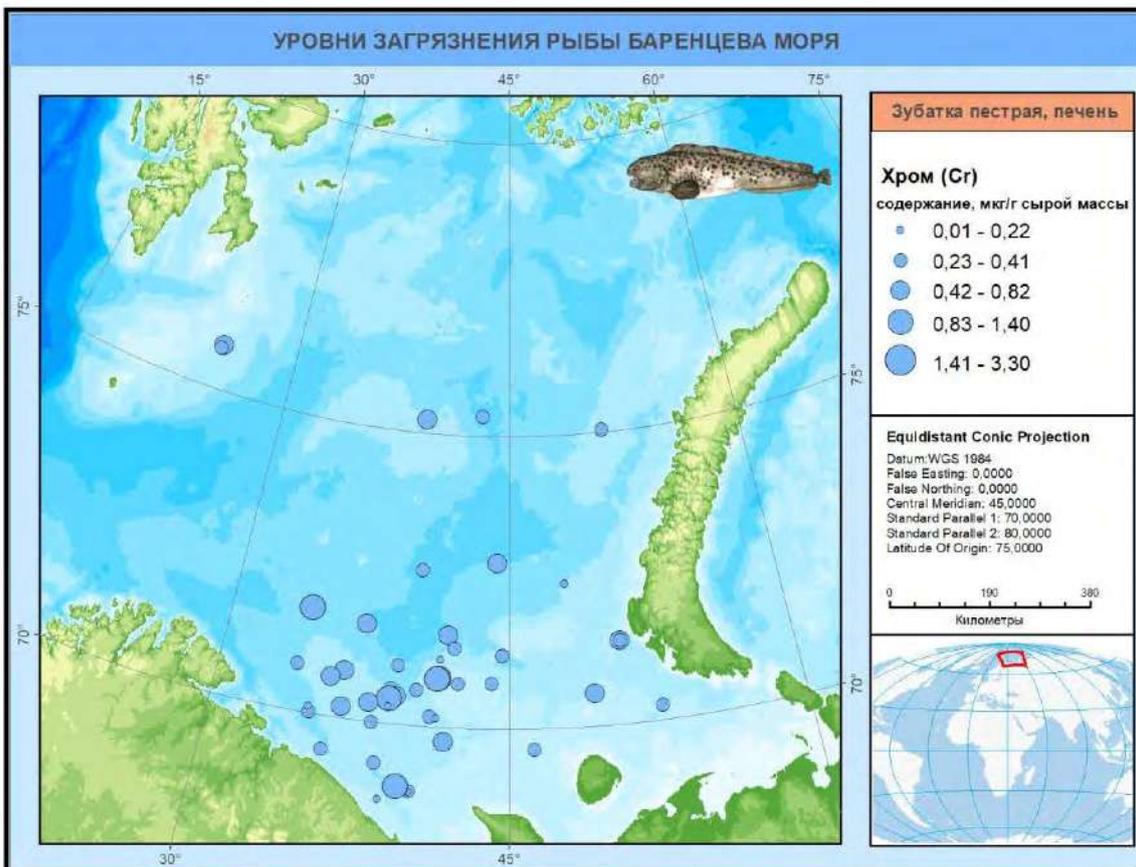
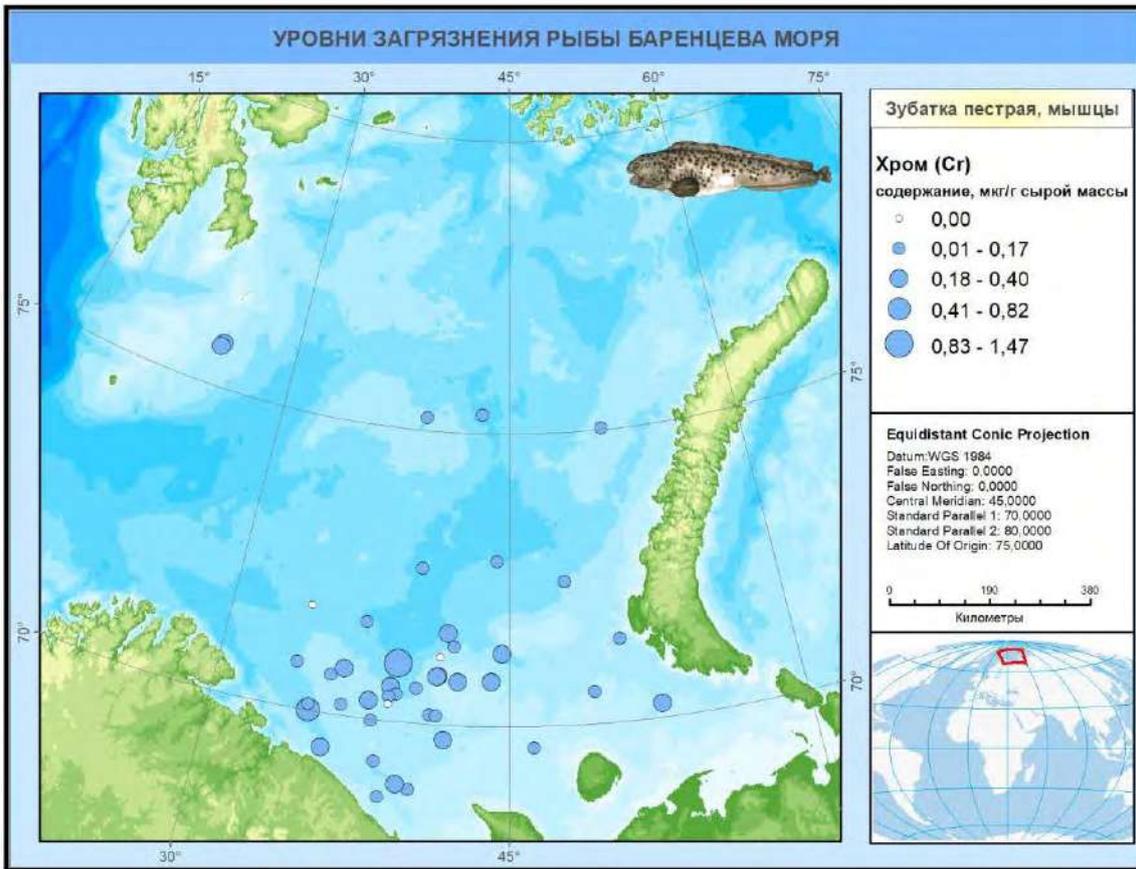


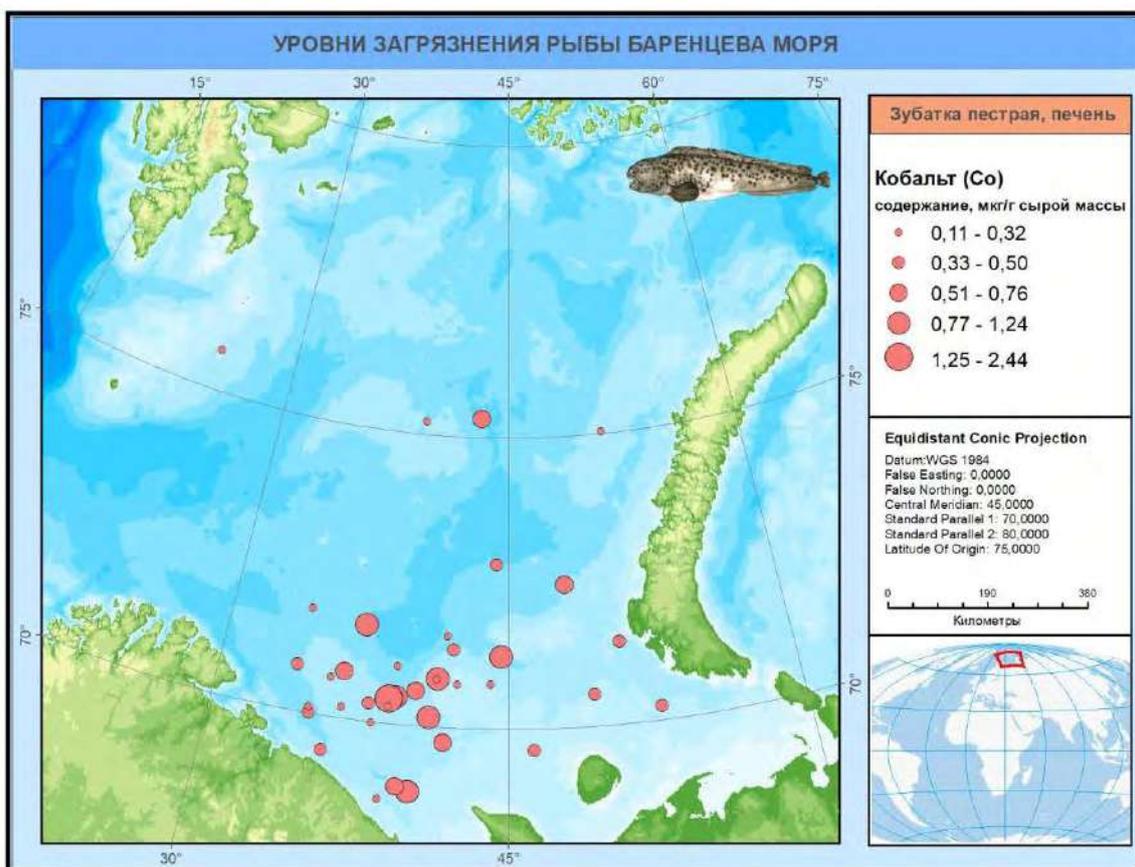
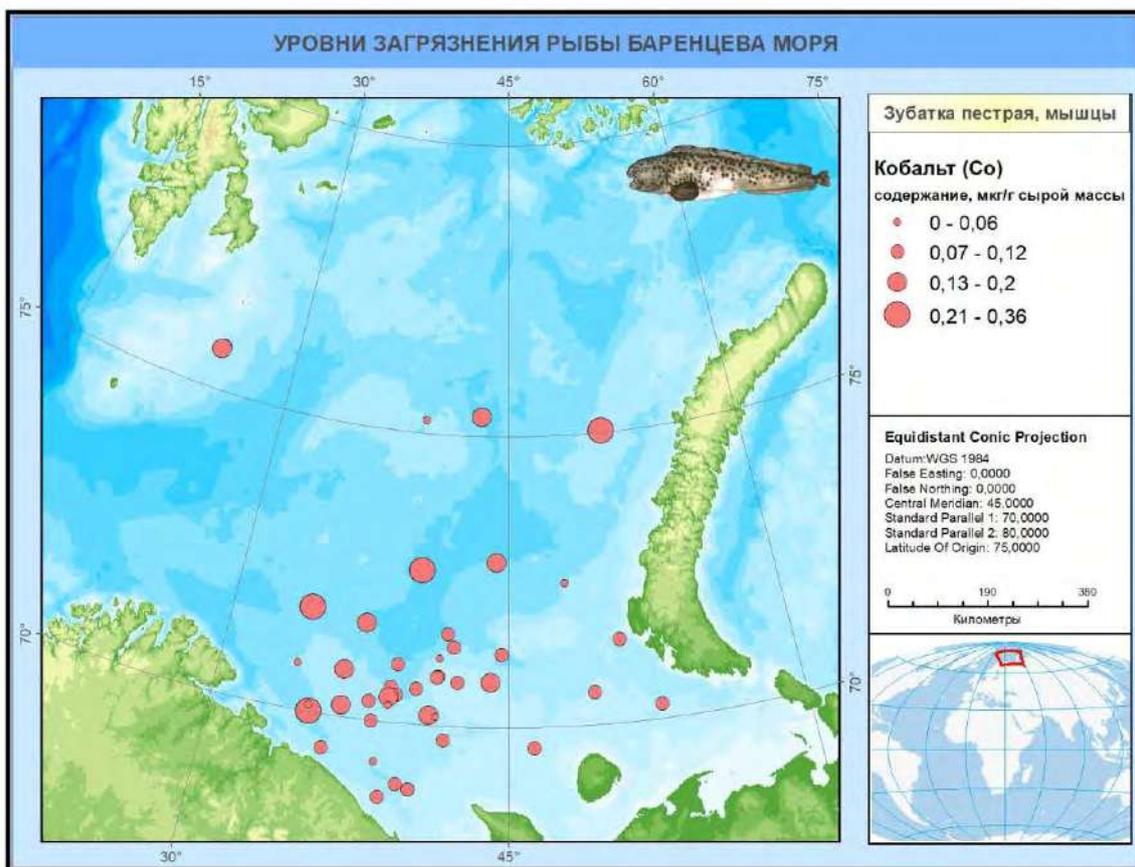


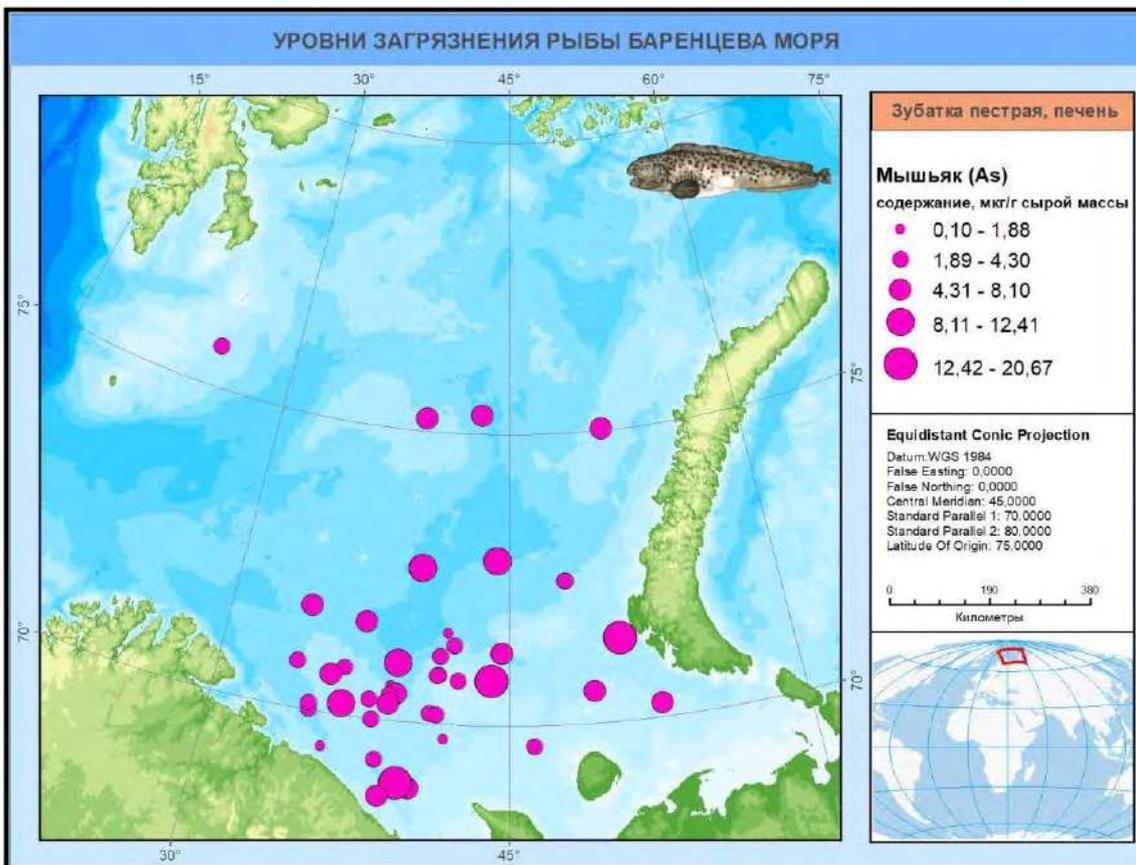
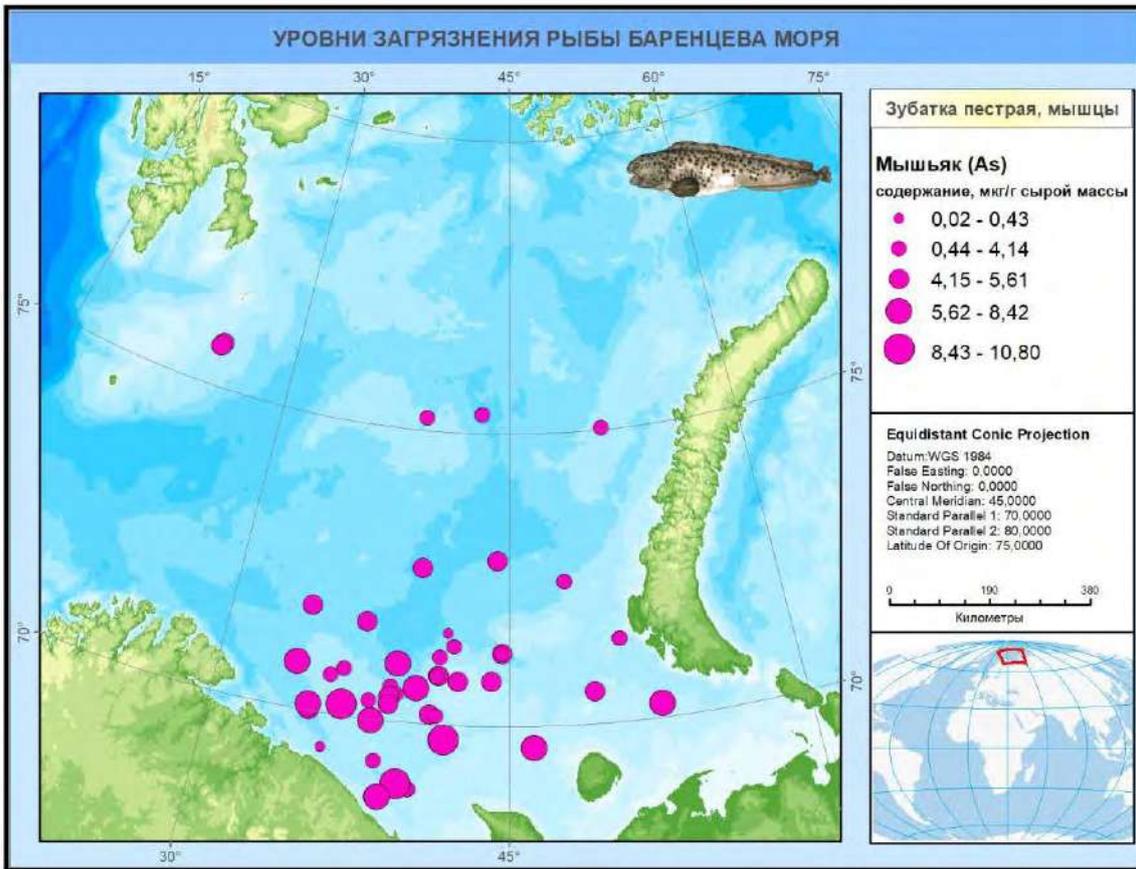


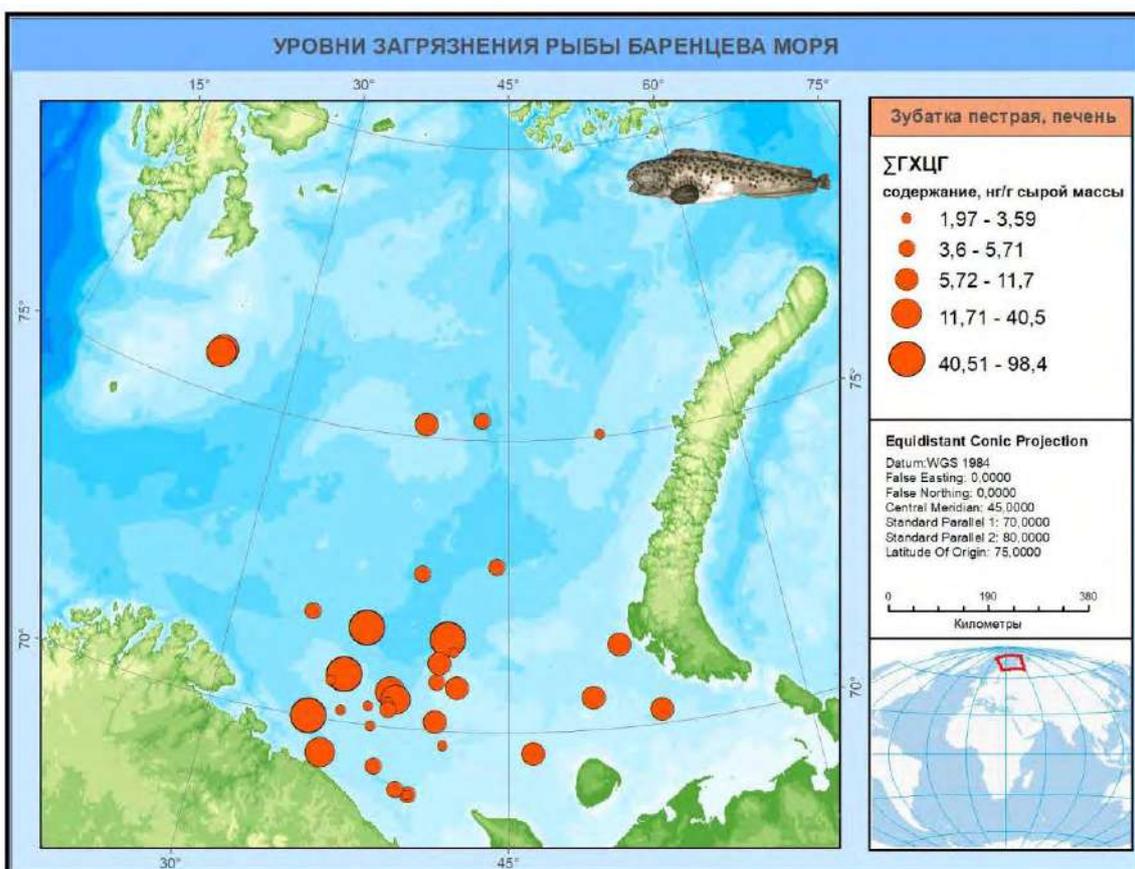
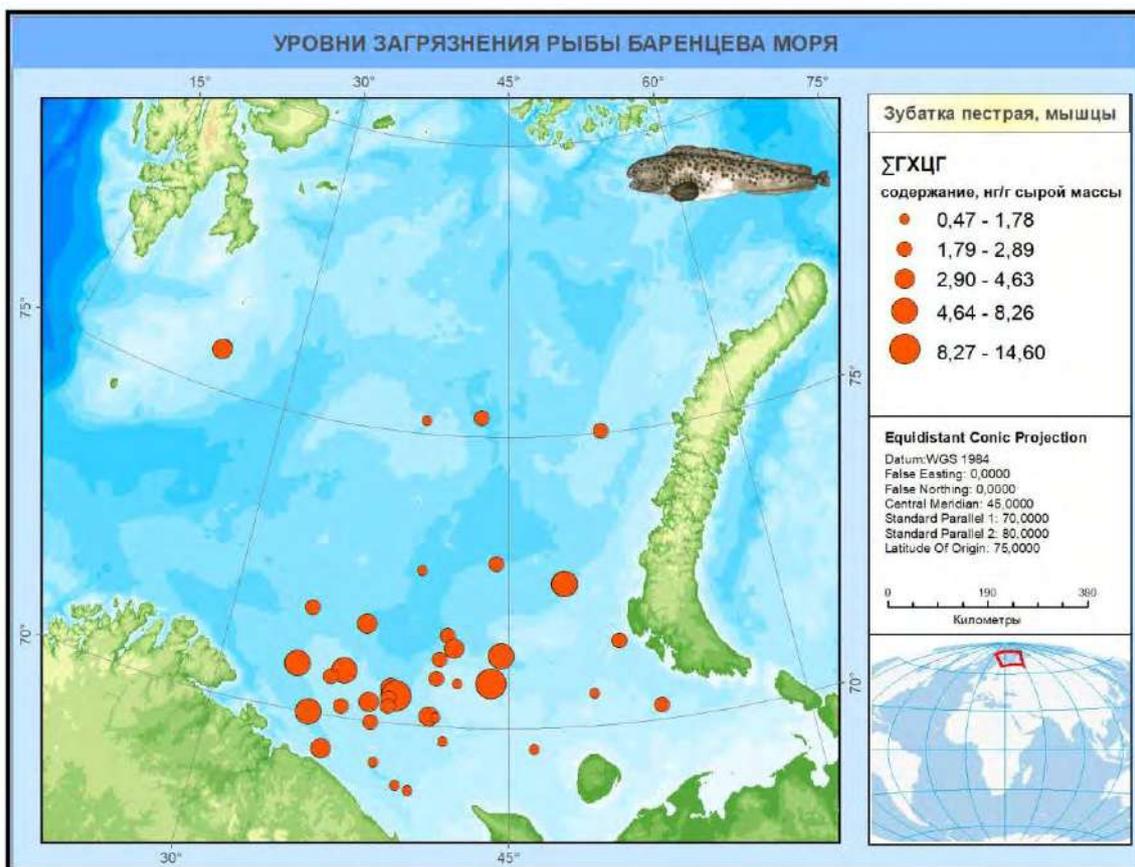


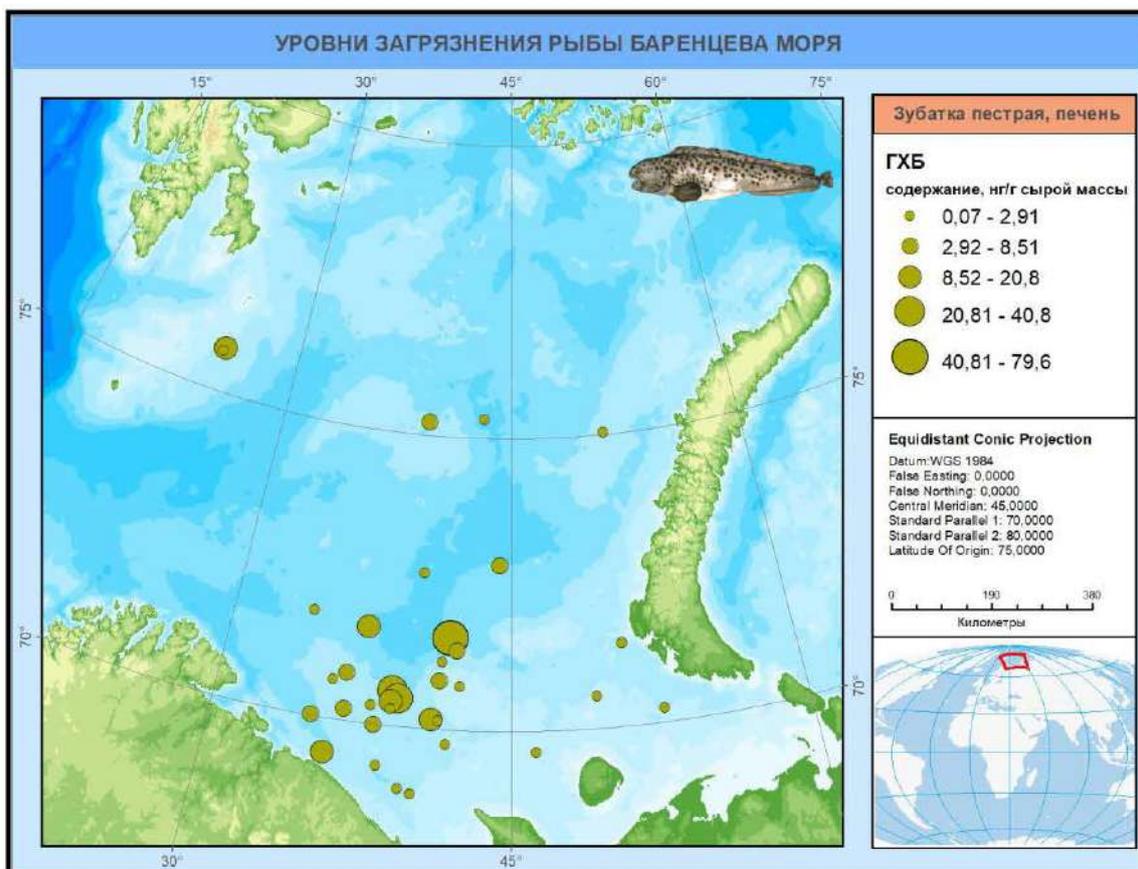
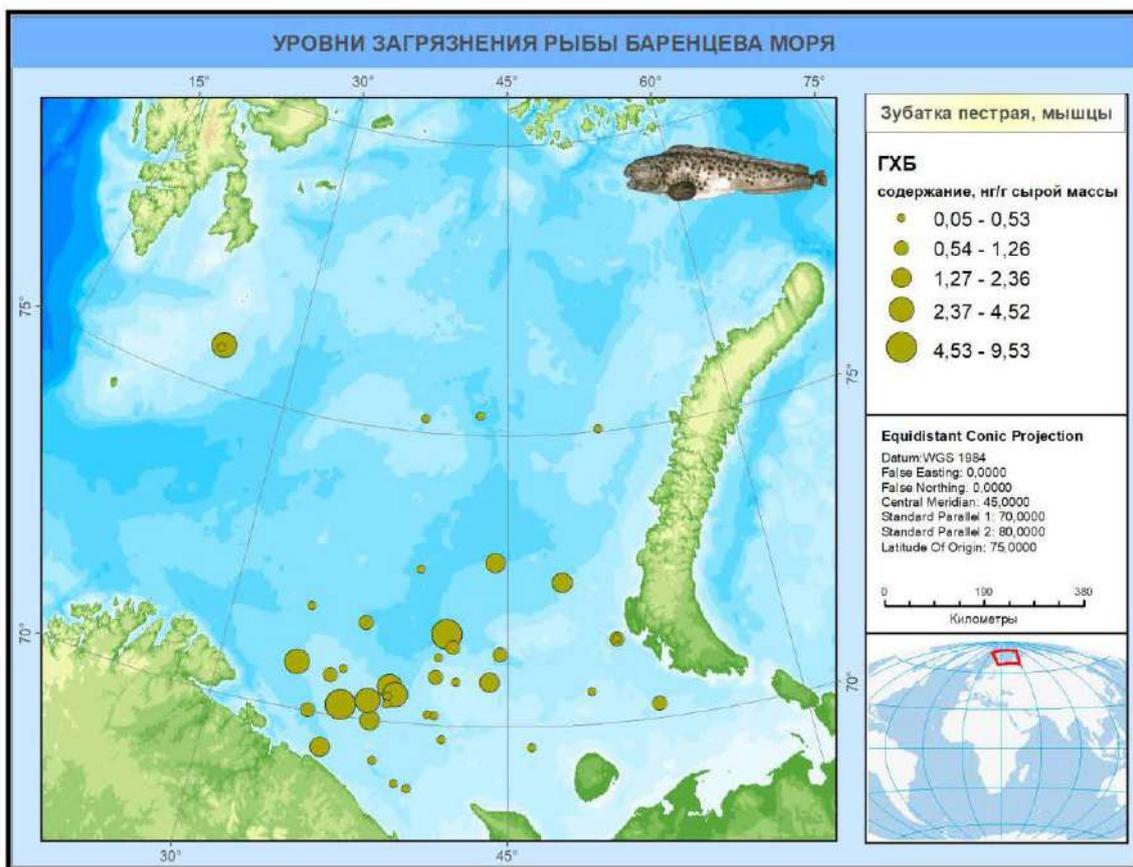


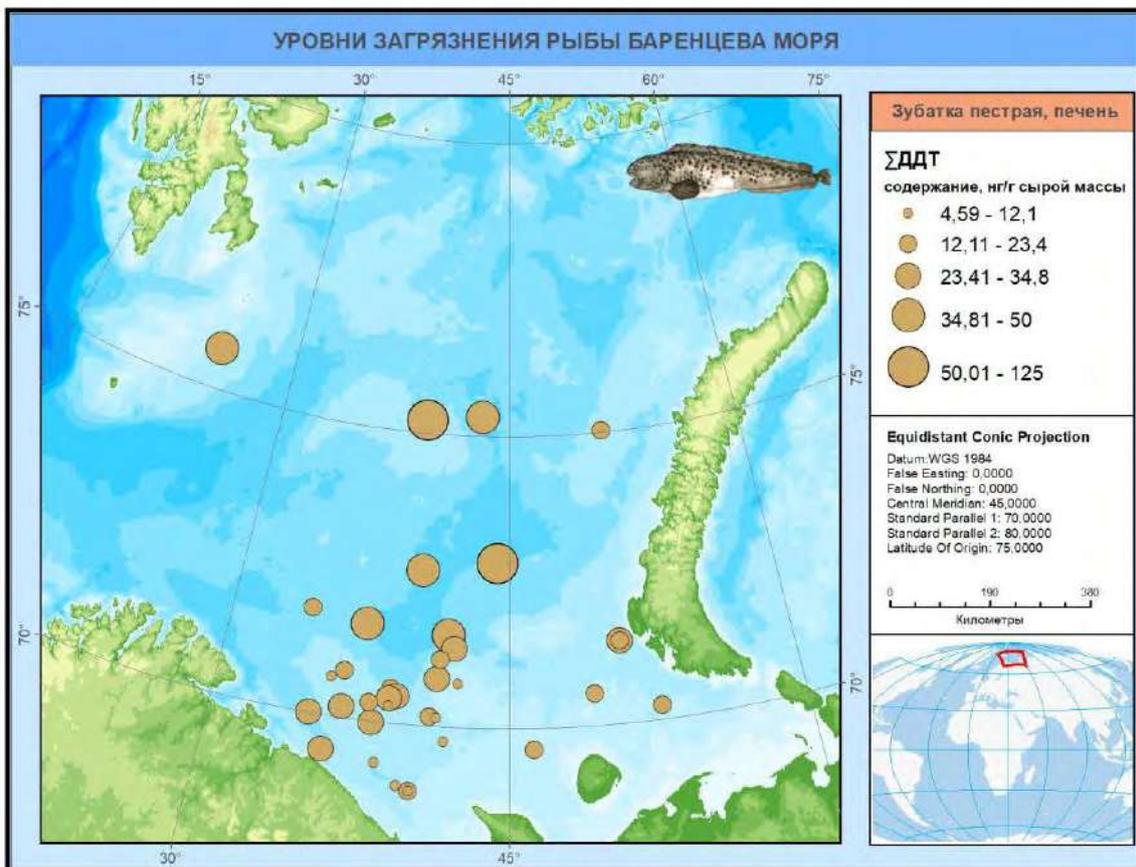
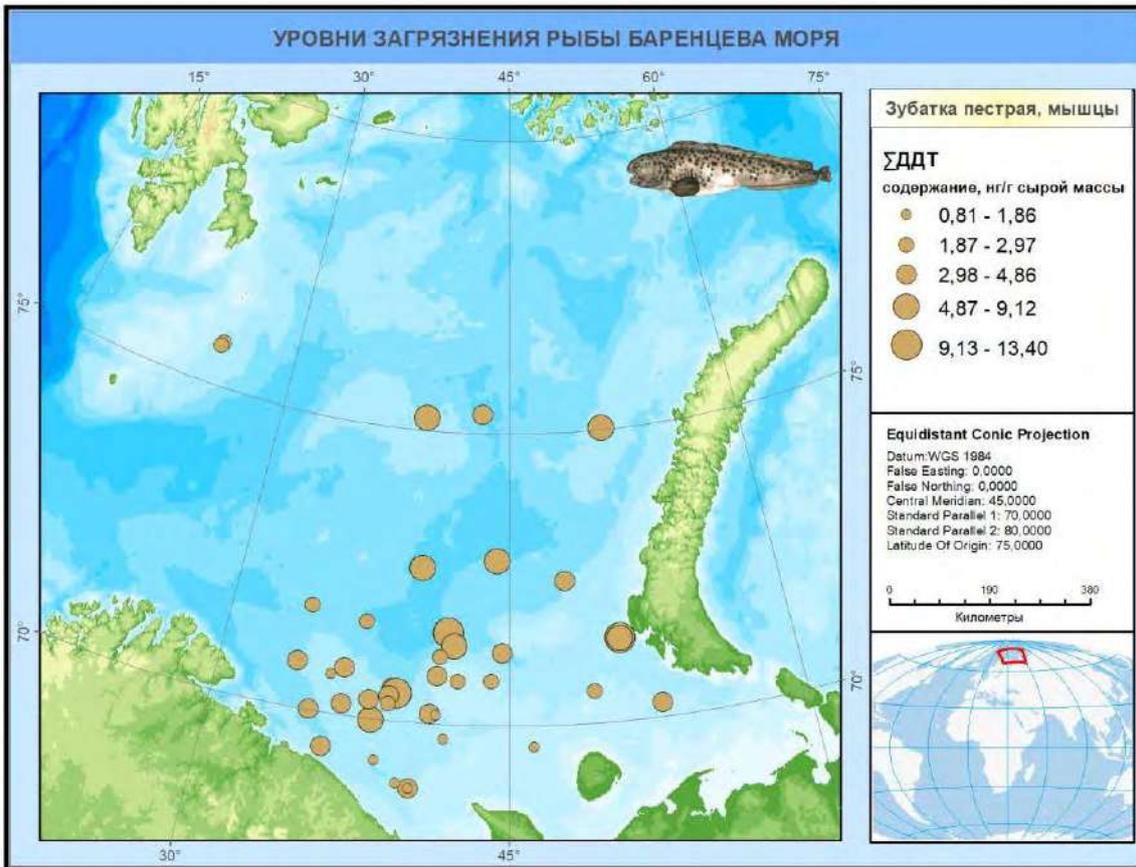


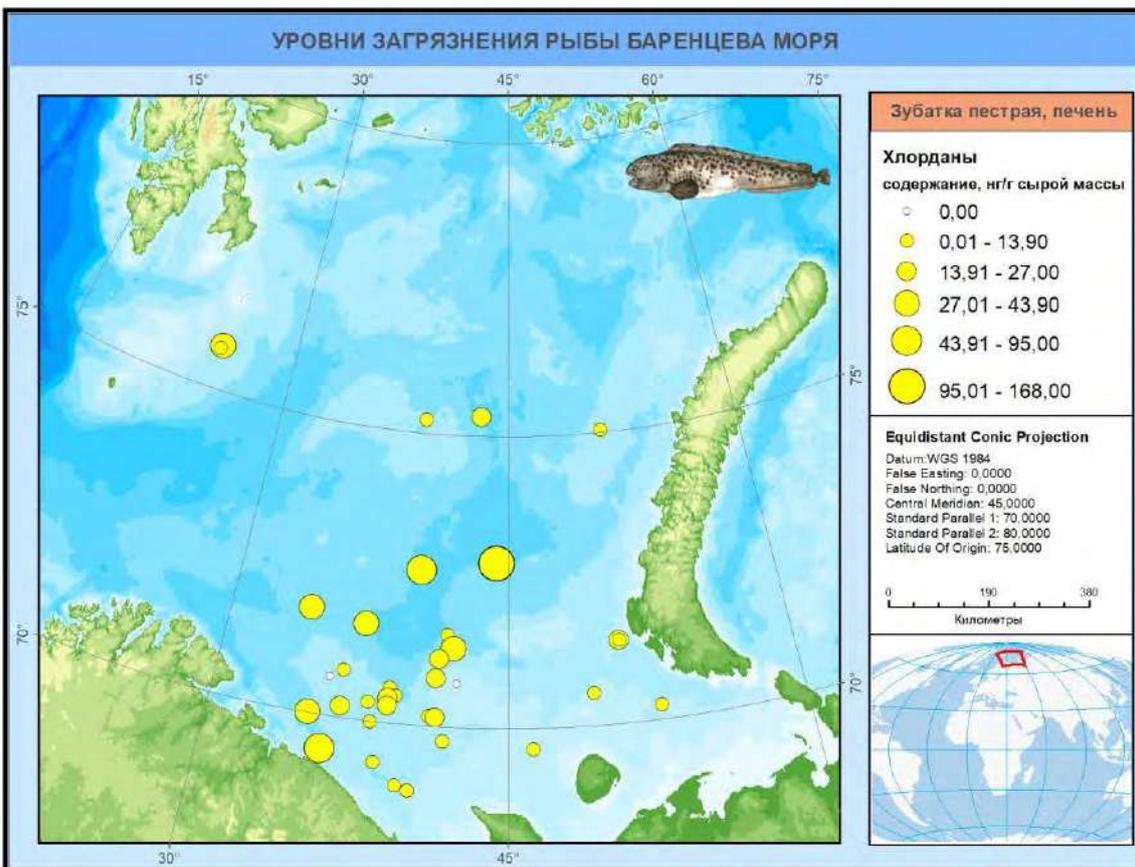
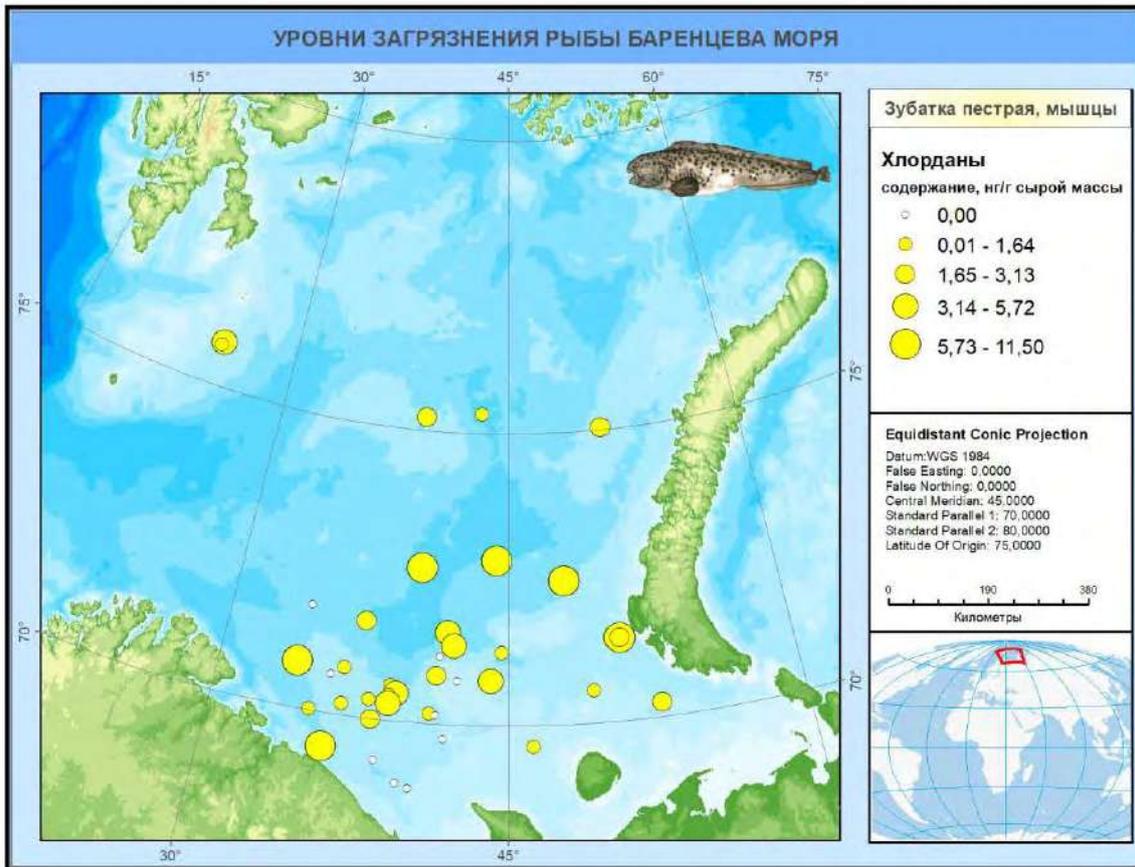


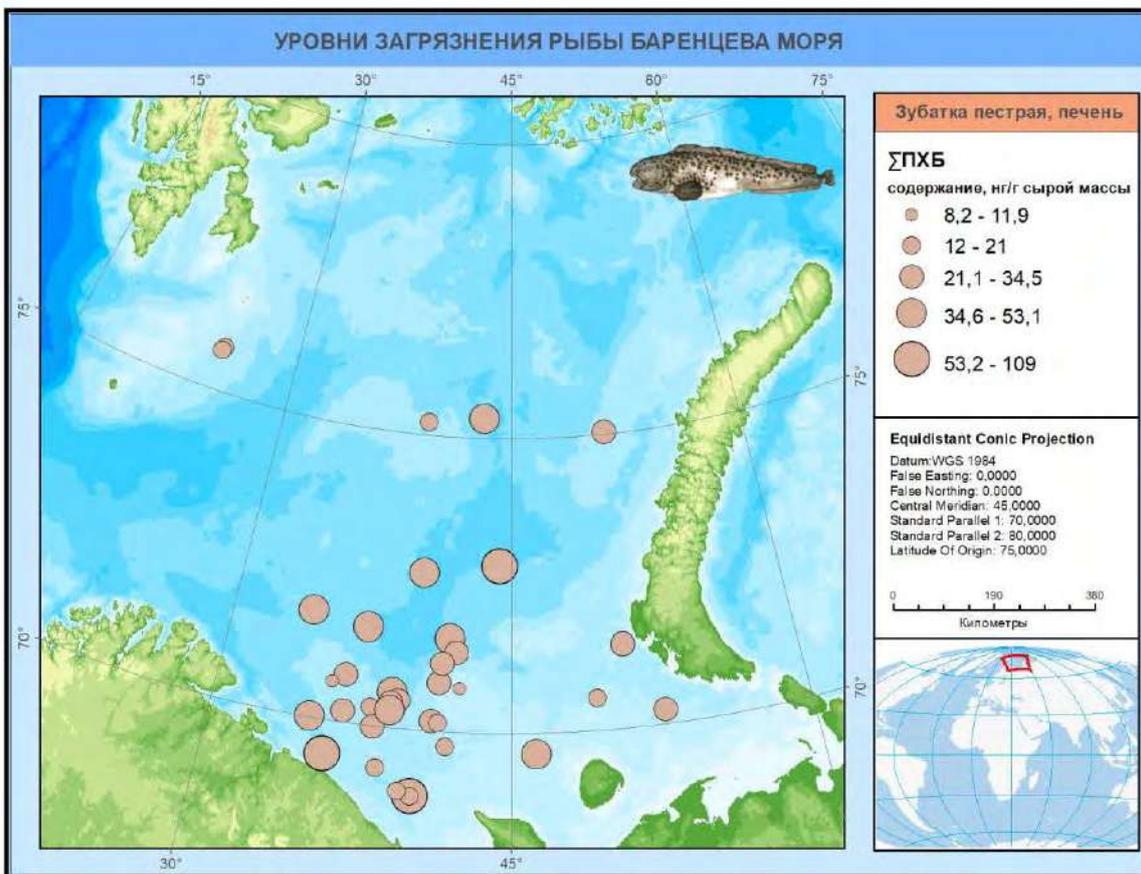
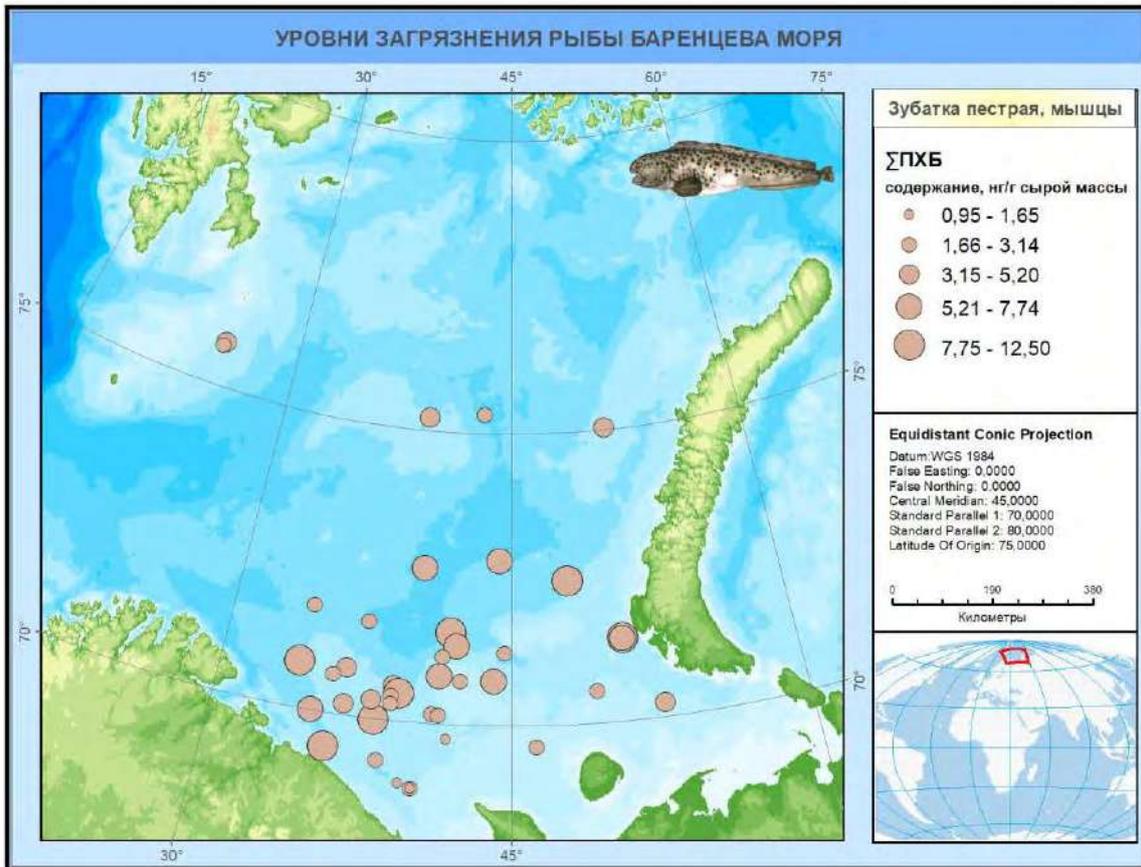












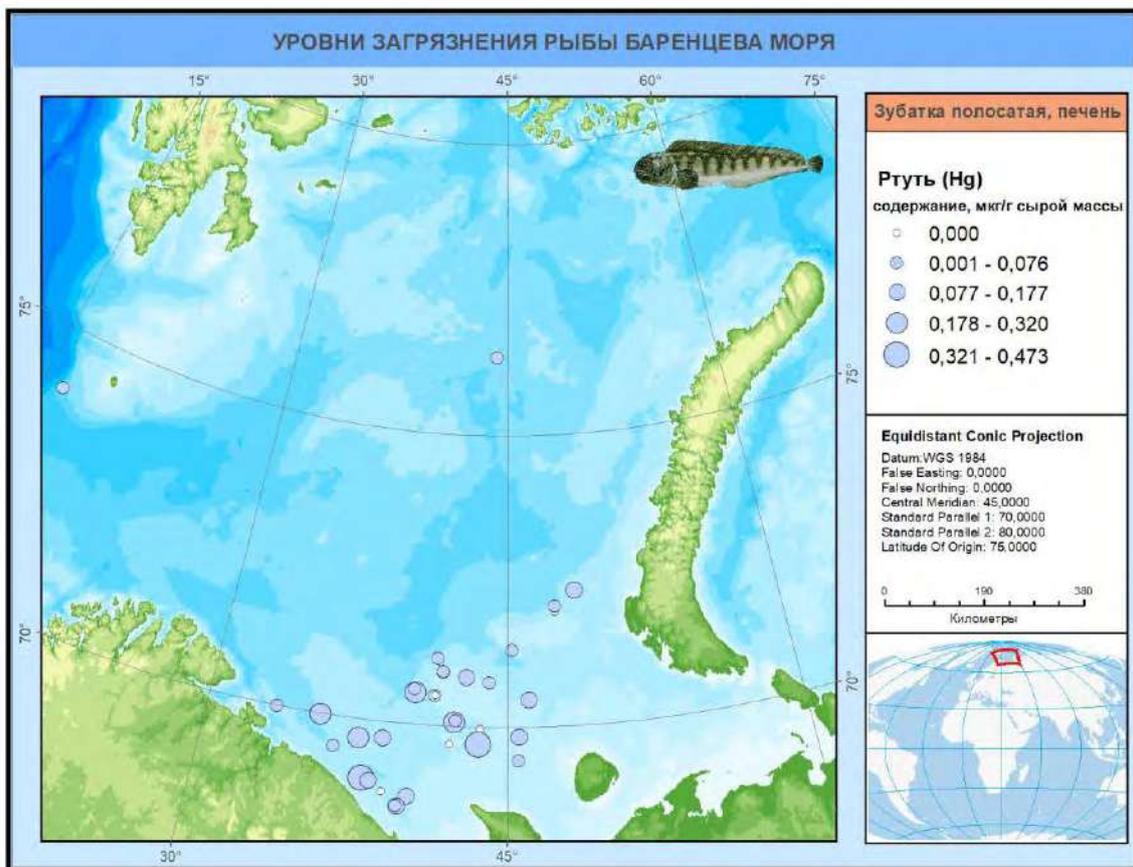
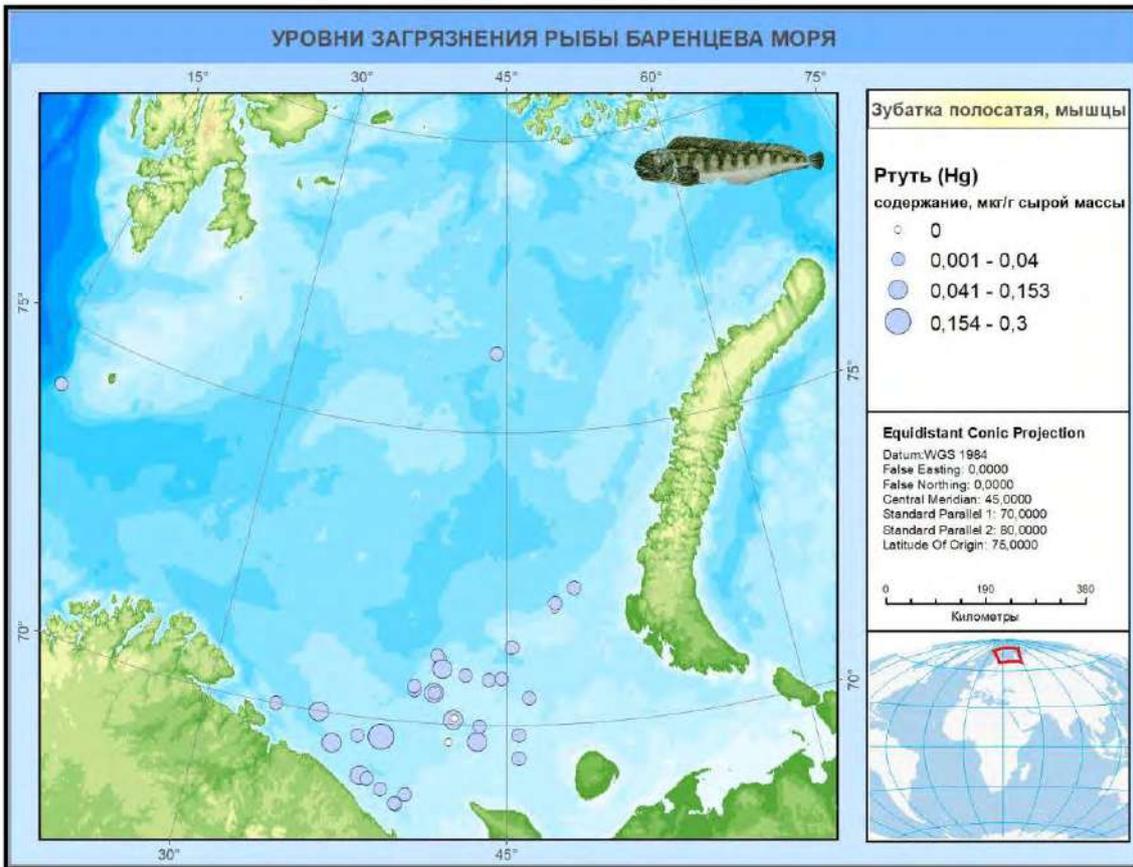
Зубатка полосатая

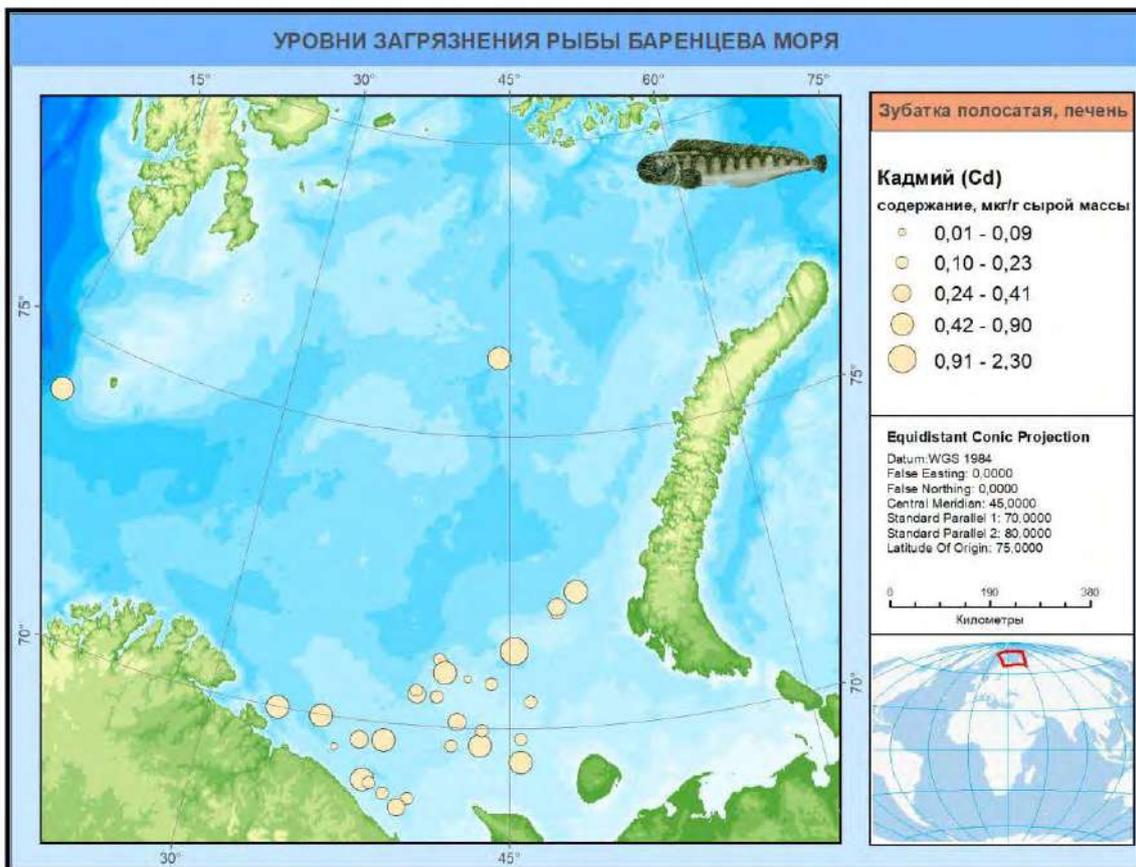
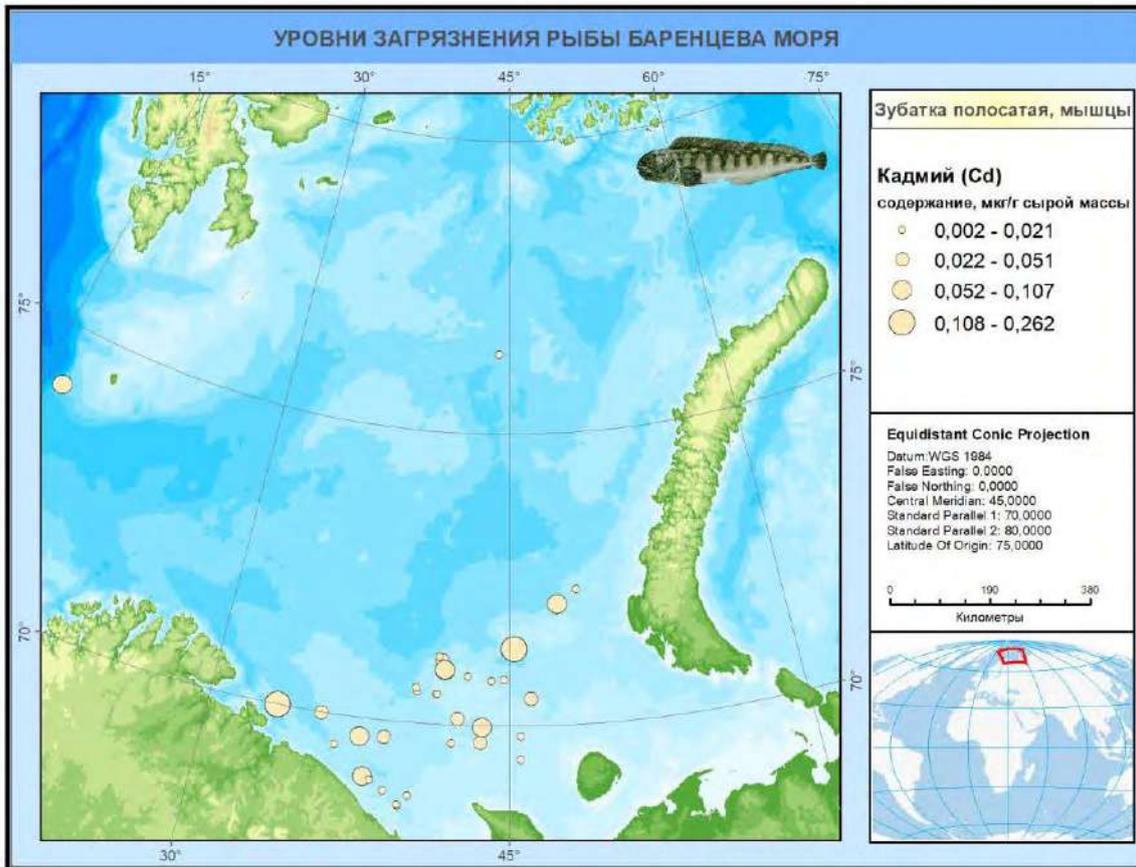
Зубатка полосатая (*Anarhichas lupus*). Еще один представитель отряда Окунеобразные (Perciformes) семейства Зубатковые (Anarhichadidae). Это донный, бореальный атлантический вид. Окраска с 9-12 темными поперечными полосами, заходящими на спинной плавник. В грудном плавнике чаще насчитывается 18-20 лучей. Ее длина до 125 см (чаще пойманные зубатки имеют длину менее 1 м), масса до 20,5 кг. Встречается преимущественно на каменистых грунтах на глубинах 2-540 м. Предпочитает относительно высокую температуру воды. Плодовитость до 40 тыс. икринок, их диаметр 5-7 мм. Нерест происходит в летне-осенний период (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Вылов зубаток всех видов в Баренцевом море и сопредельных водах в 2010-2020 гг. постоянно увеличивался от 12,4 до 19,8 тыс. т с локальным уменьшением в 2019 г. – 15,9 тыс. т. В 2020 г. среди всех видов зубаток в уловах преобладала синяя (12457,5 т), на долю пестрой зубатки пришлось 5335,3 т и полосатой – 2124,3 т (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Удовлетворительному состоянию запаса полосатой зубатки, помимо хорошего пополнения молодь, в большей степени способствует слабая промысловая нагрузка. Основные места ее наиболее плотных концентраций приурочены к прибрежным районам Мурмана, о-вов Западный Шпицберген и Медвежий на глубине менее 150 м (Состояние сырьевых биологических..., 2022). Мясо вкусное, плотное. Используется в свежем и мороженом виде, часто из мяса полосатой зубатки делают филе, которое продается под другими коммерческими названиями (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Среднее содержание жира в мясе – 5,0 %, печени – 21,0 % (максимум до 39 %). По вкусовым и пищевым качествам полосатая зубатка не уступает пятнистой и имеет аналогичные рекомендации по ее использованию (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

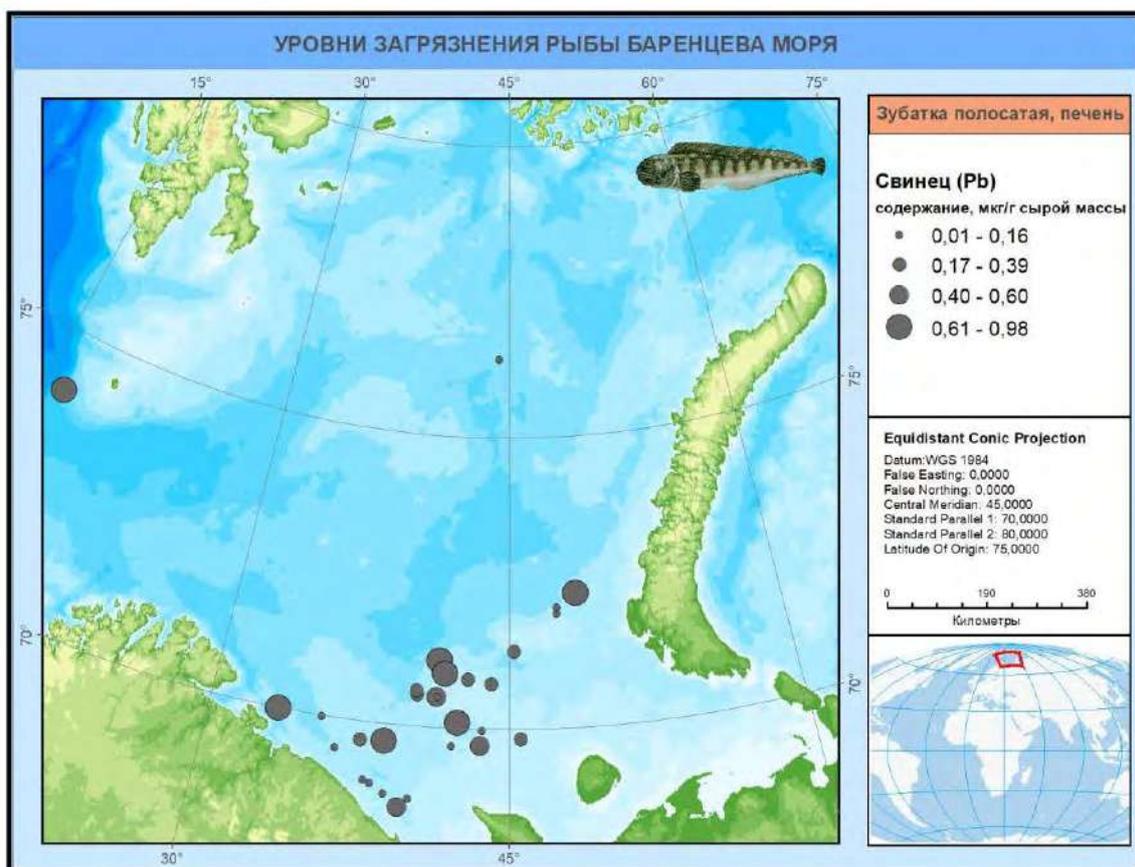
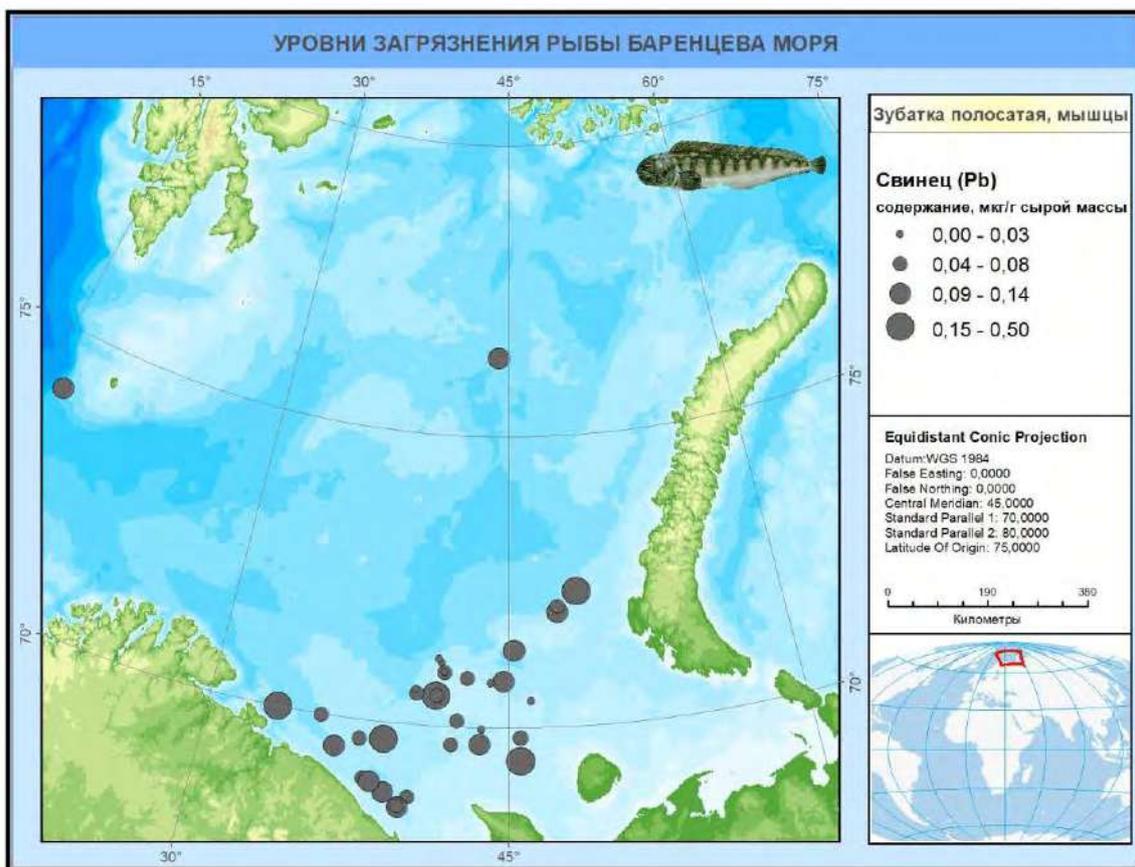
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах полосатой зубатки составляет $0,040 \pm 0,063$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,041 \pm 0,058$ мкг/г, Pb – $0,12 \pm 0,14$ мкг/г, Cu – $0,38 \pm 0,19$ мкг/г, Zn – $8,46 \pm 2,46$ мкг/г, Ni – $0,17 \pm 0,11$ мкг/г, Cr – $0,17 \pm 0,09$ мкг/г, Co – $0,15 \pm 0,09$ мкг/г и As – $3,27 \pm 2,21$ мкг/г (N=36); Σ ГХЦГ – $3,33 \pm 3,63$ нг/г, ГХБ – $1,70 \pm 2,26$ нг/г, Σ ДДТ – $2,20 \pm 1,11$ нг/г, Σ ПХБ – $3,85 \pm 3,10$ нг/г и суммы хлорданов – $1,24 \pm 1,71$ нг/г сырой массы (N=32).

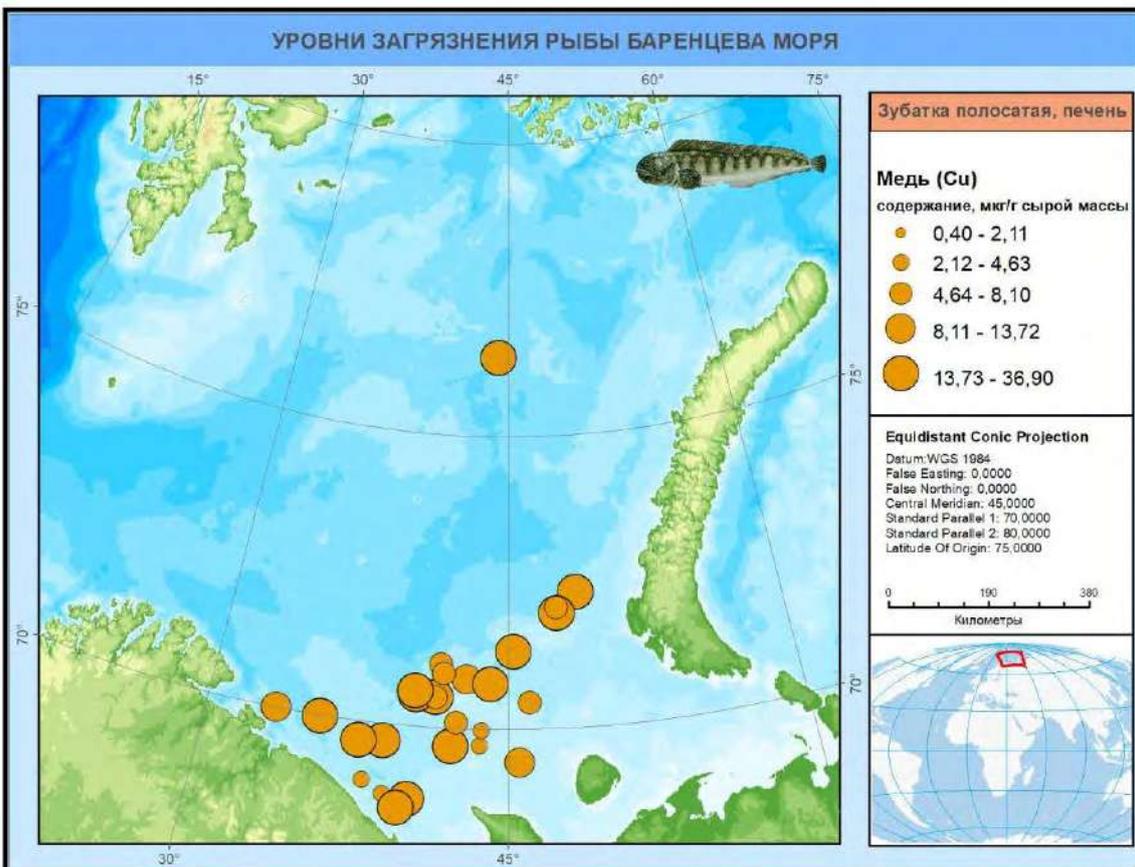
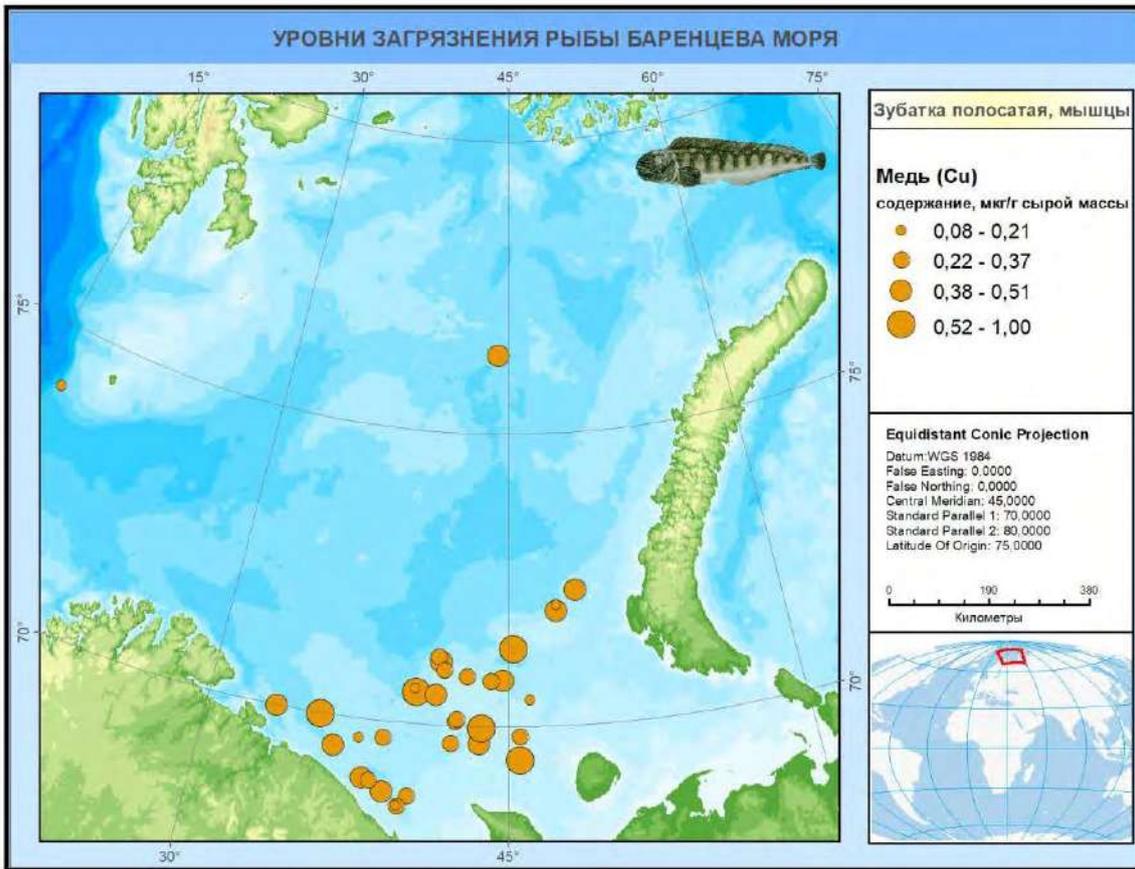


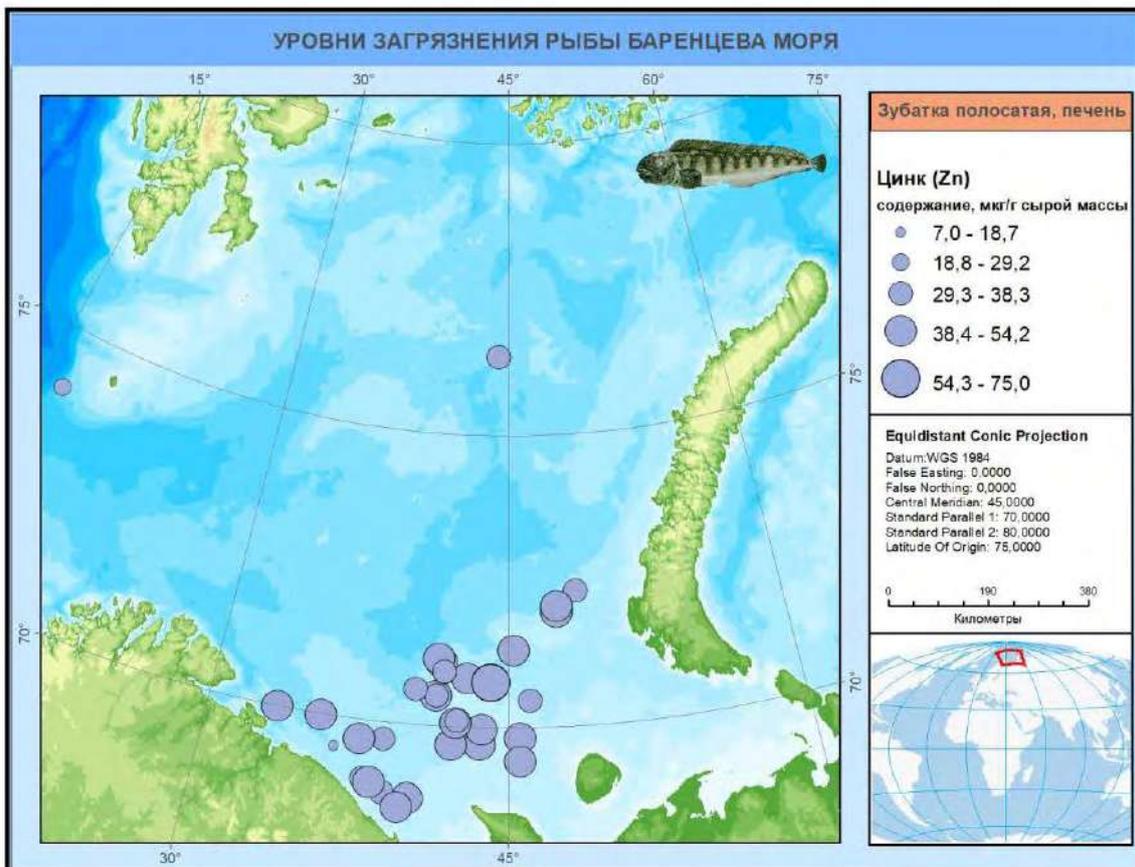
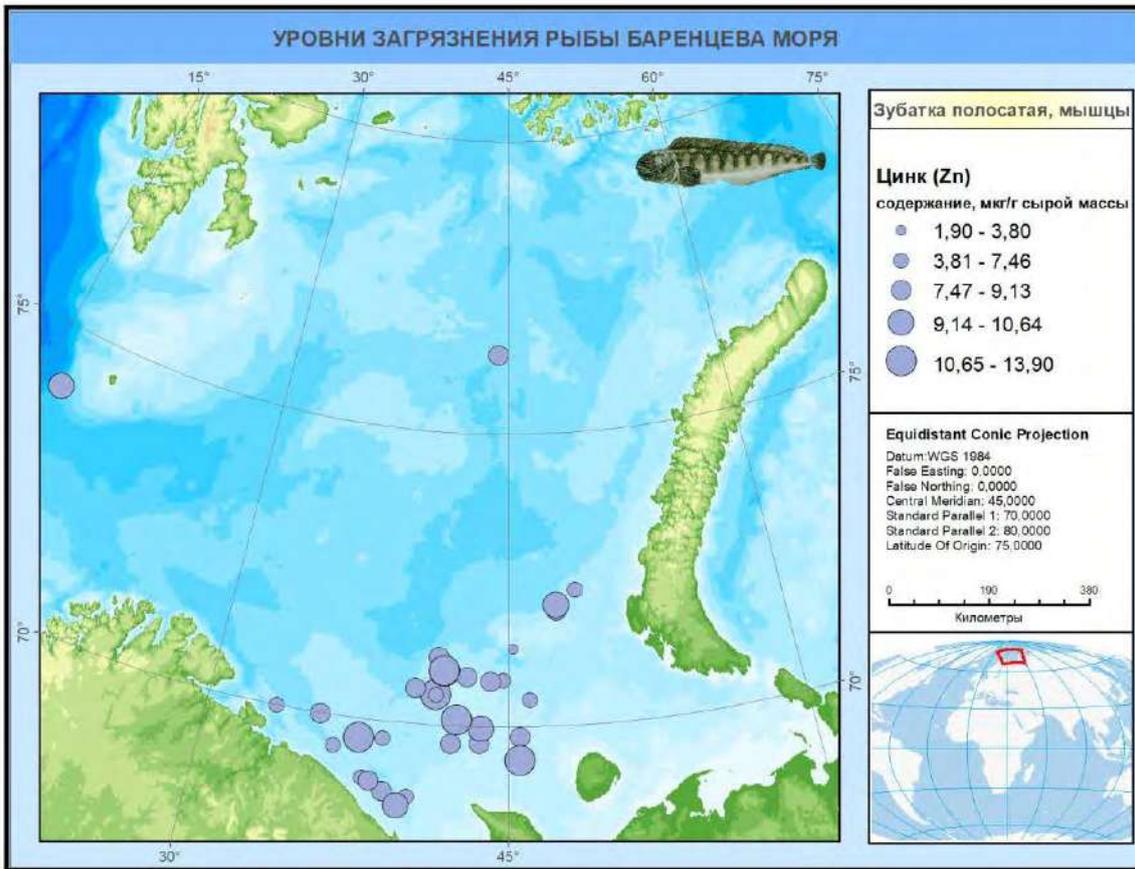
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в зубатке полосатой в 2009-2021 гг. (мышцы и печень).

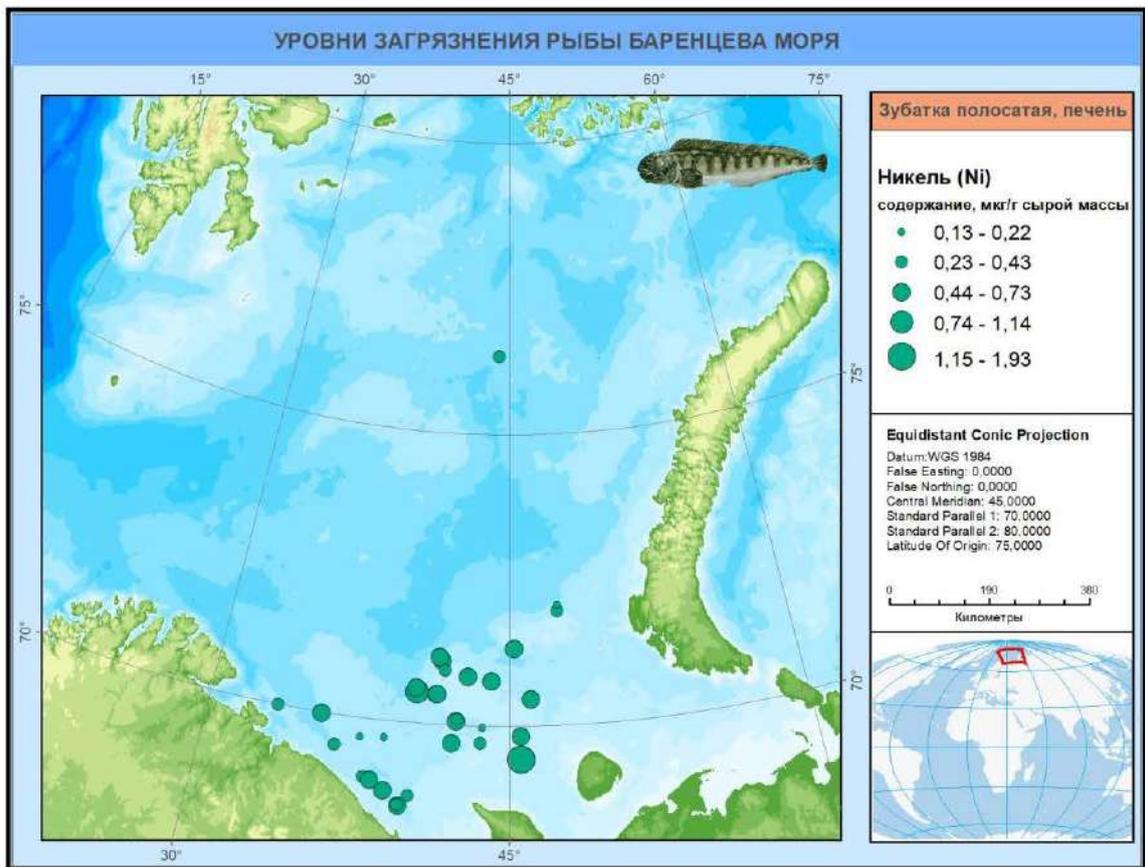
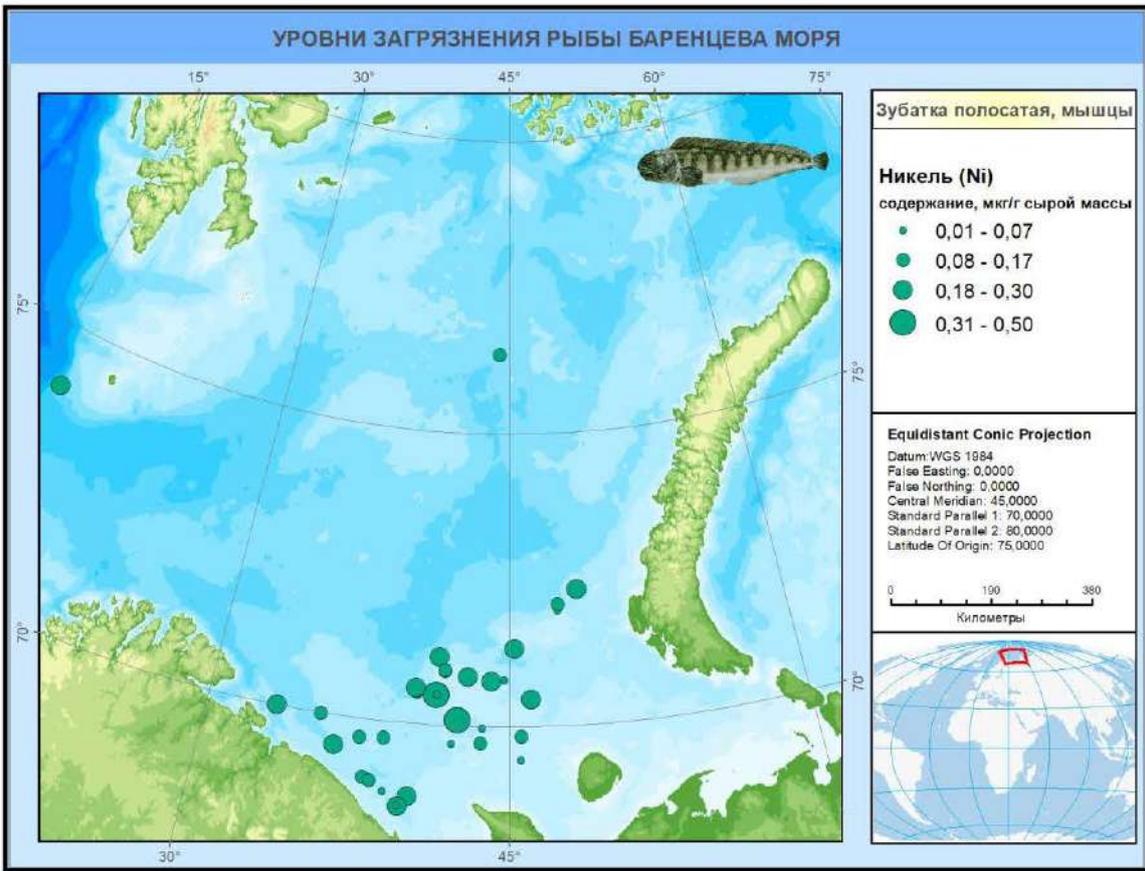


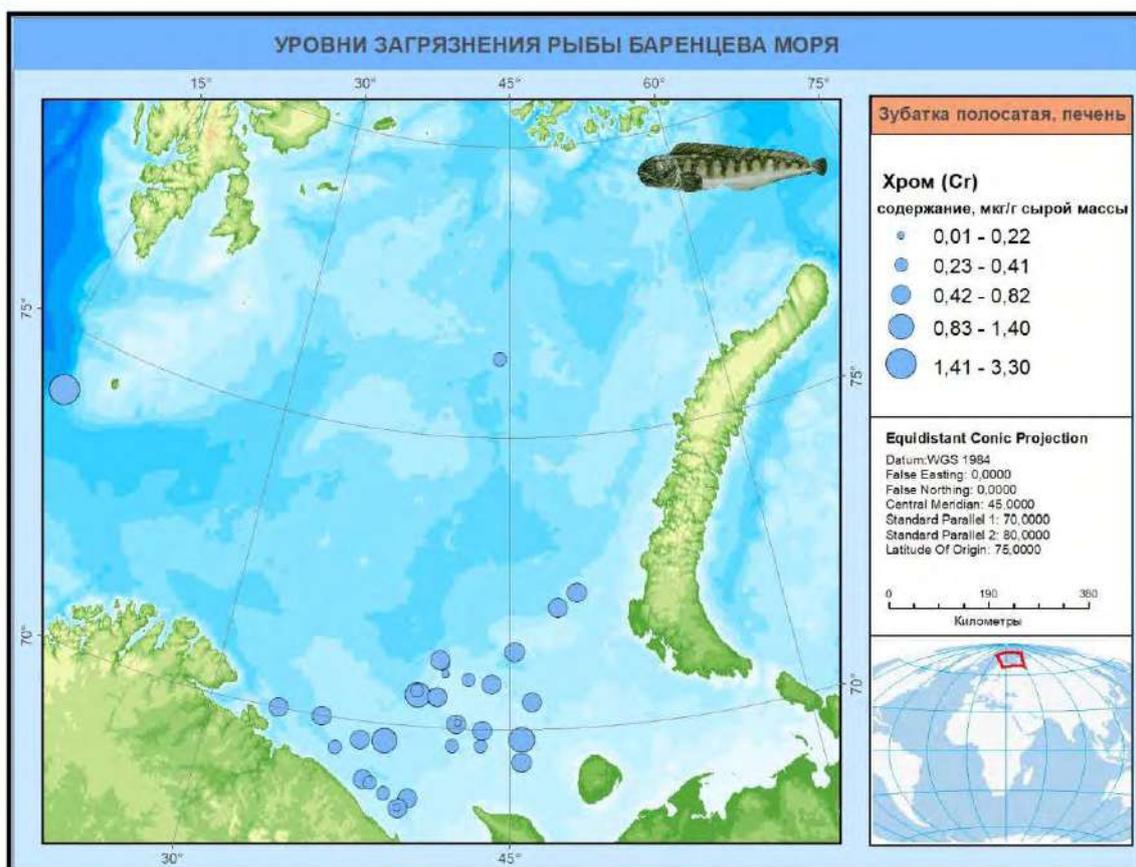
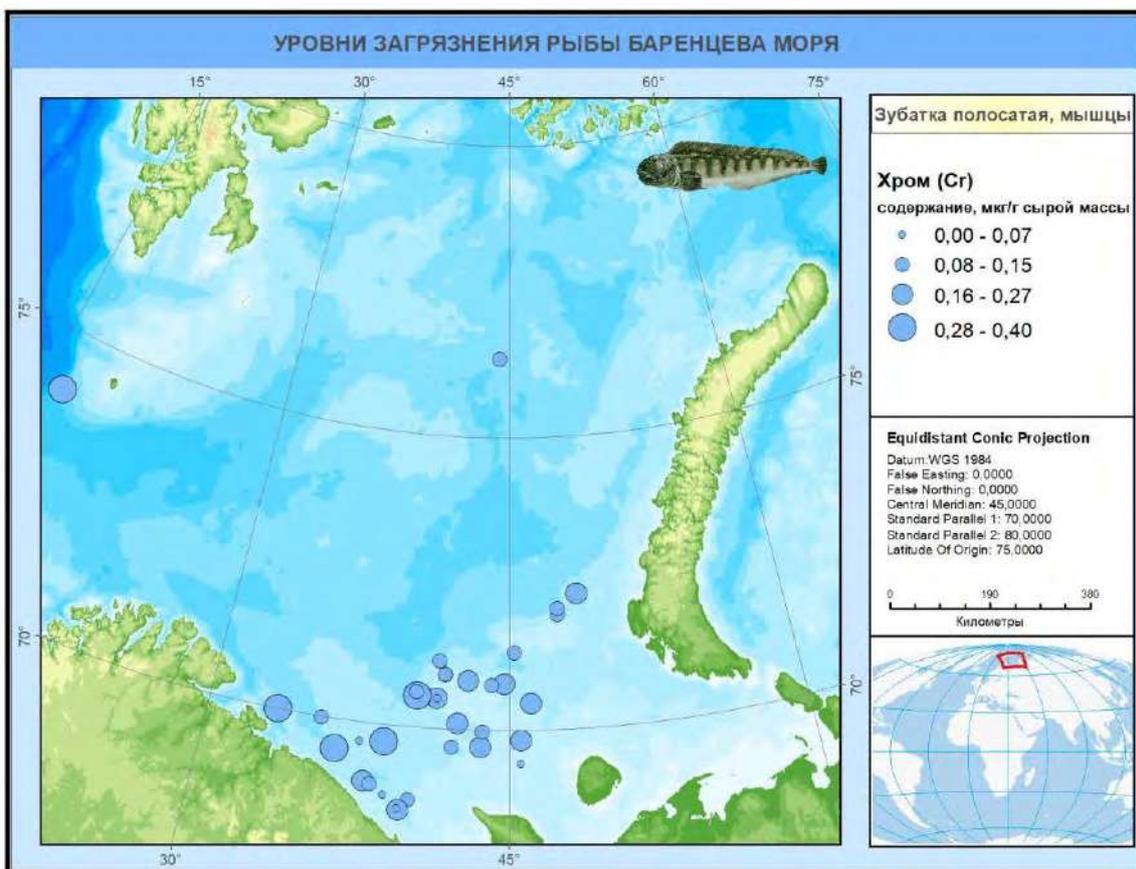


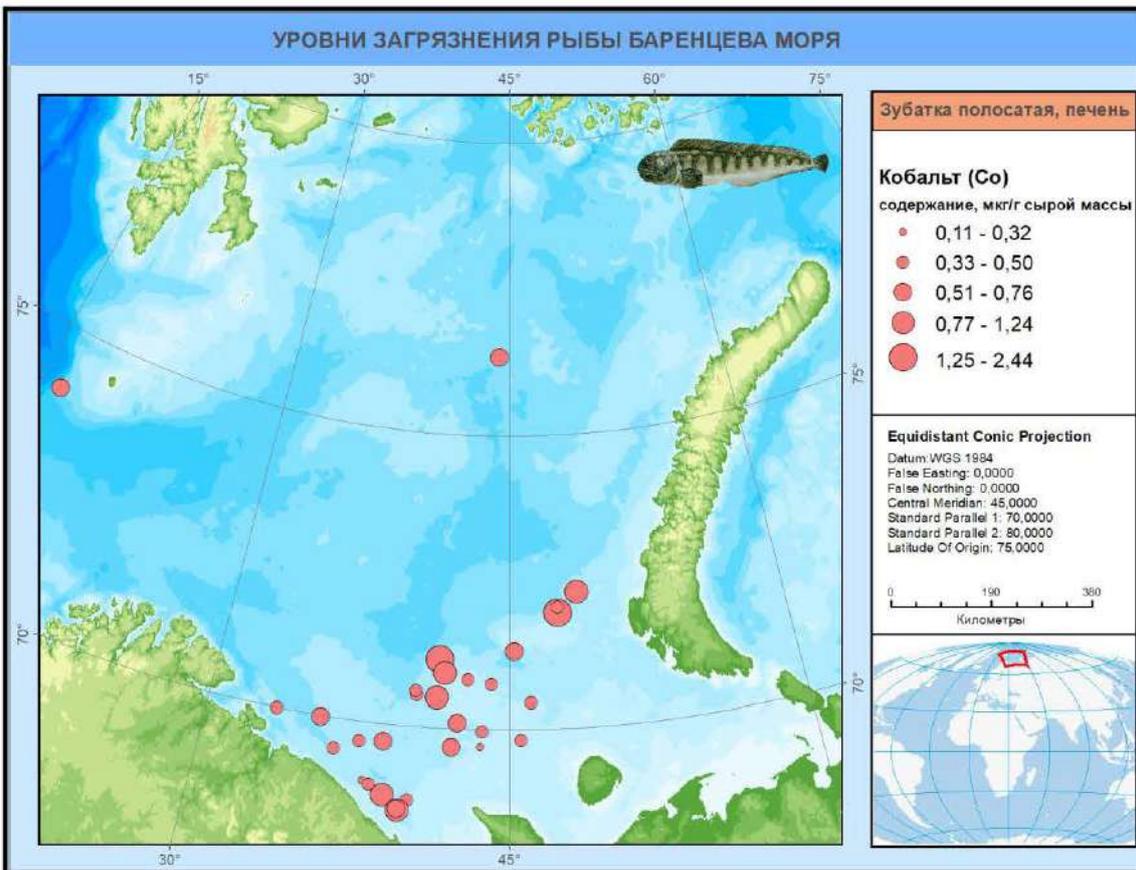
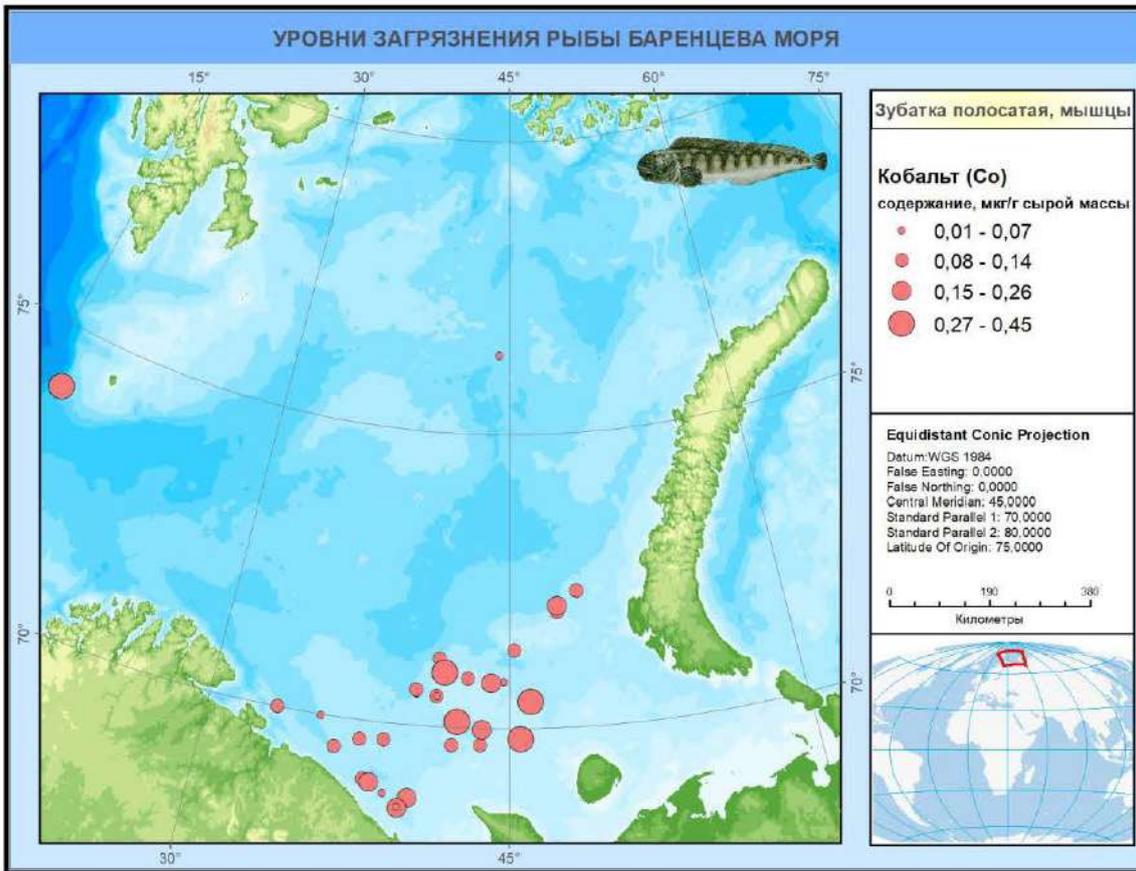


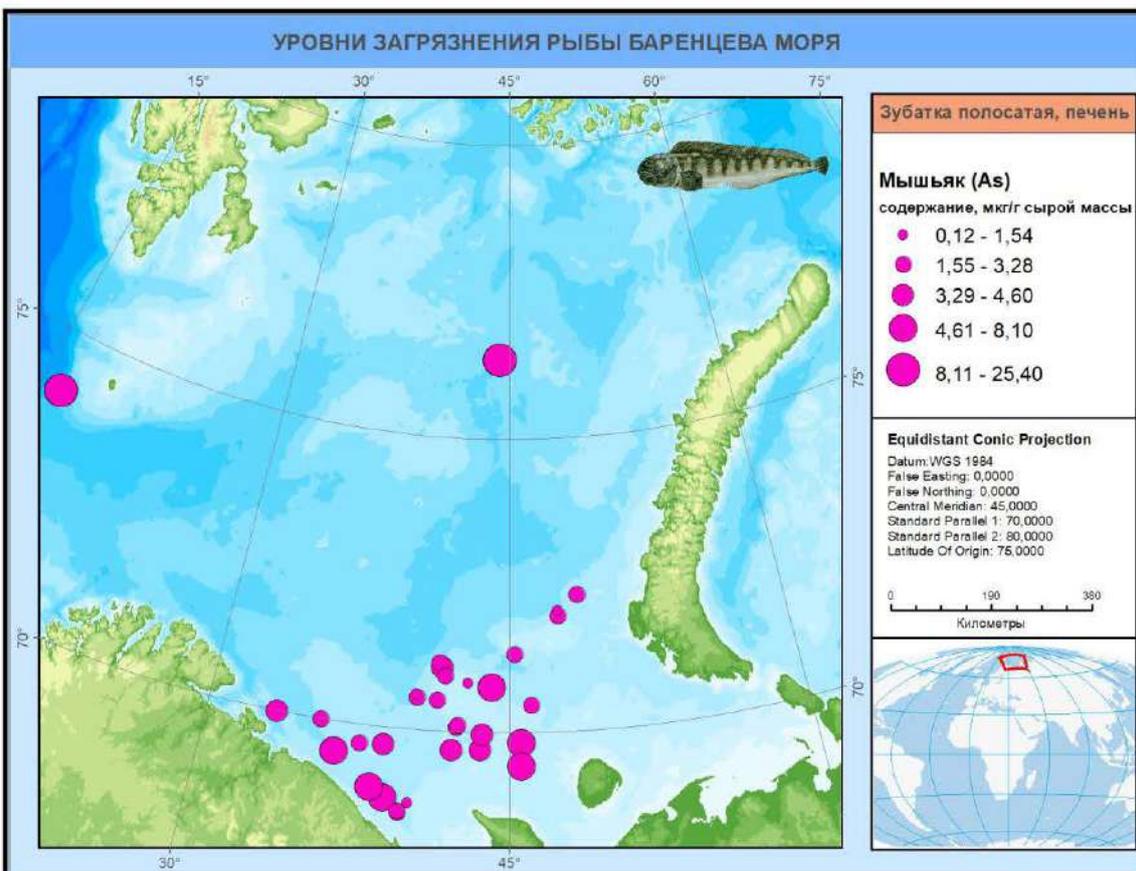
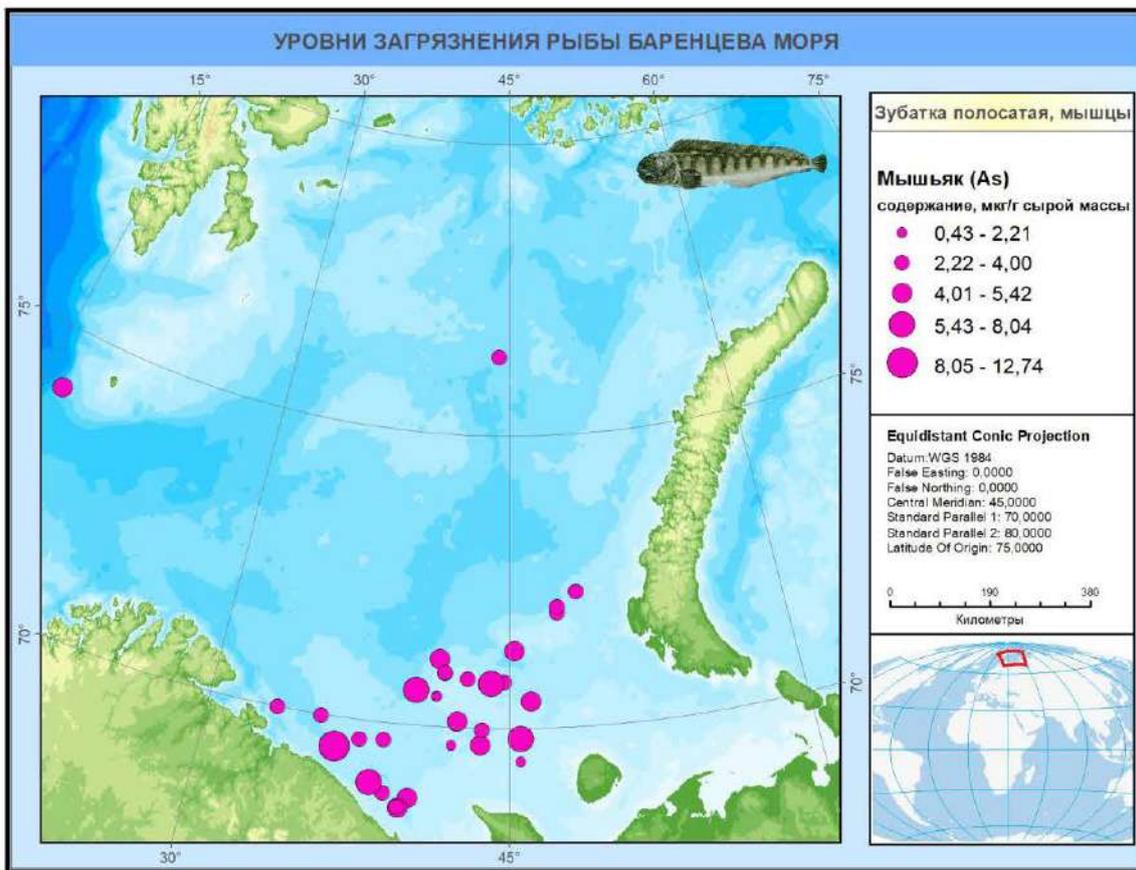


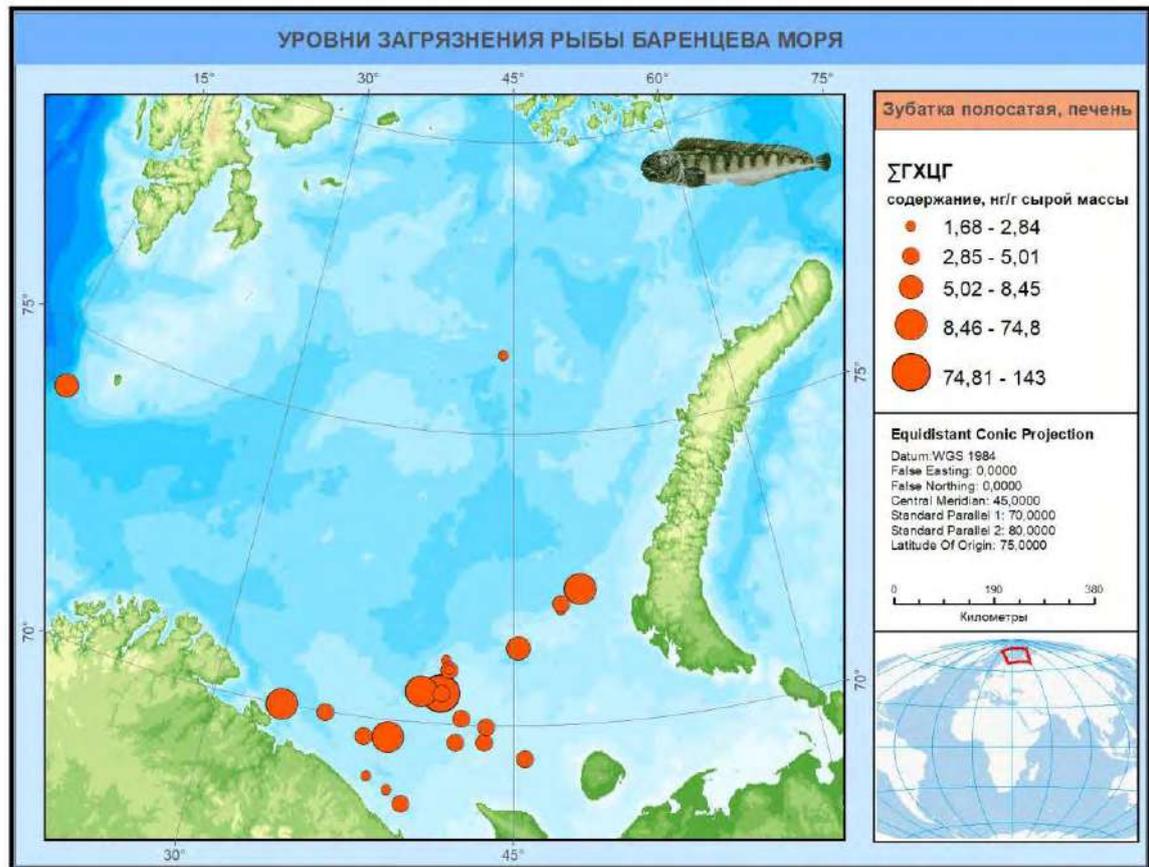
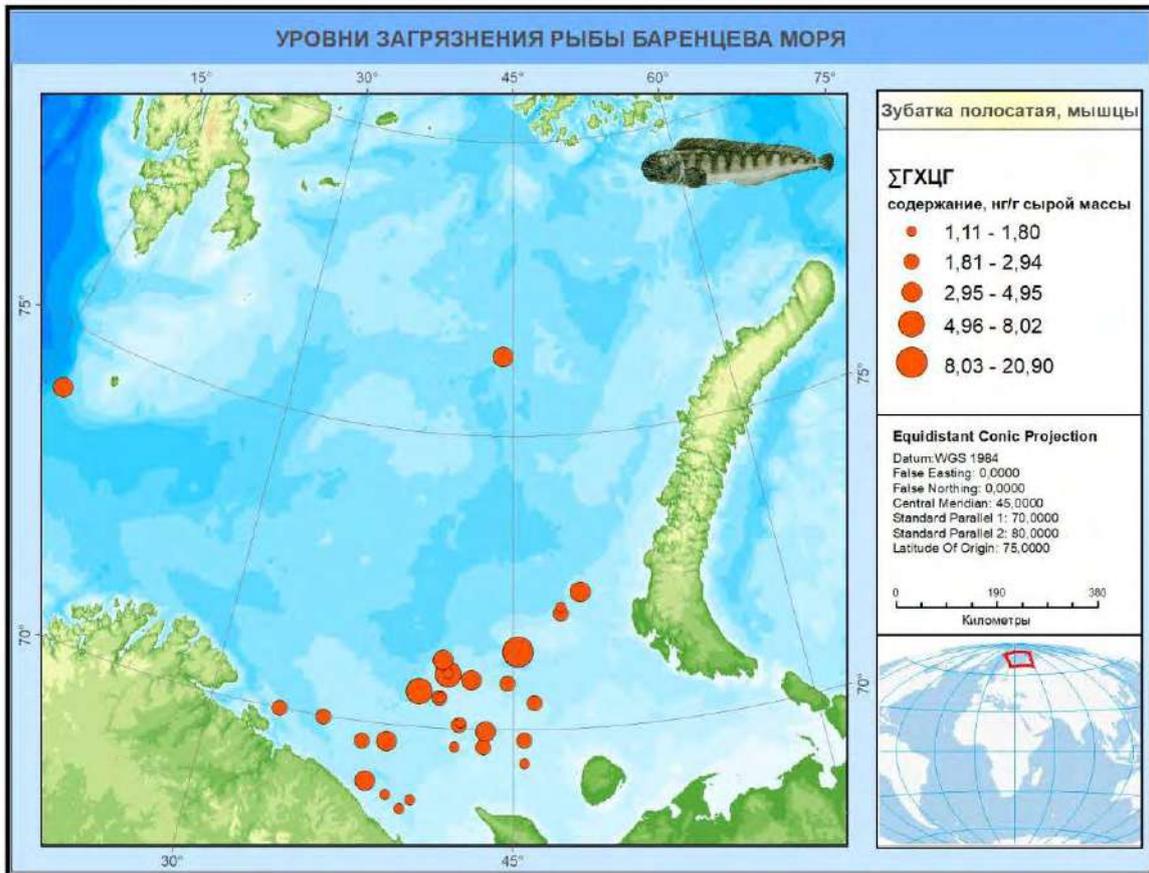


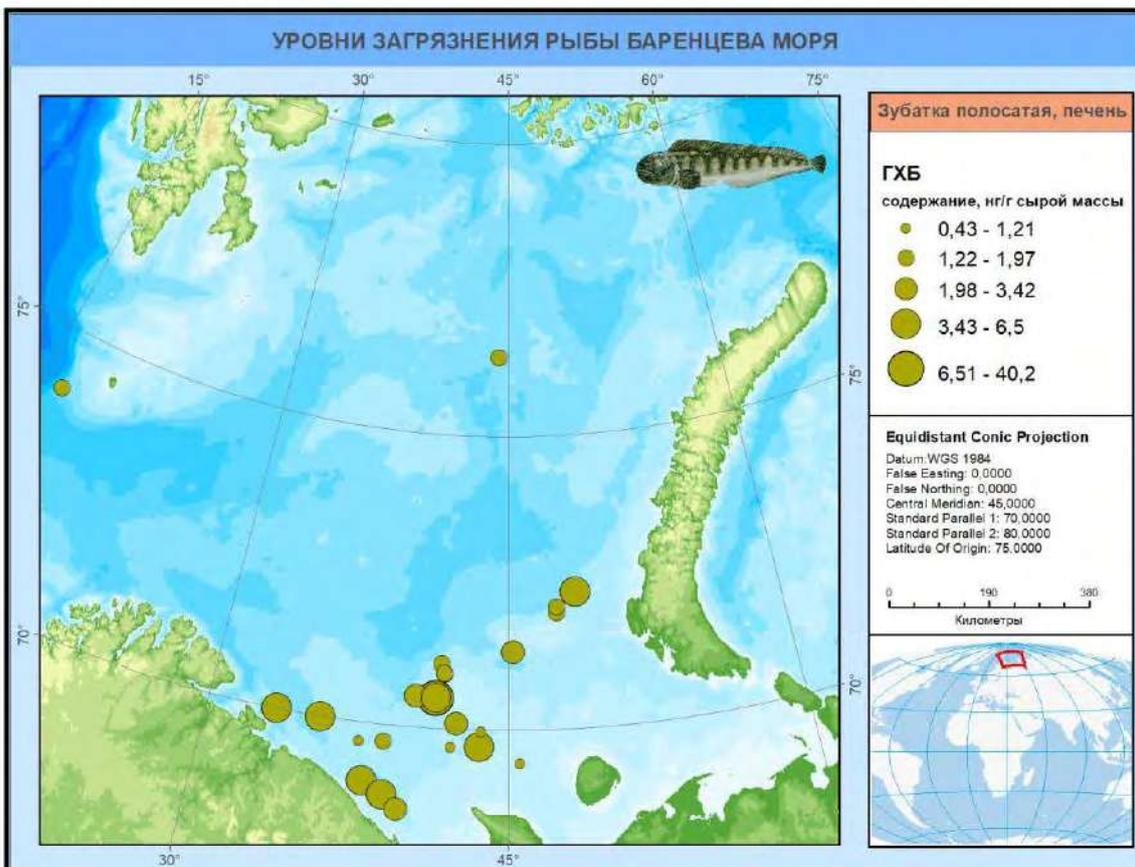
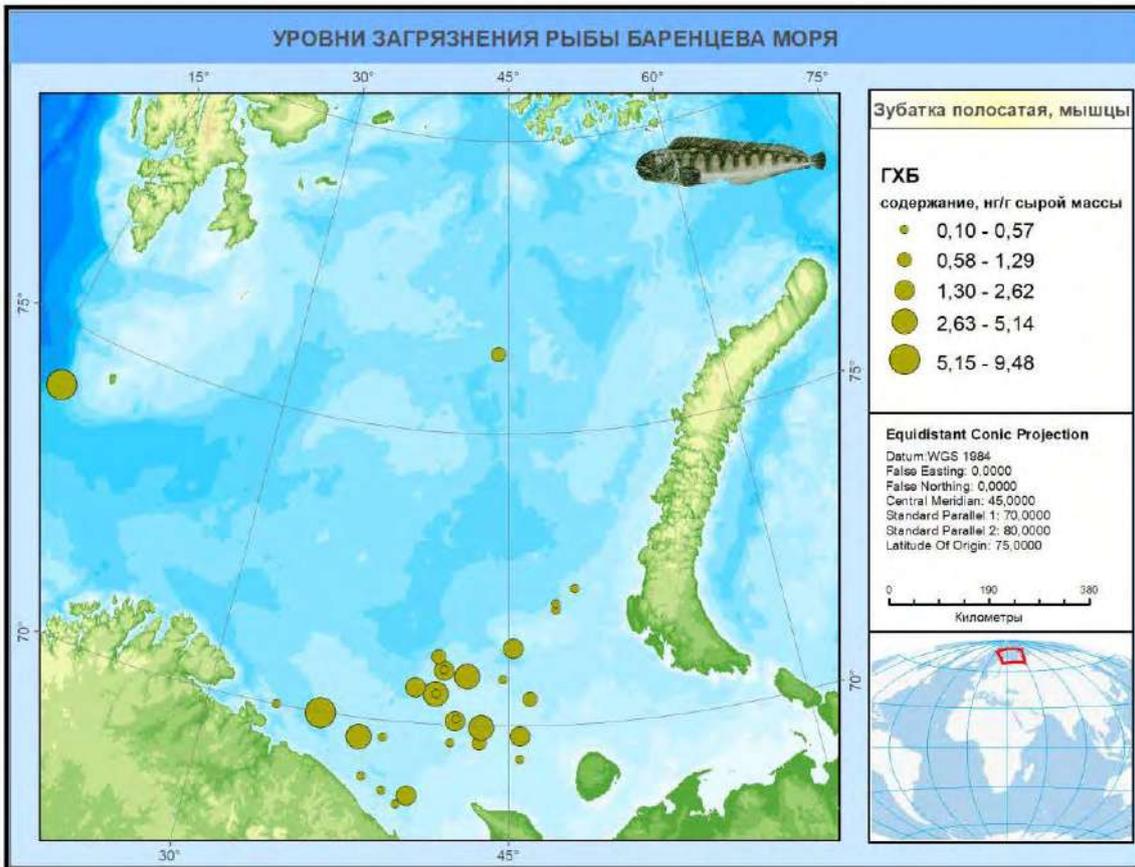


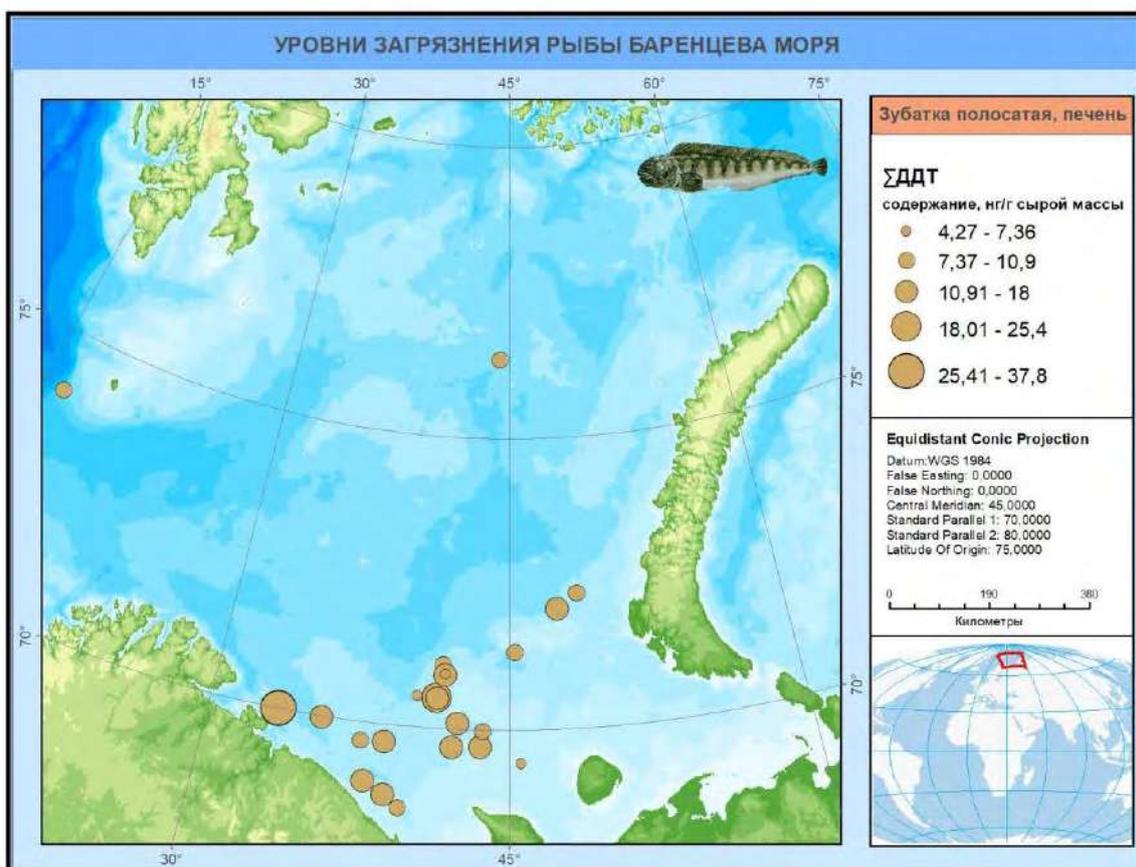
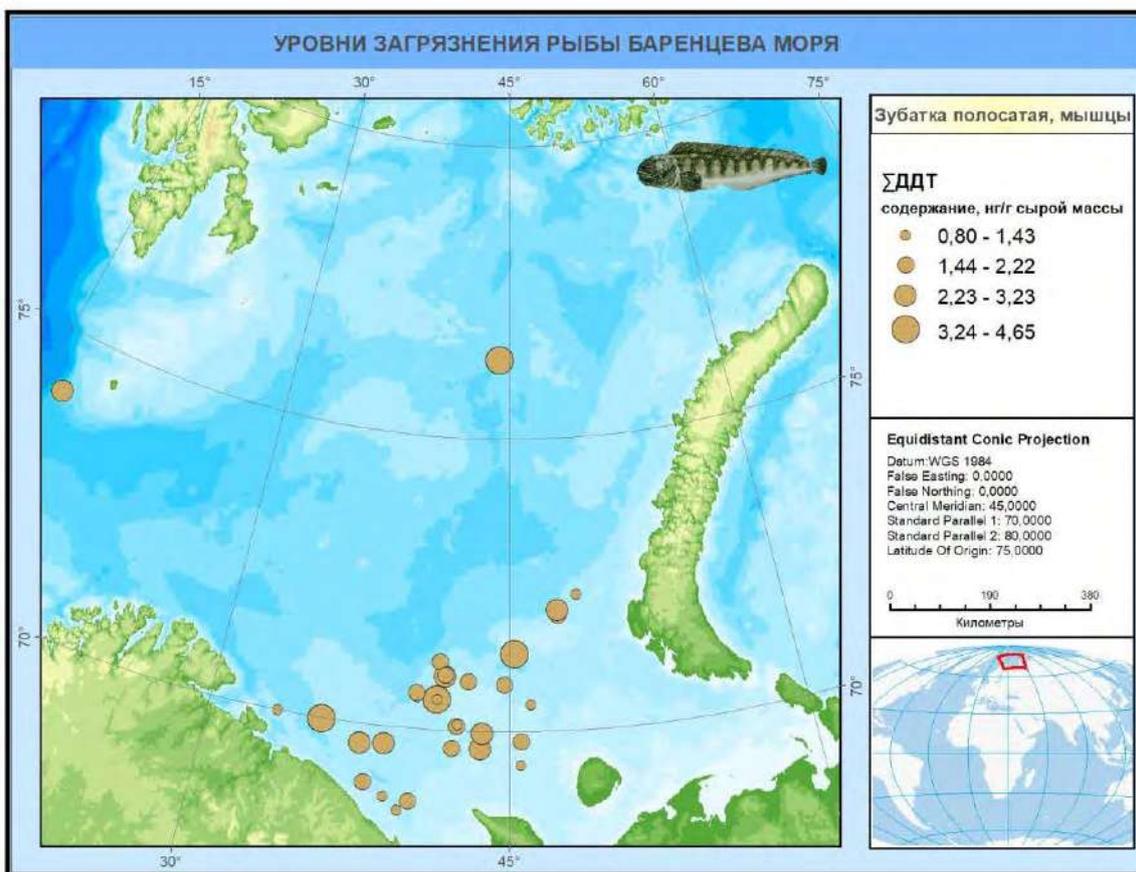


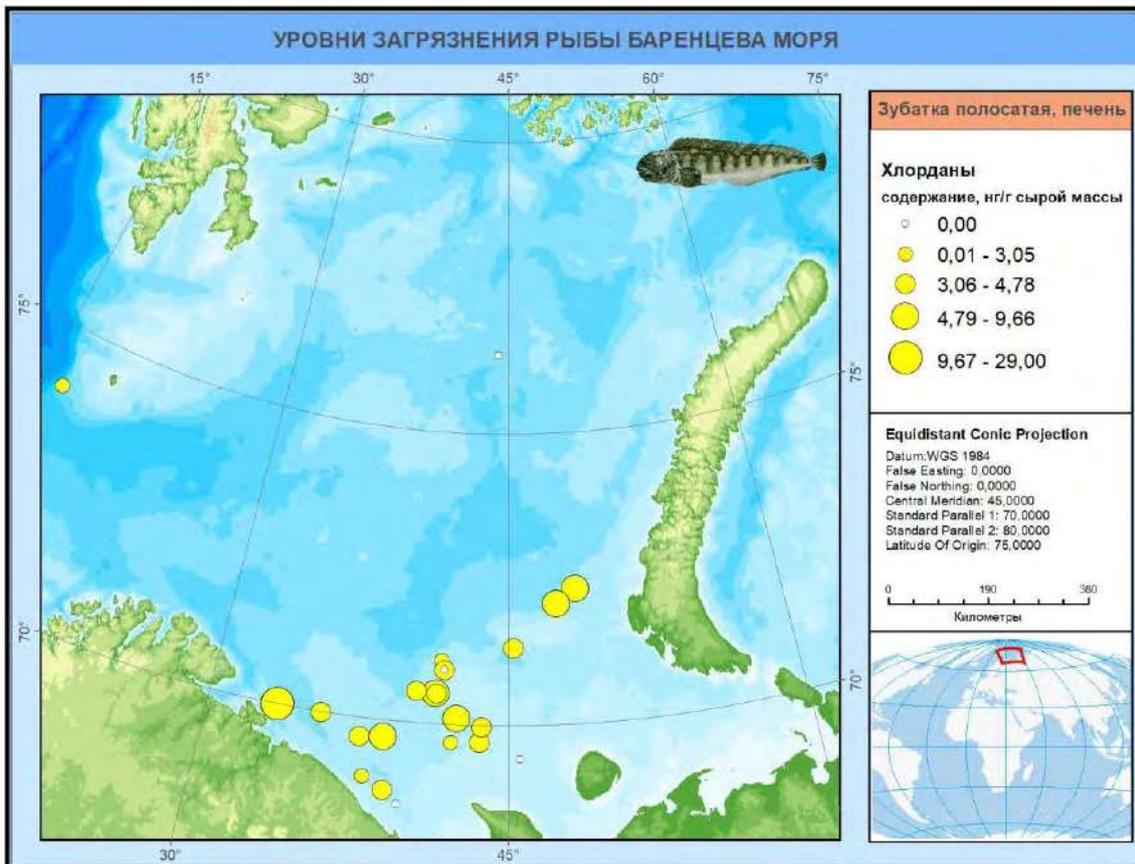
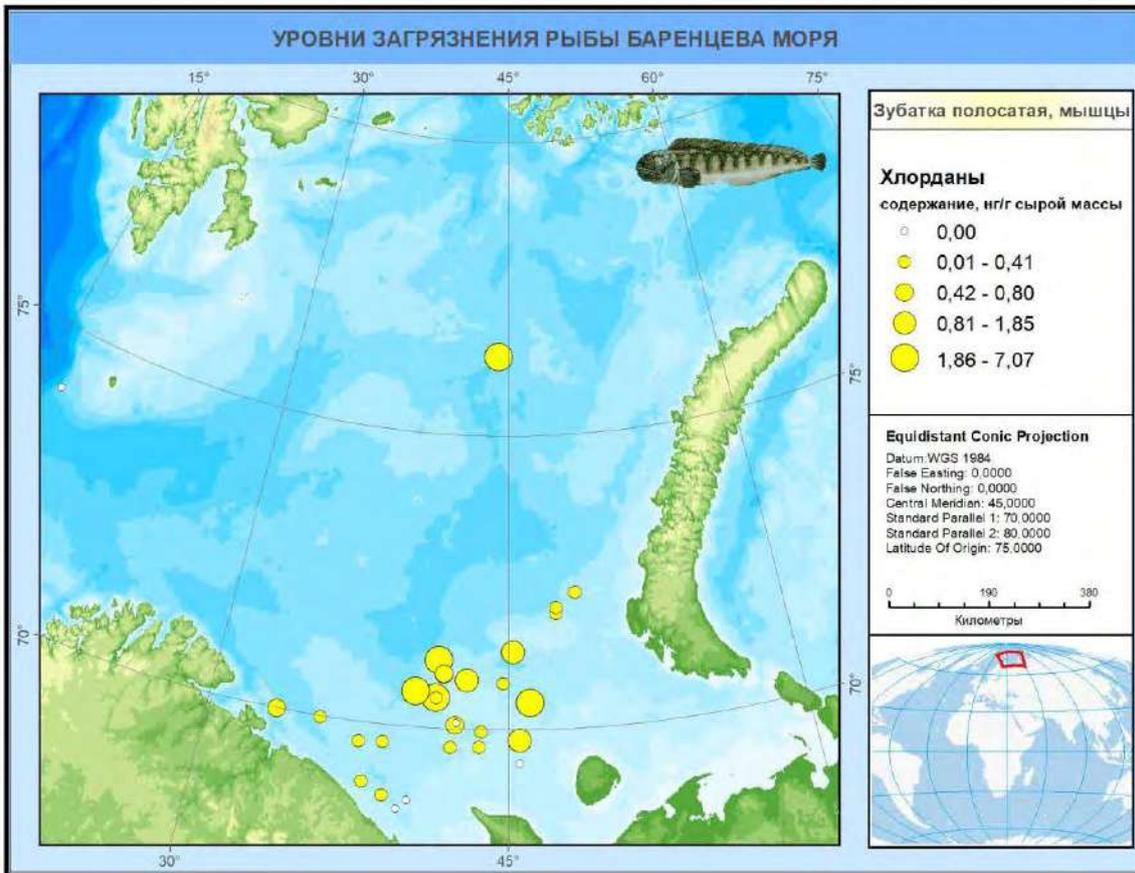


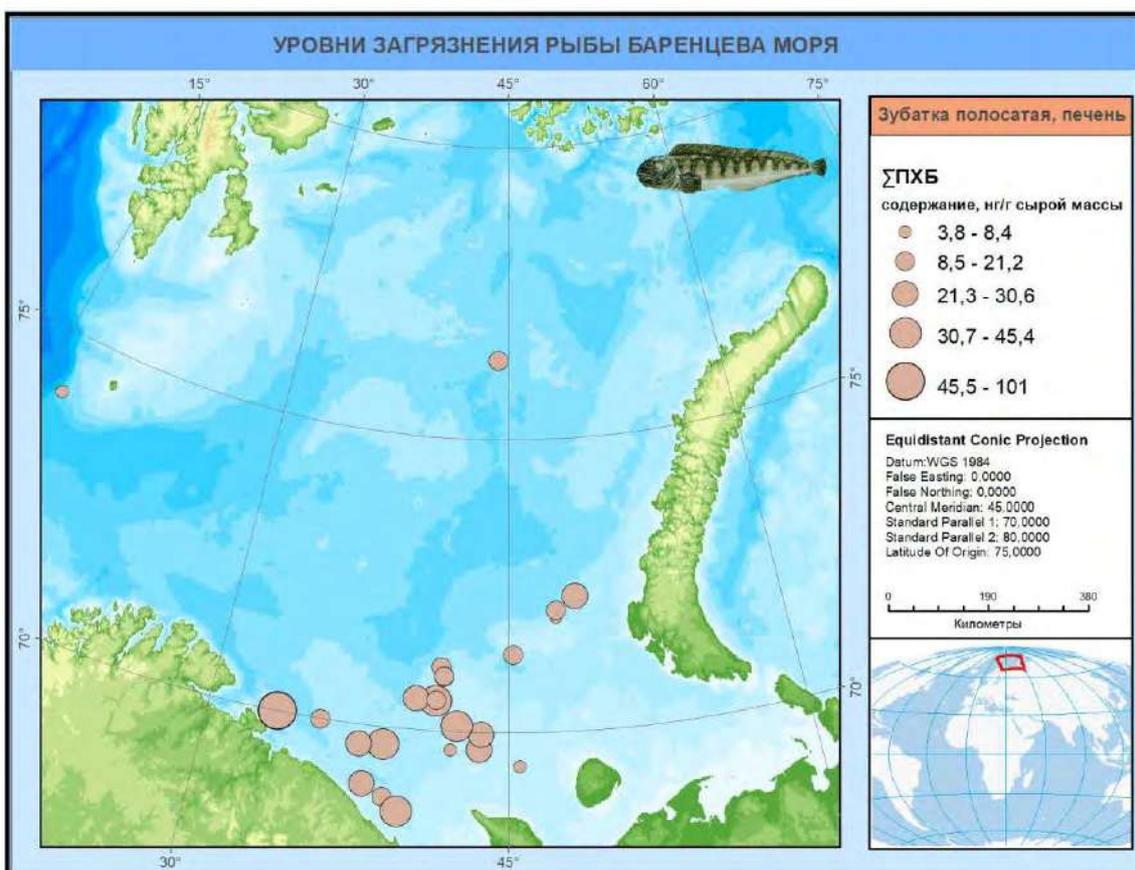
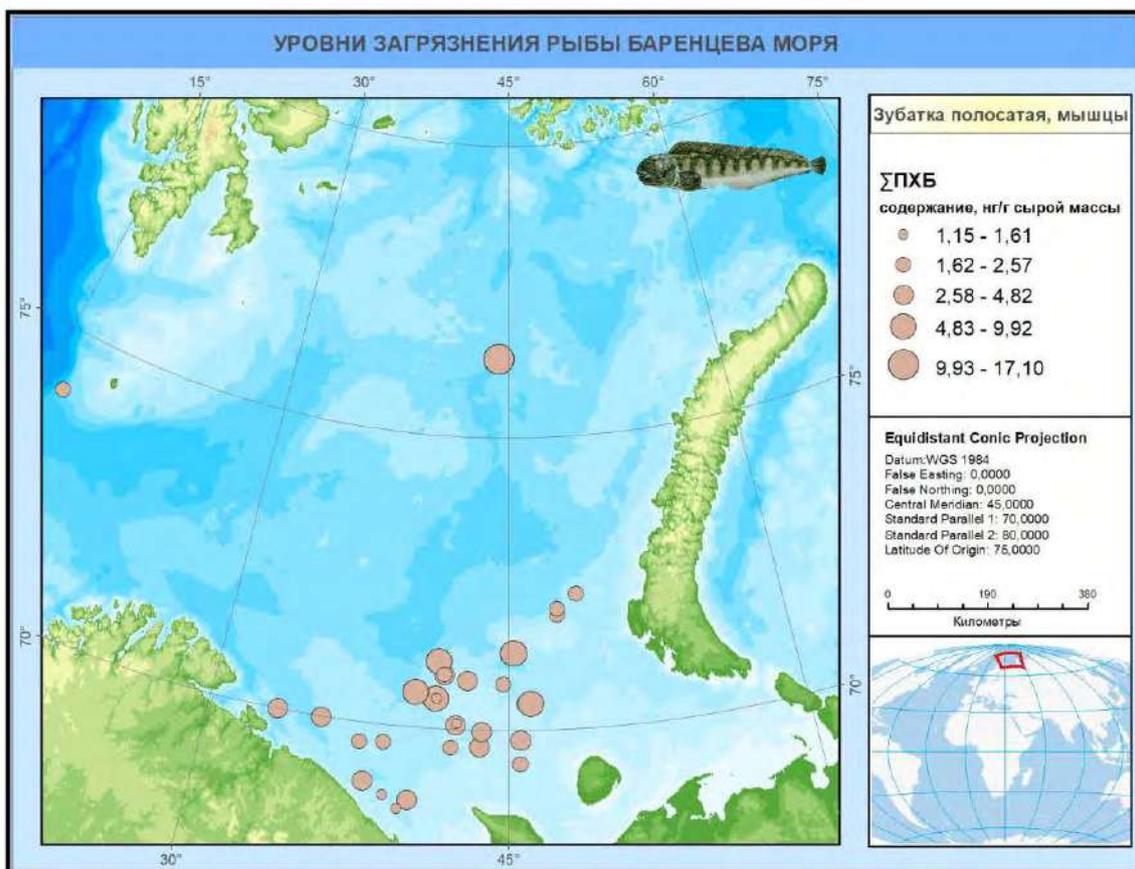








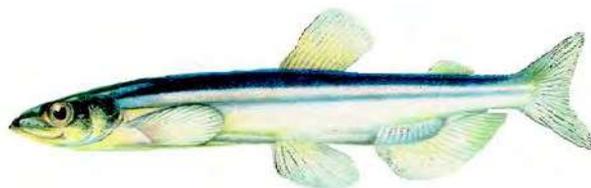




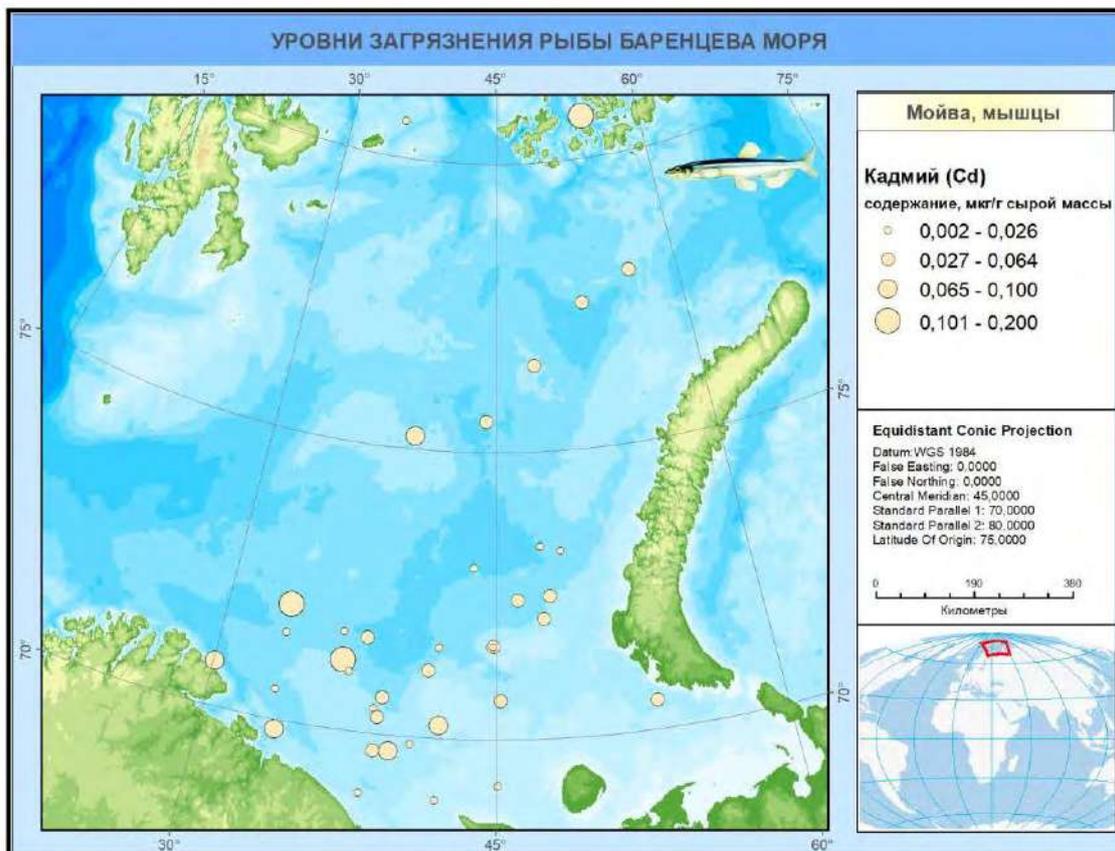
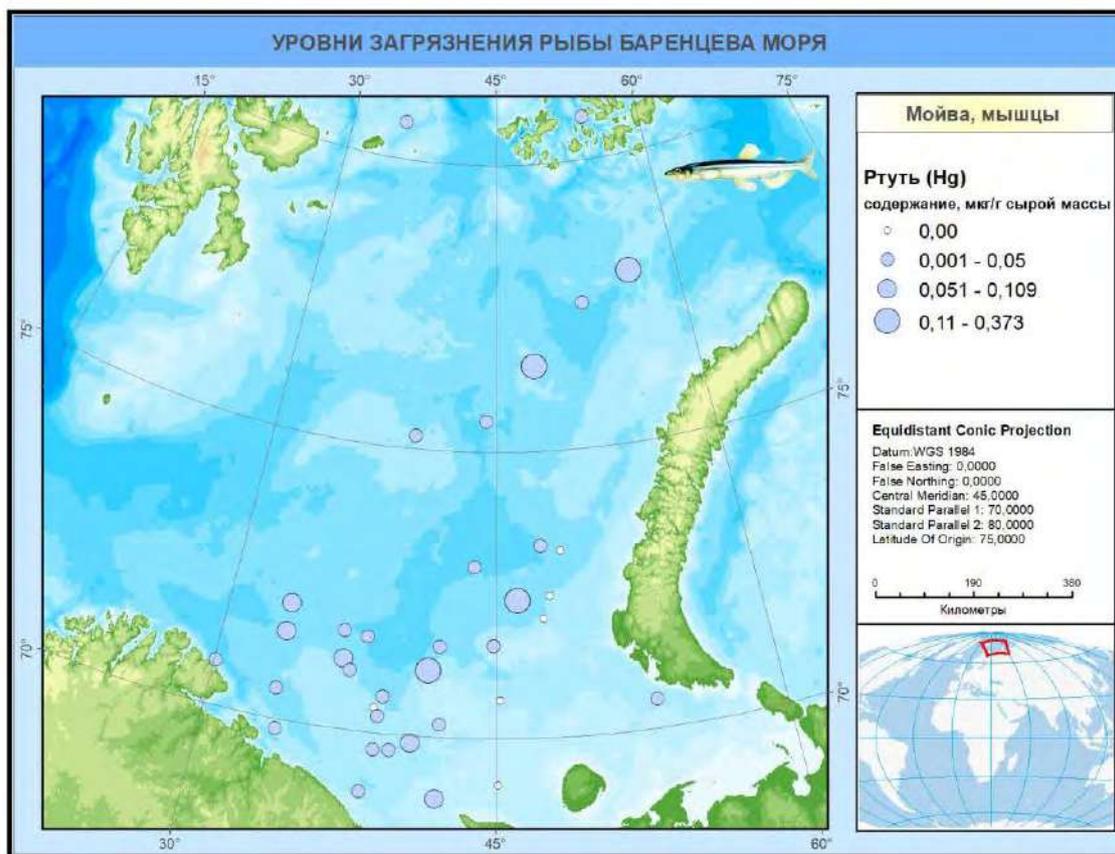
Мойва

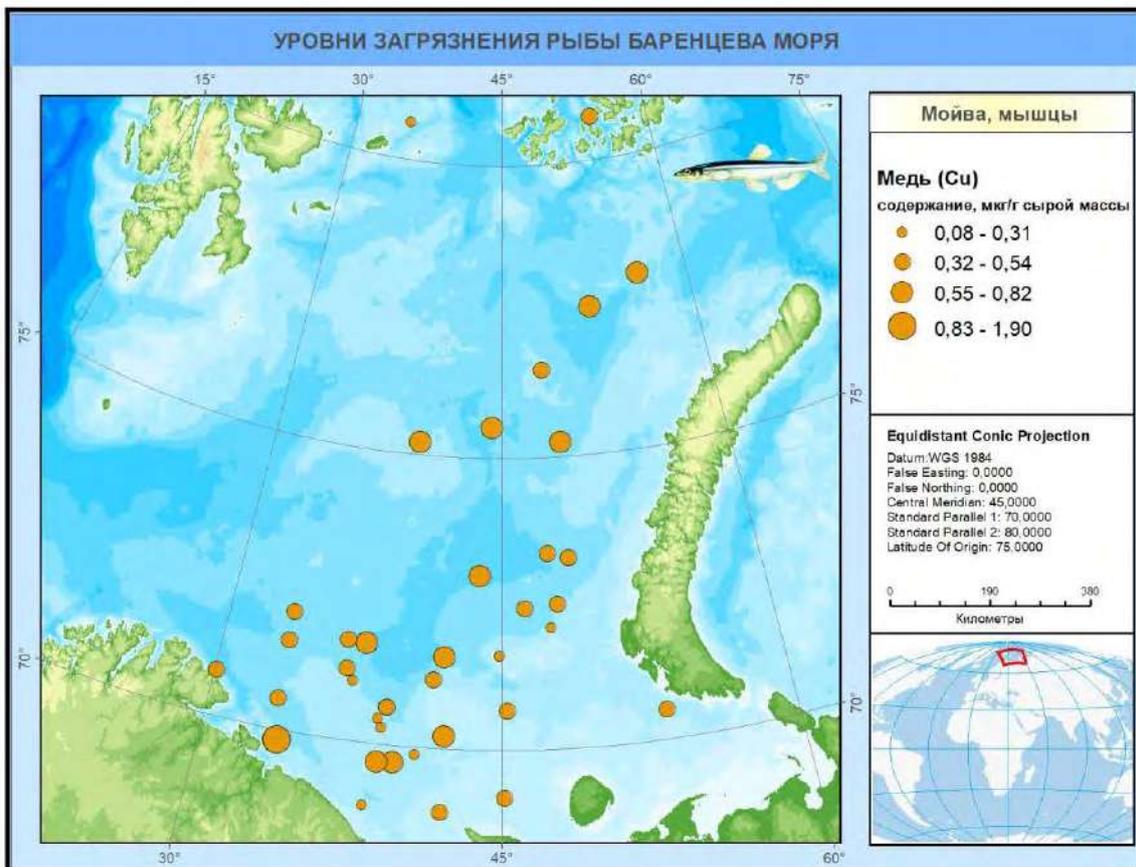
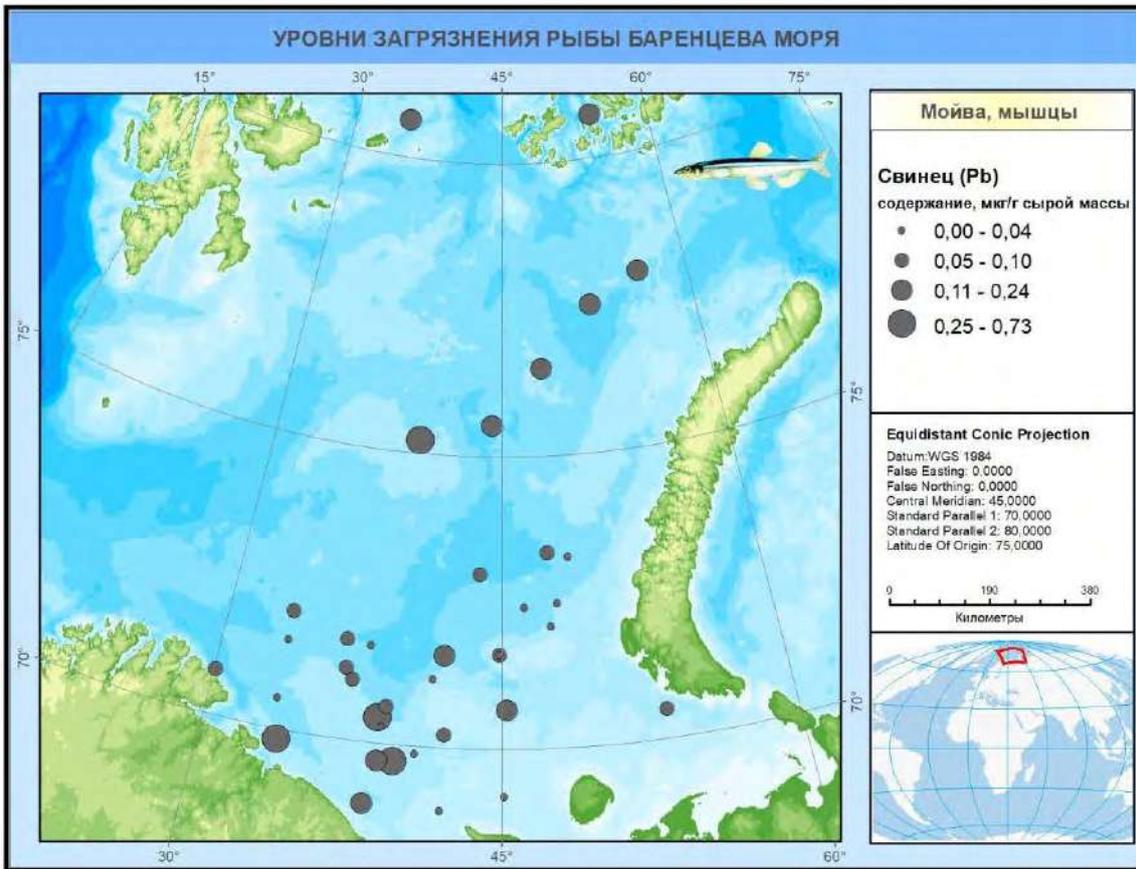
Мойва (*Mallotus villosus*). Бореальный вид, представитель отряда Лососеобразных (Salmoniformes) семейства Корюшковых (Osmeridae). Длина – 22-23 см, самки меньше самцов во всех возрастных группах. Продолжительность жизни до 6 лет. Нерито-пелагический вид обитает на глубинах до 300 м. Совершает протяженные миграции (нерестовые, нагульные, зимовальные) в течение года. Питается зоопланктоном (копеподы, гиперииды, эвфаузииды, щетинкочелюстные). Нерест в зимне-весенний период (февраль-май) у побережья Норвегии и Мурмана. Икру откладывает на песчаный грунт или гравий. Значительная часть рыб после нереста погибает (Вилер, 1983; Долгов, 2012). Промысловый вид. С середины 1970-х годов в Баренцевом море Россией и Норвегией ведется специализированный промысел мойвы пелагическими тралами и кошельковыми неводами. В отдельные годы ее вылов достигал 3 млн т. В 2010 г. общий вылов баренцевоморской мойвы Норвегией и Россией составил 323 тыс. т, на долю России пришлось 77,4 тыс. т. В 2011 г. общий и российский вылов увеличился до 360,0 и 86,5 тыс. т соответственно. Это были максимальные значения за весь десятилетний период добычи мойвы в Баренцевом море. Самые низкие показатели добычи отмечены в 2014 г., тогда общий вылов был всего 65,0 тыс. т, а российский – 26,0 тыс. т. В 2016-2017 и 2019-2021 гг., в годы с низкой величиной запаса, на промышленную добычу мойвы в Баренцевом море действовал полный мораторий (Состояние сырьевых биологических..., 2021). Мойва используется для производства разнообразной продукции: охлажденной, мороженой, соленой, пряной, вяленой, кулинарной, копченой, а также пресервов и консервов. Отходы применяются при производстве кормовых продуктов. Мойва может быть рекомендована для питания в качестве профилактики сердечно-сосудистых заболеваний в связи с наличием в ее жире большого количества полиненасыщенных жирных кислот (Технохимические свойства промысловых..., 1997).

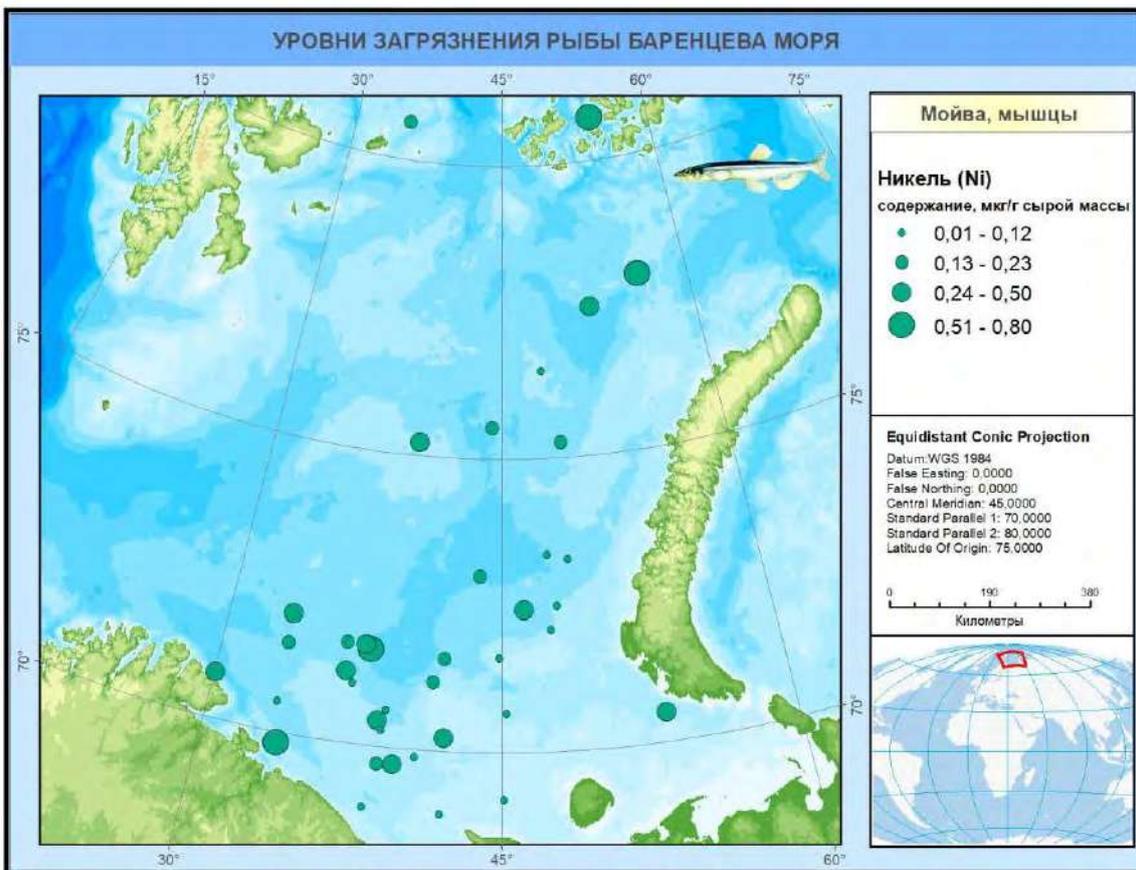
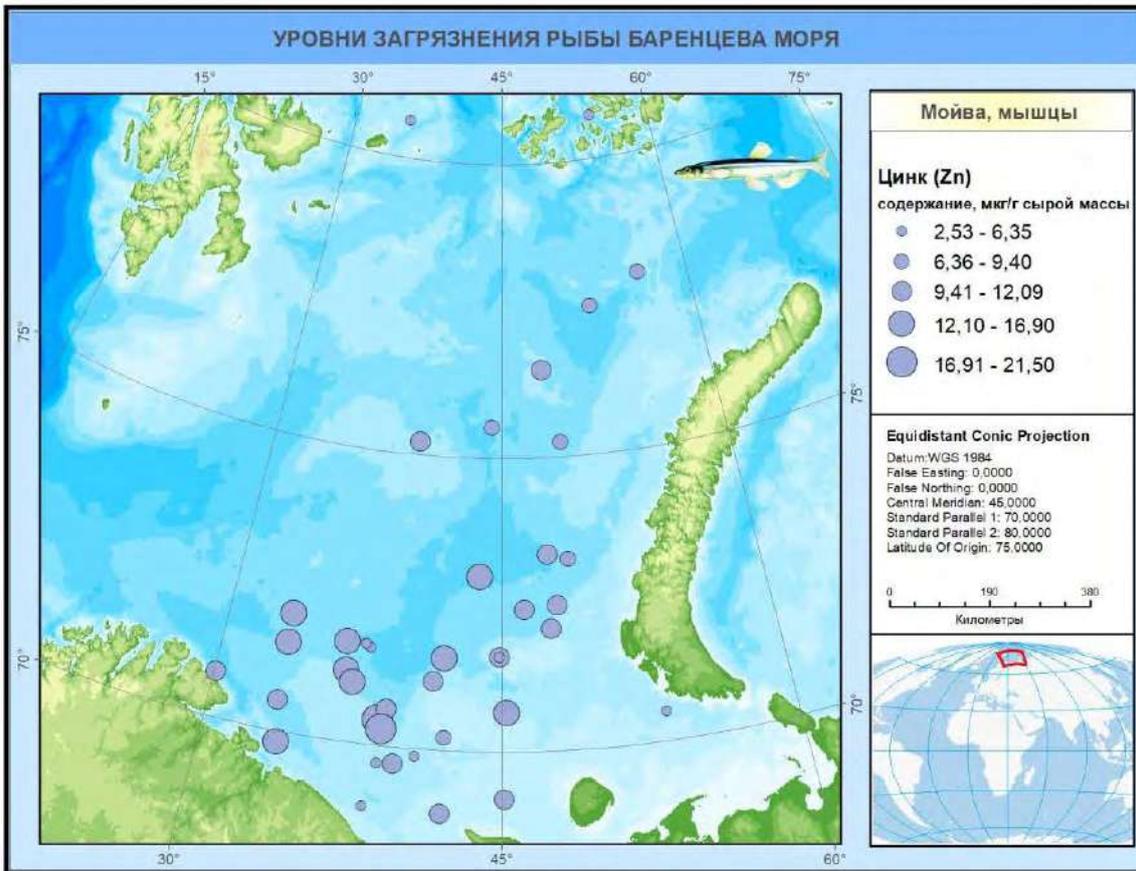
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах мойвы составляет $0,061 \pm 0,092$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,048 \pm 0,049$ мкг/г, Pb – $0,14 \pm 0,17$ мкг/г, Cu – $0,49 \pm 0,30$ мкг/г, Zn – $10,61 \pm 4,35$ мкг/г, Ni – $0,23 \pm 0,21$ мкг/г, Cr – $0,26 \pm 0,22$ мкг/г, Co – $0,15 \pm 0,10$ мкг/г и As – $1,50 \pm 1,79$ мкг/г (N=42); Σ ГХЦГ – $4,73 \pm 4,16$ нг/г, ГХБ – $1,35 \pm 1,40$ нг/г, Σ ДДТ – $3,51 \pm 2,59$ нг/г, Σ ПХБ – $3,14 \pm 1,92$ нг/г и суммы хлорданов – $2,03 \pm 2,33$ нг/г сырой массы (N=33).

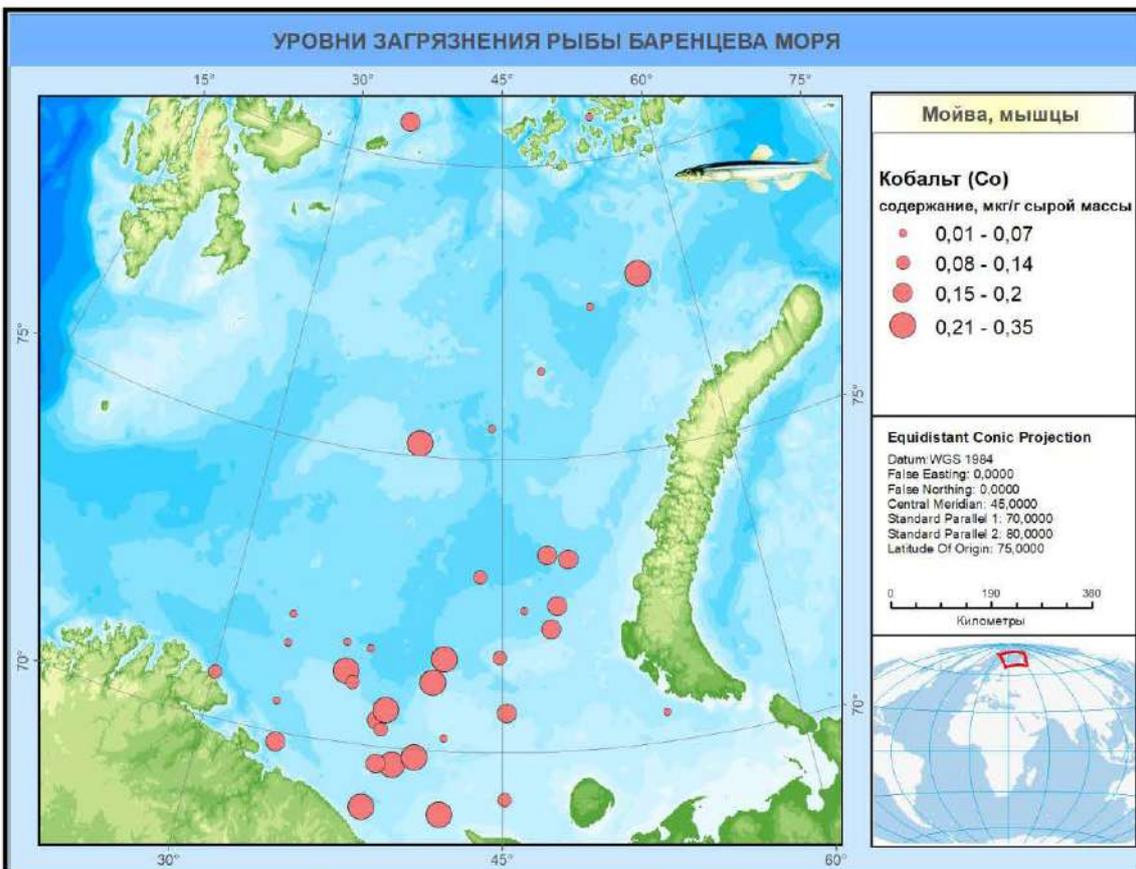
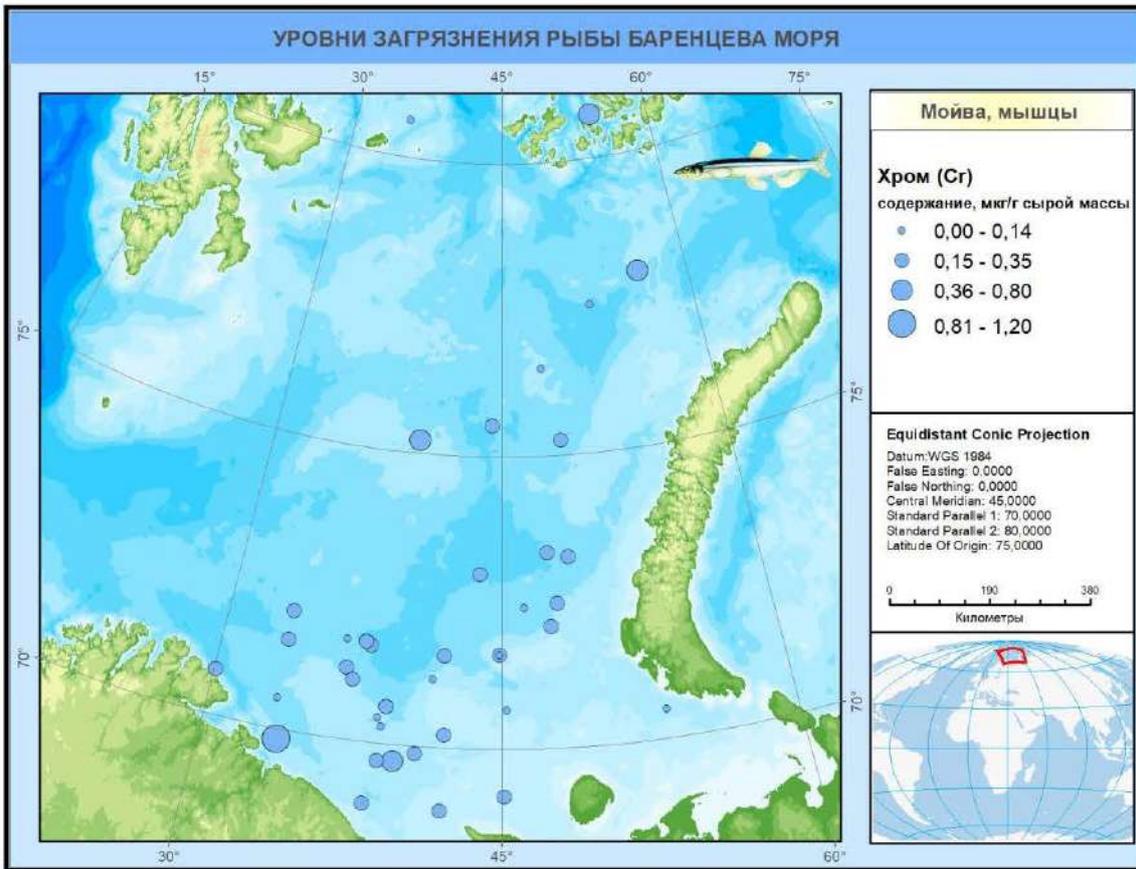


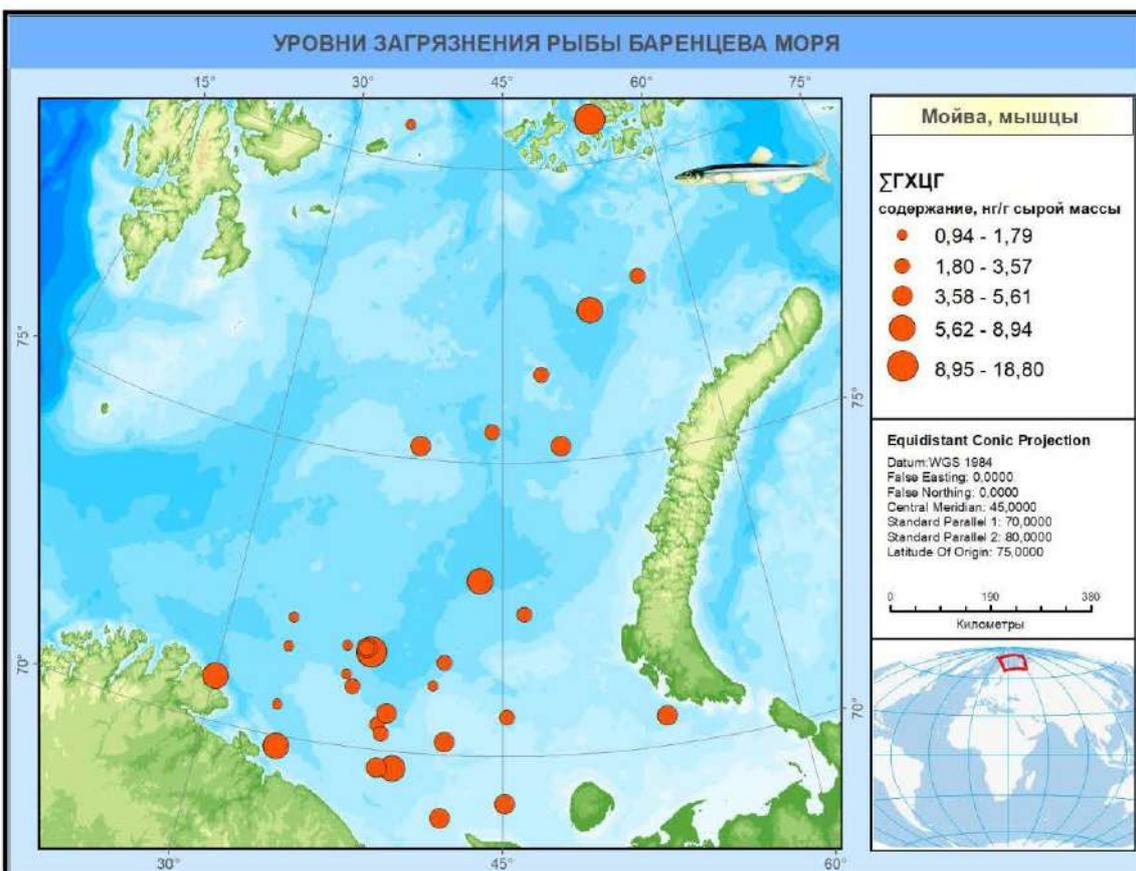
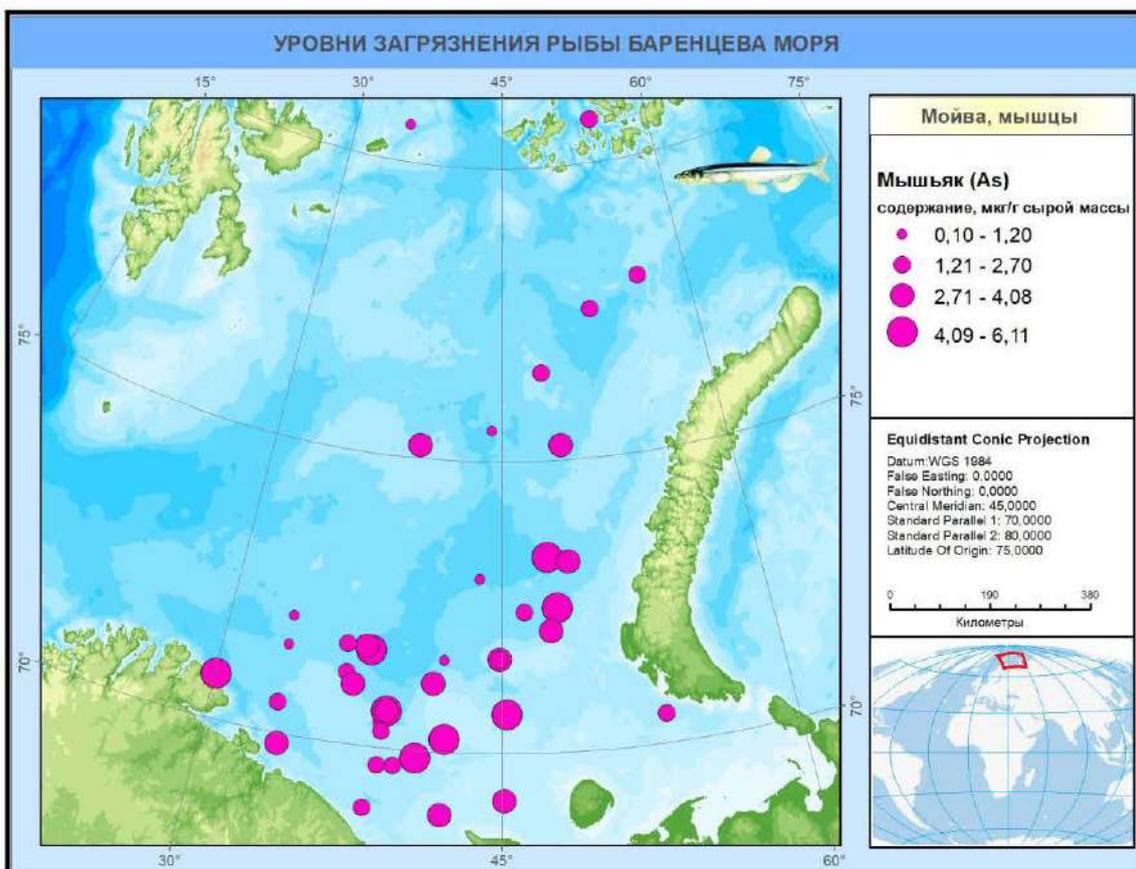
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в мойве в 2009-2021 гг.

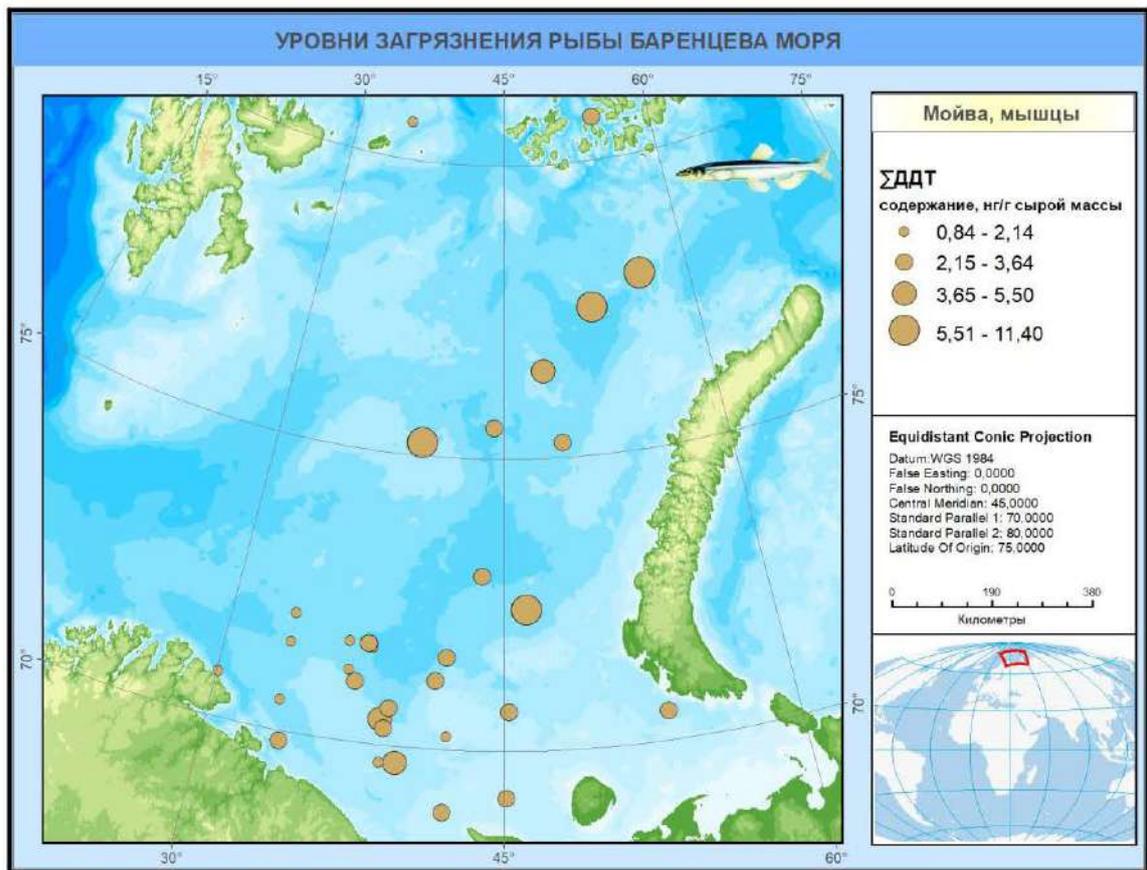
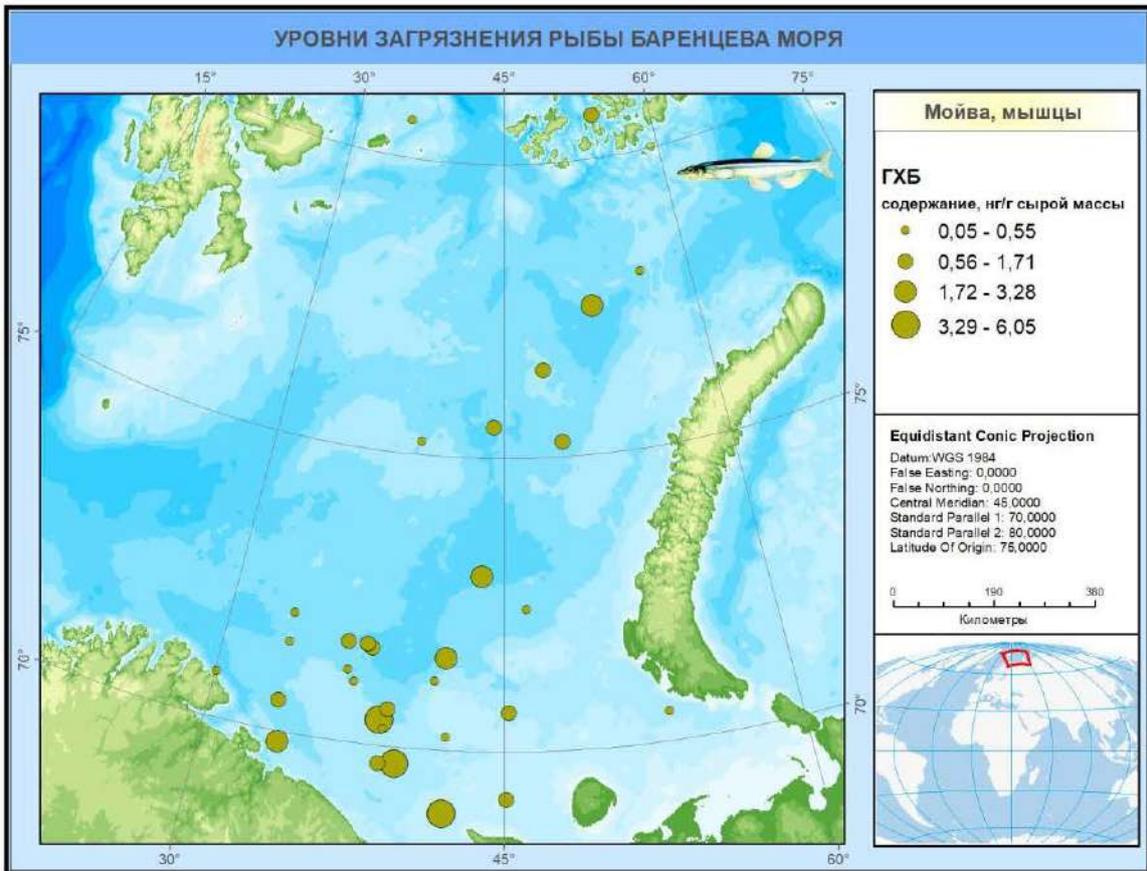


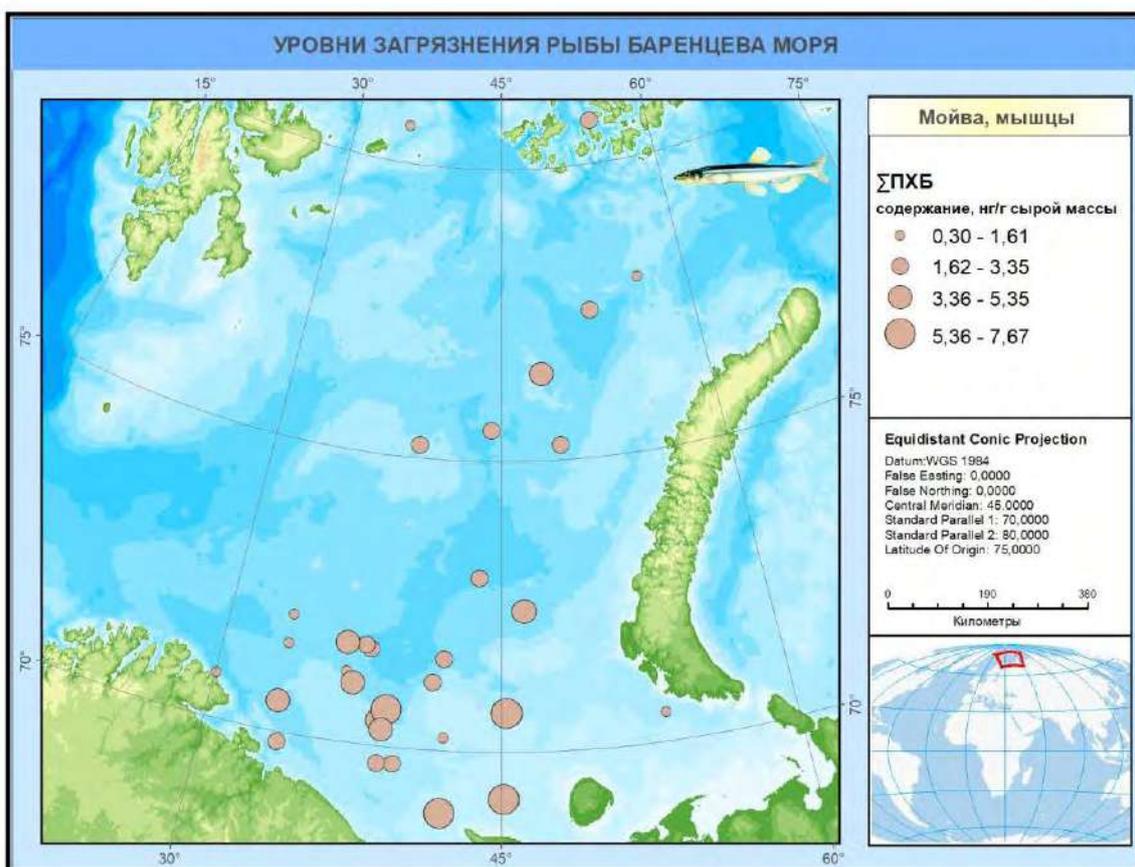
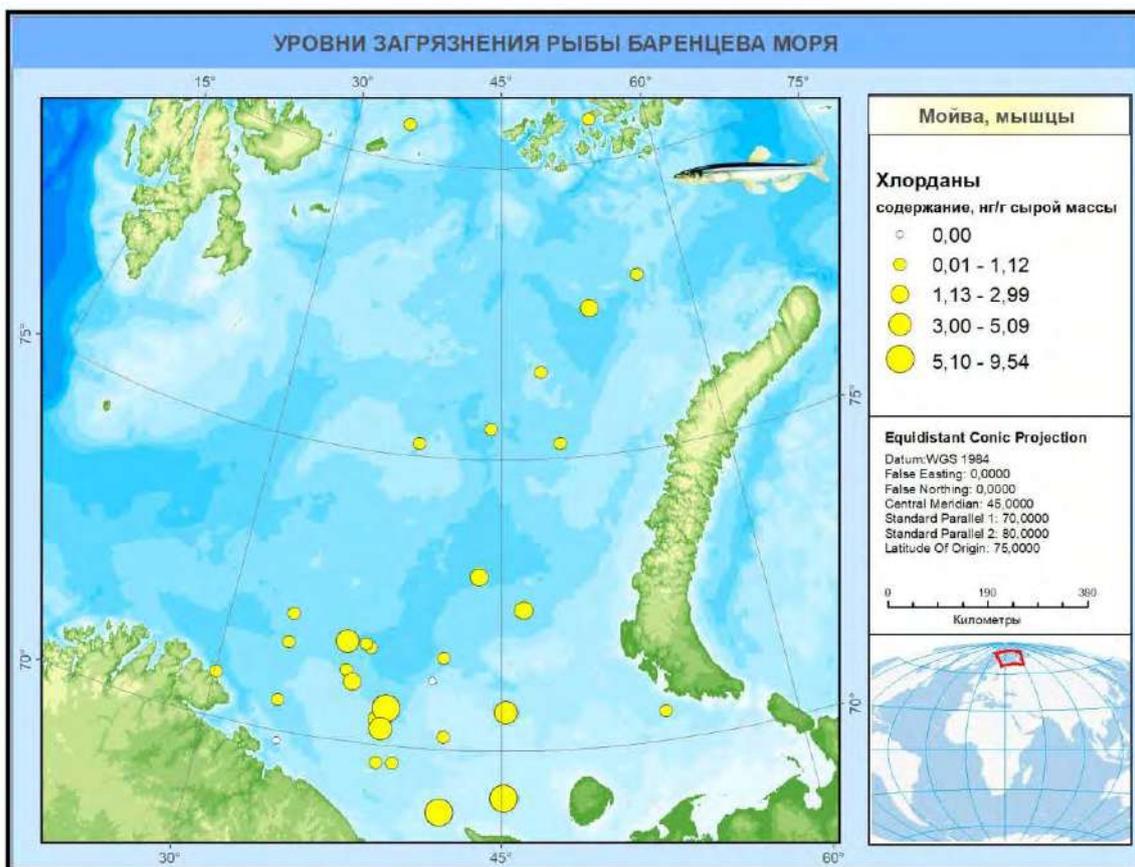












ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ПРОМЫСЛОВЫХ РАКООБРАЗНЫХ

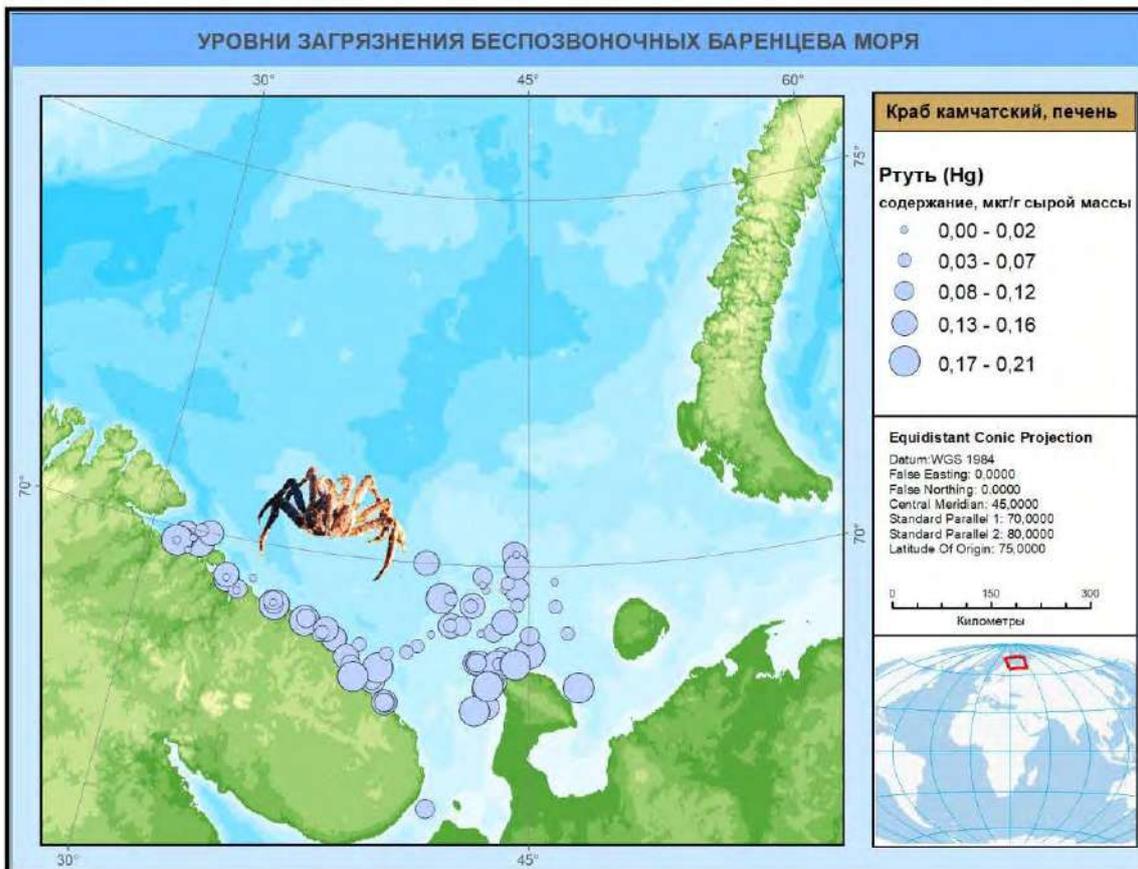
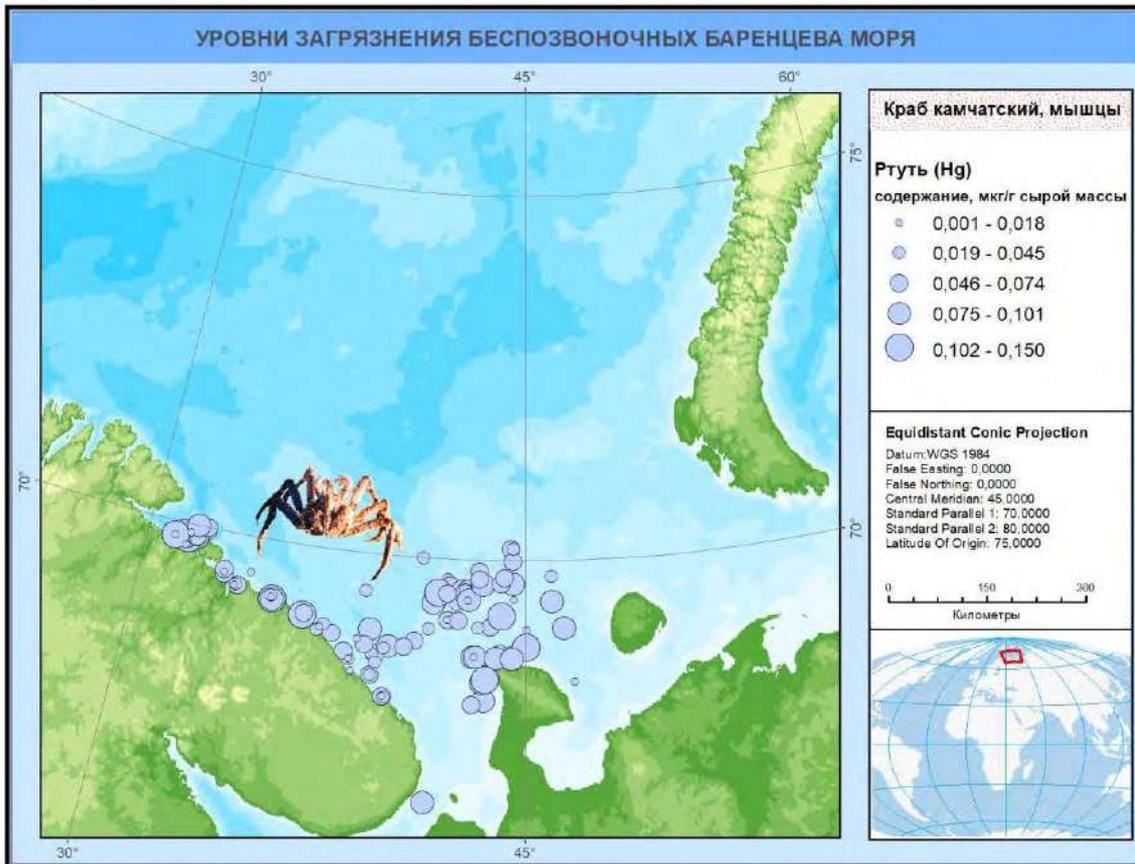
Камчатский краб

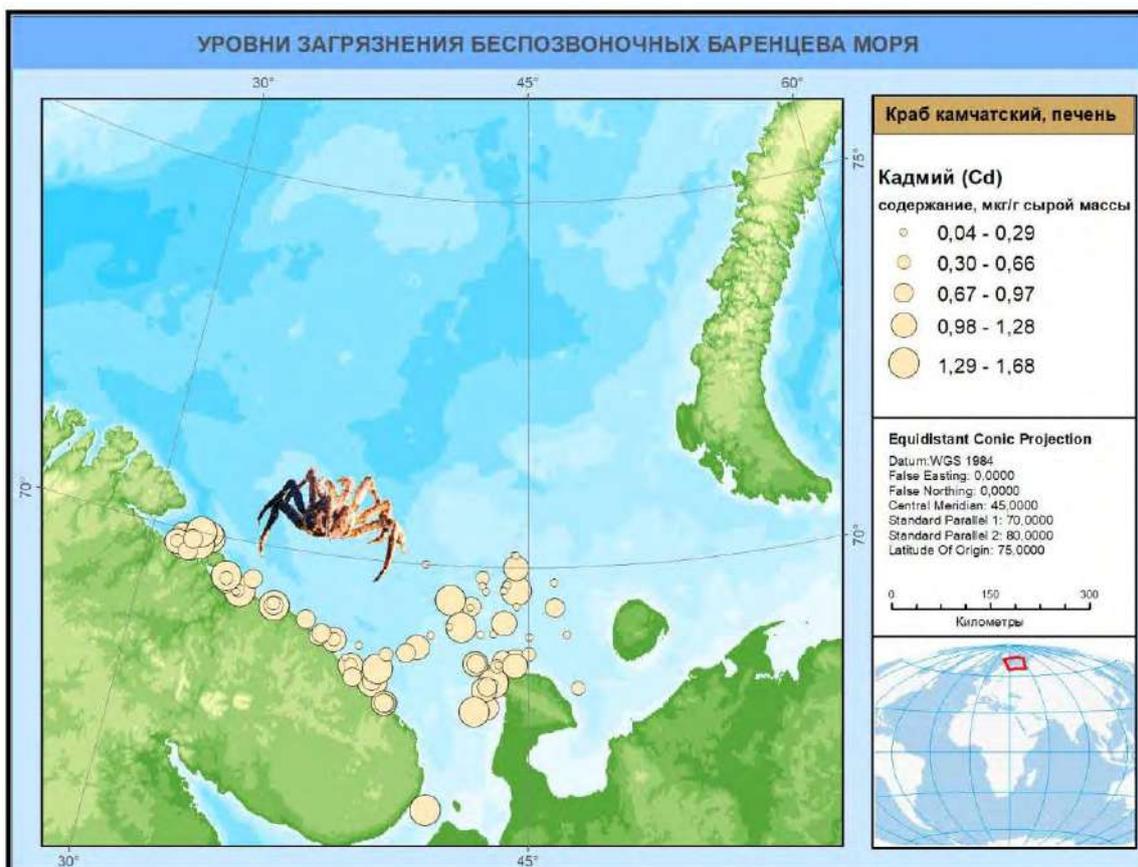
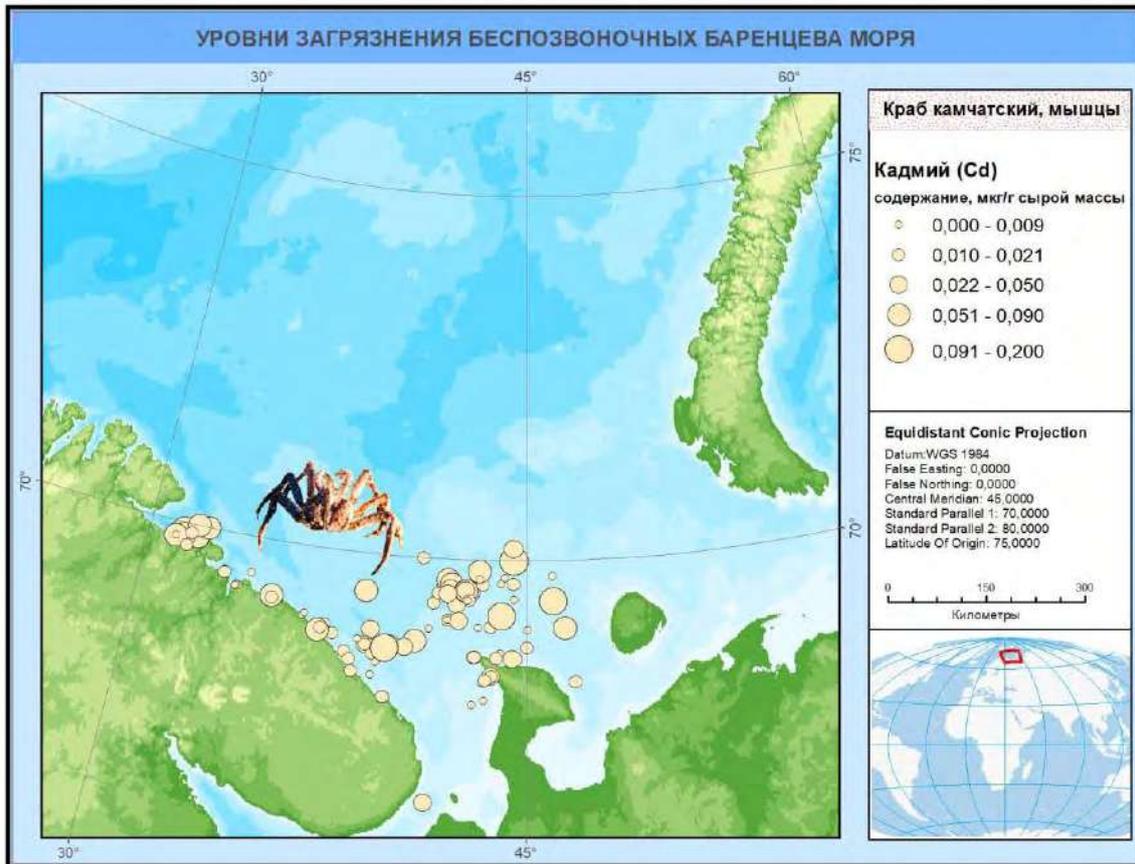
Краб камчатский (*Paralithodes camtschaticus*). Бореальный вид неполнохвостых раков из семейства Lithodidae отряда Десятиногие (Decapoda). В Баренцевом море – интродуцированный вид. Работы по интродукции камчатского краба в Баренцево море производились в 1960-х годах. Камчатские крабы – крупные ракообразные: ширина карапакса самок достигает 220 мм, самцов – 300-320 мм. Для них характерна довольно низкая избирательность пищевых объектов (всеядность). В целом спектр питания крабов определяется набором наиболее массовых и доступных в районе откорма бентосных организмов и других съедобных объектов. Нерест у берегов Западного Мурмана начинается в конце января–феврале, заканчивается размножение в июне–начале июля (Камчатский краб в..., 2003). Ценный промысловый вид. Промысел камчатского краба в Баренцевом море ведется с 2004 г. Среднегодовой вылов в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) России в последние годы составляет около 10 тыс. т. В 2021 г. в промысле участвовало 16 судов, что выше показателей последних 10 лет. В географии промысла значительно возросла роль Канинской банки и Канино-Колгуевского мелководья. Медианная величина промыслового запаса, оцененная на начало 2021 г., составила 216 тыс. т (Состояние сырьевых биологических..., 2021, 2022). Мясо краба является сырьем для приготовления деликатесной продукции, обладает хорошими вкусовыми качествами и высокой пищевой ценностью. В пищу употребляется мясо белого цвета, находящееся в ногах, клешнях и месте сочленения ног с карапаксом, а также икра. Сырое мясо краба содержит много влаги и мало жира, за исключением печени, в ней может быть до 17 % жира (Камчатский краб в..., 2003; Химический состав..., 1998).

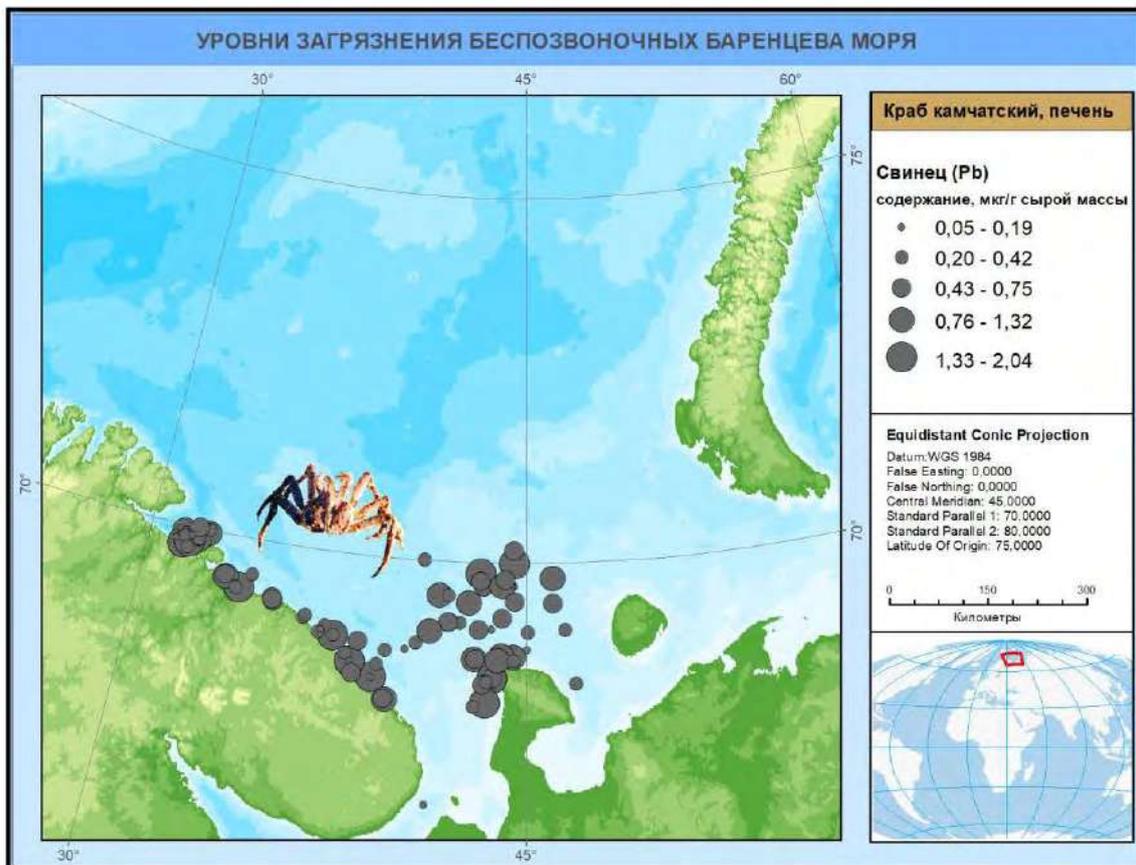
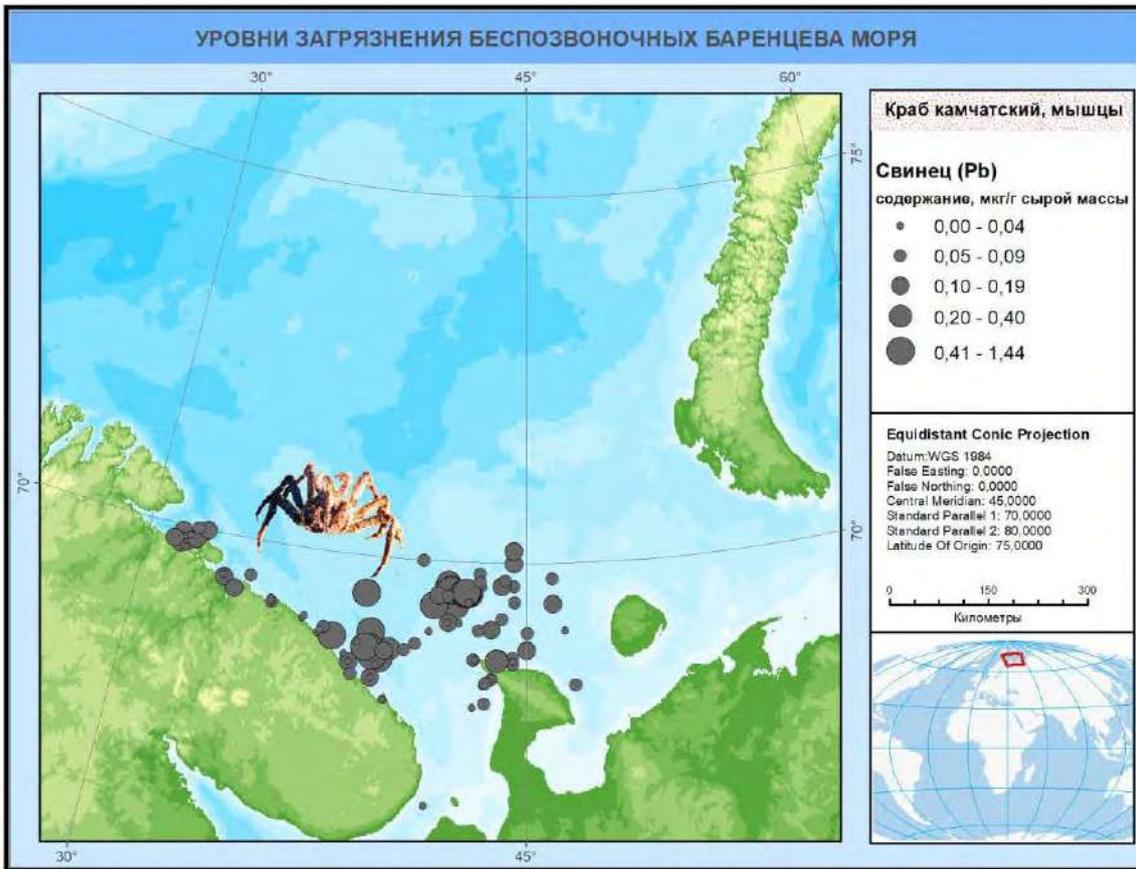
По фондовым данным ПИПРО, среднее содержание Hg в мышцах камчатского краба составляет $0,054 \pm 0,033$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,030 \pm 0,034$ мкг/г, Pb – $0,25 \pm 0,40$ мкг/г, Cu – $4,90 \pm 2,95$ мкг/г, Zn – $25,58 \pm 7,58$ мкг/г, Ni – $0,21 \pm 0,26$ мкг/г, Cr – $0,18 \pm 0,18$ мкг/г, Co – $0,17 \pm 0,13$ мкг/г и As – $4,07 \pm 1,45$ мкг/г (N=135); Σ ГХЦГ – $0,73 \pm 0,41$ нг/г, ГХБ – $0,19 \pm 0,18$ нг/г, Σ ДДТ – $0,65 \pm 0,33$ нг/г, Σ ПХБ – $0,39 \pm 0,16$ нг/г и суммы хлорданов – $0,14 \pm 0,13$ нг/г сырой массы (N=136).

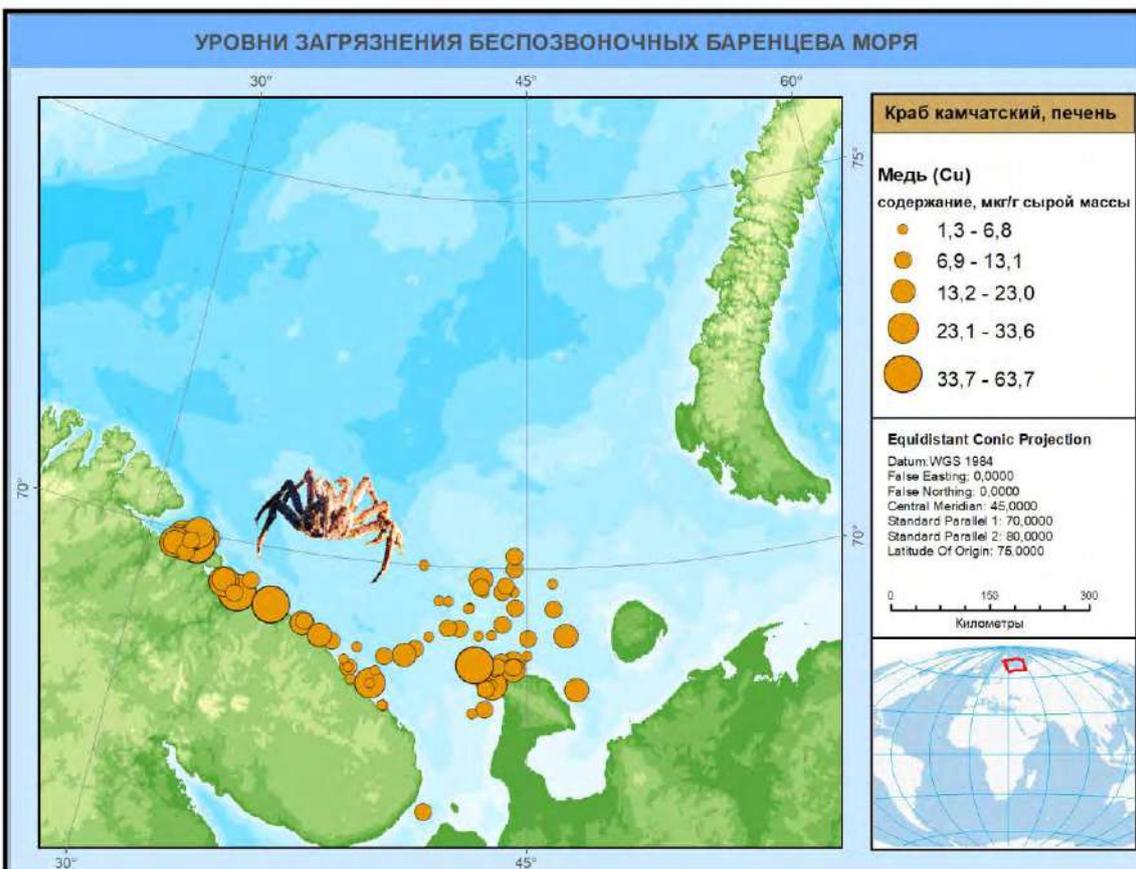
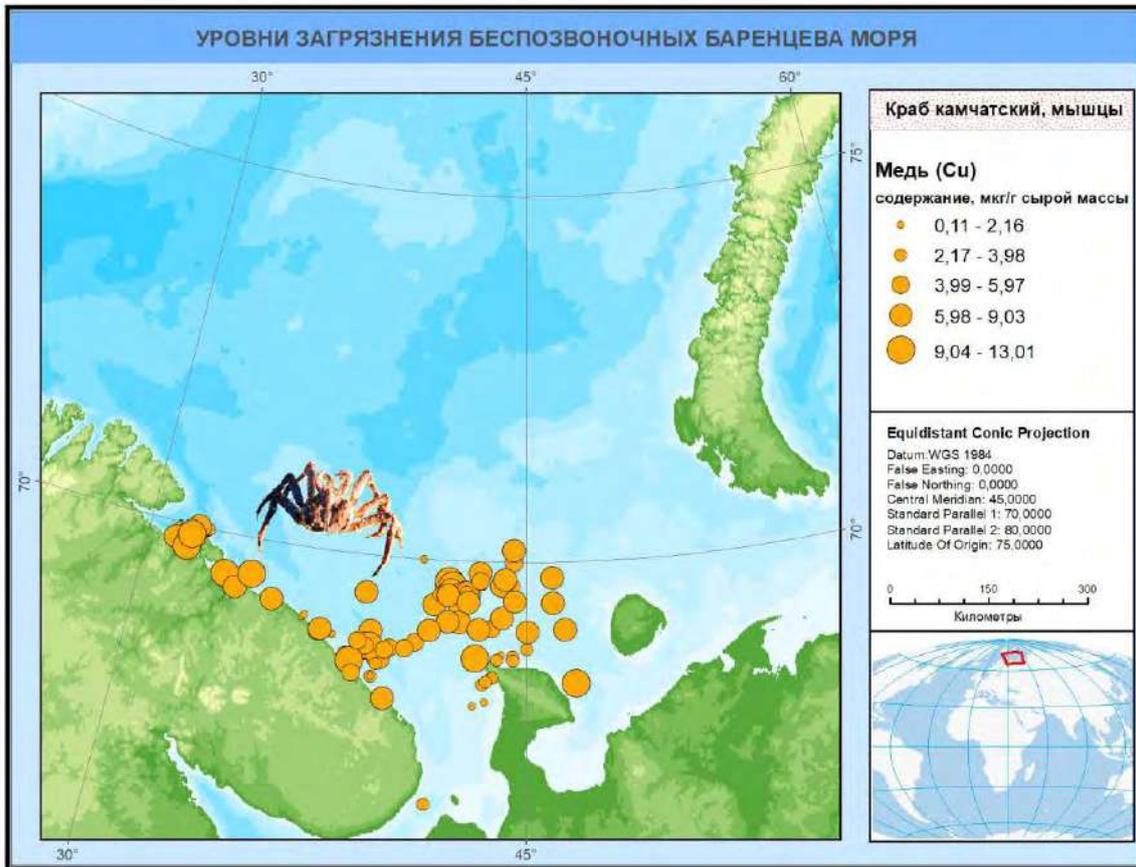


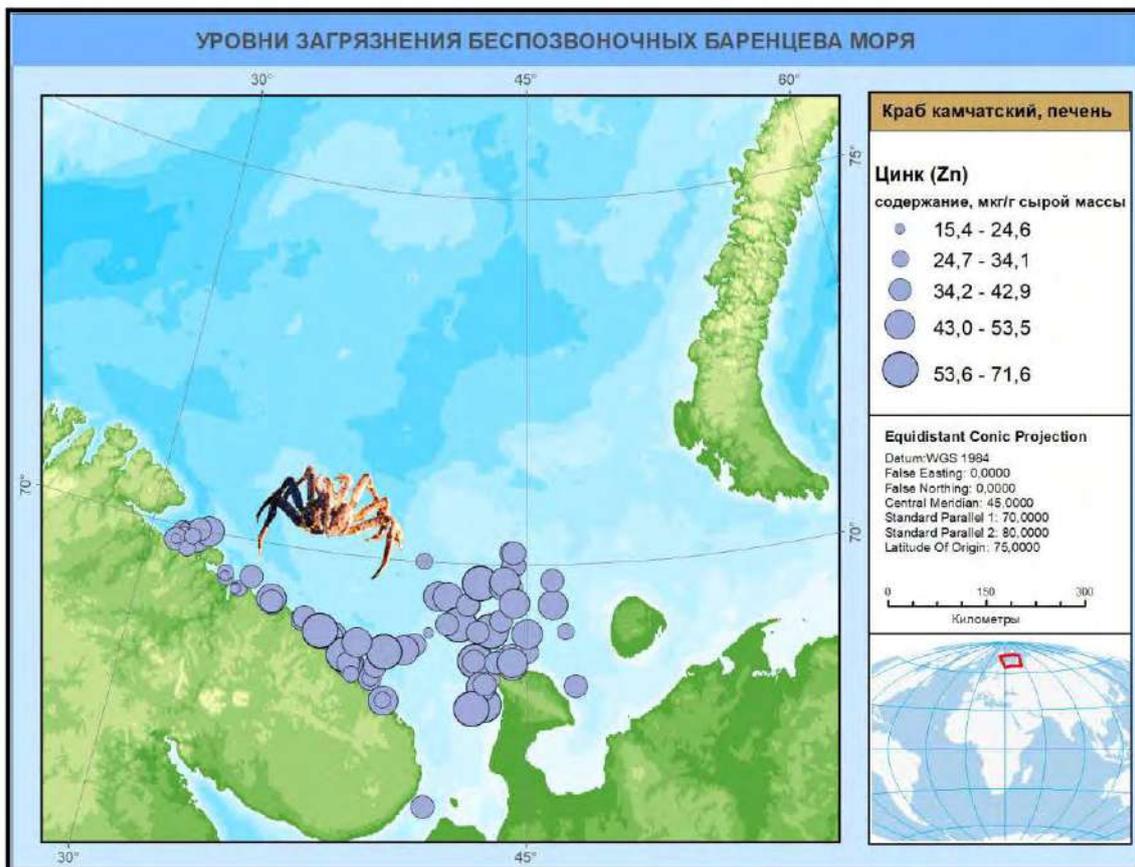
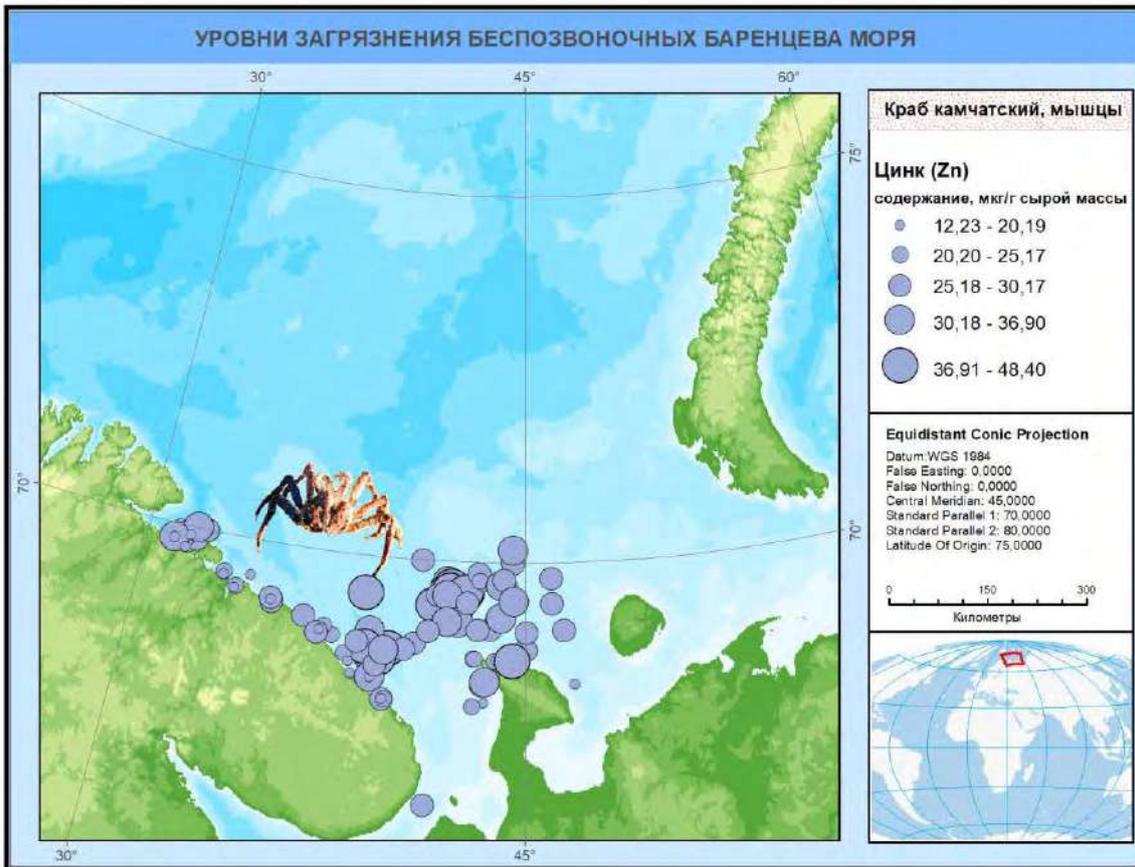
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в камчатском крабе в 2012-2021 гг. (мышцы и печень-гепатопанкреас).

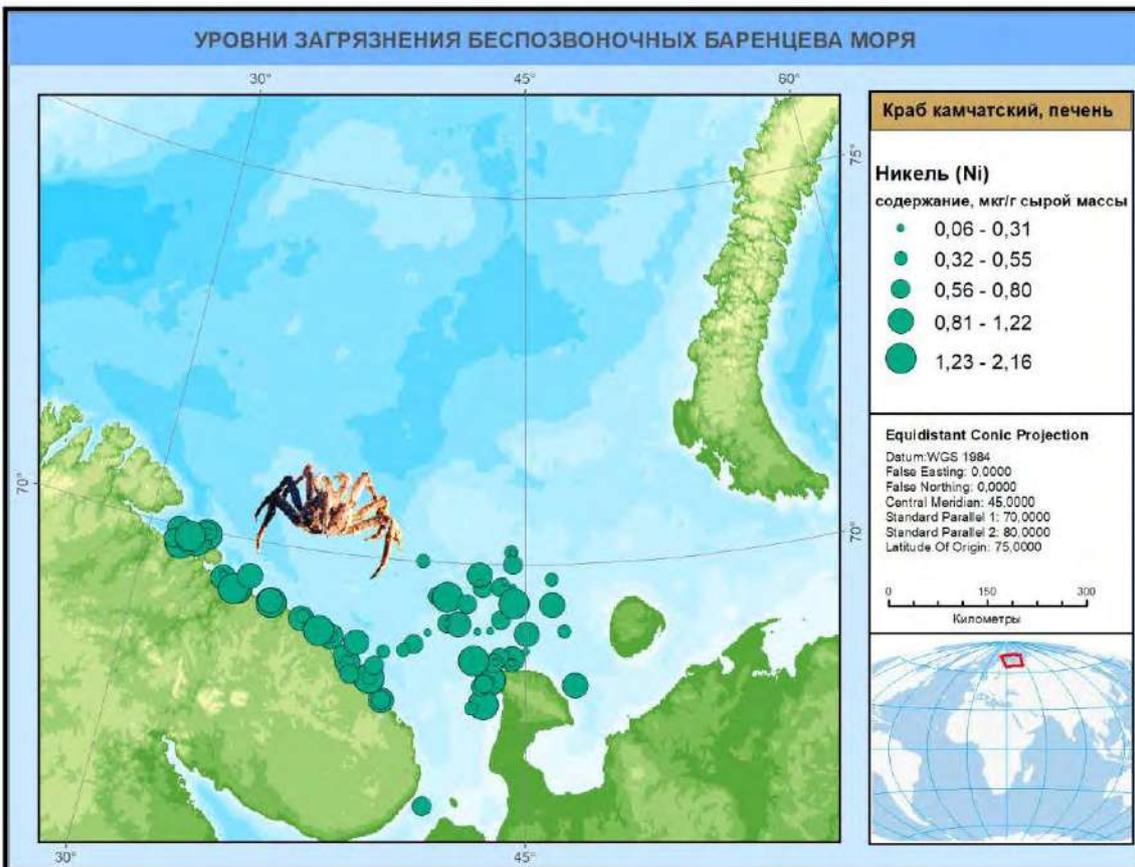
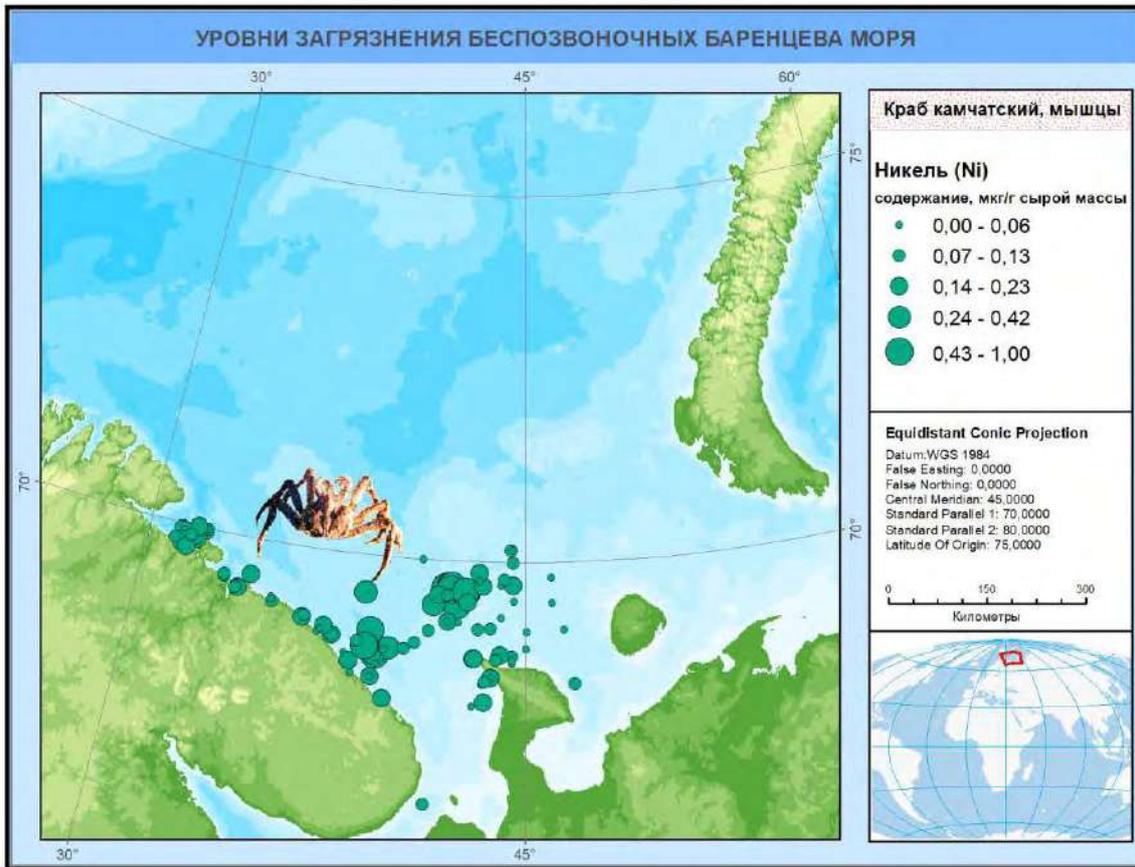


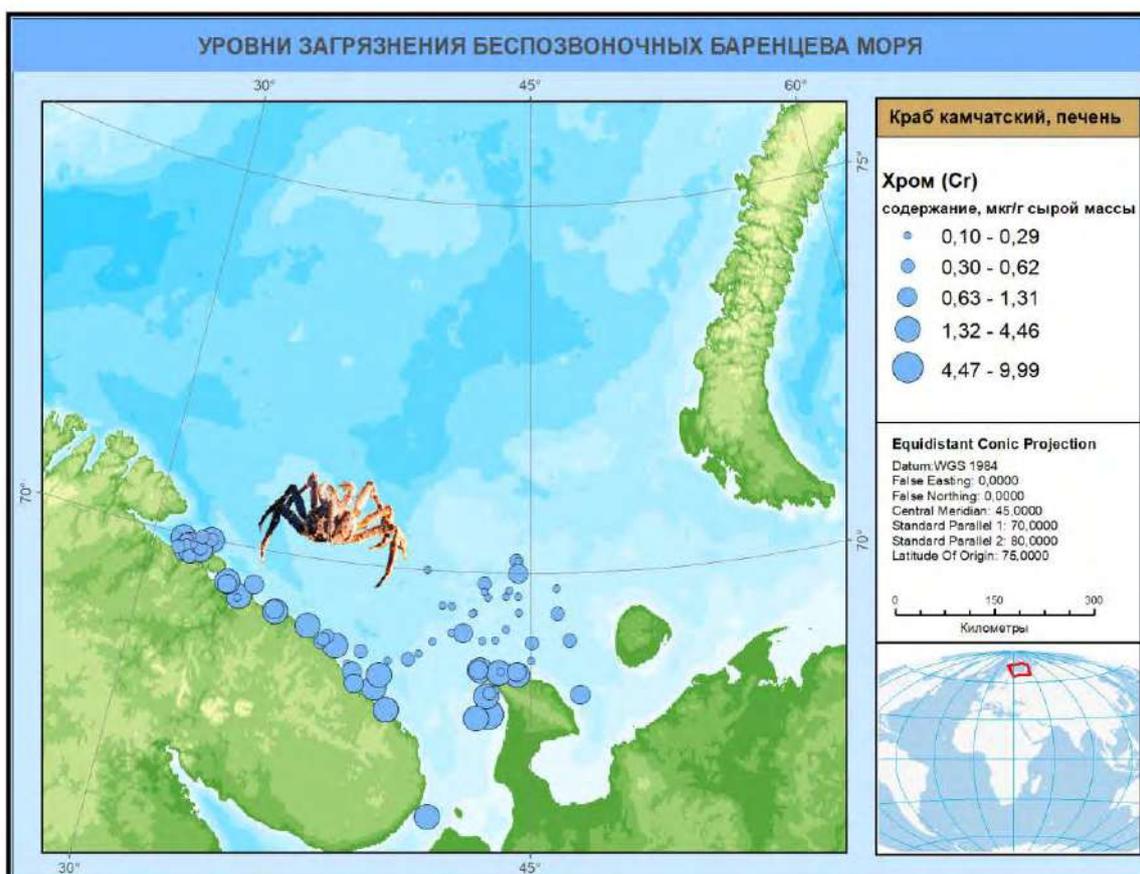
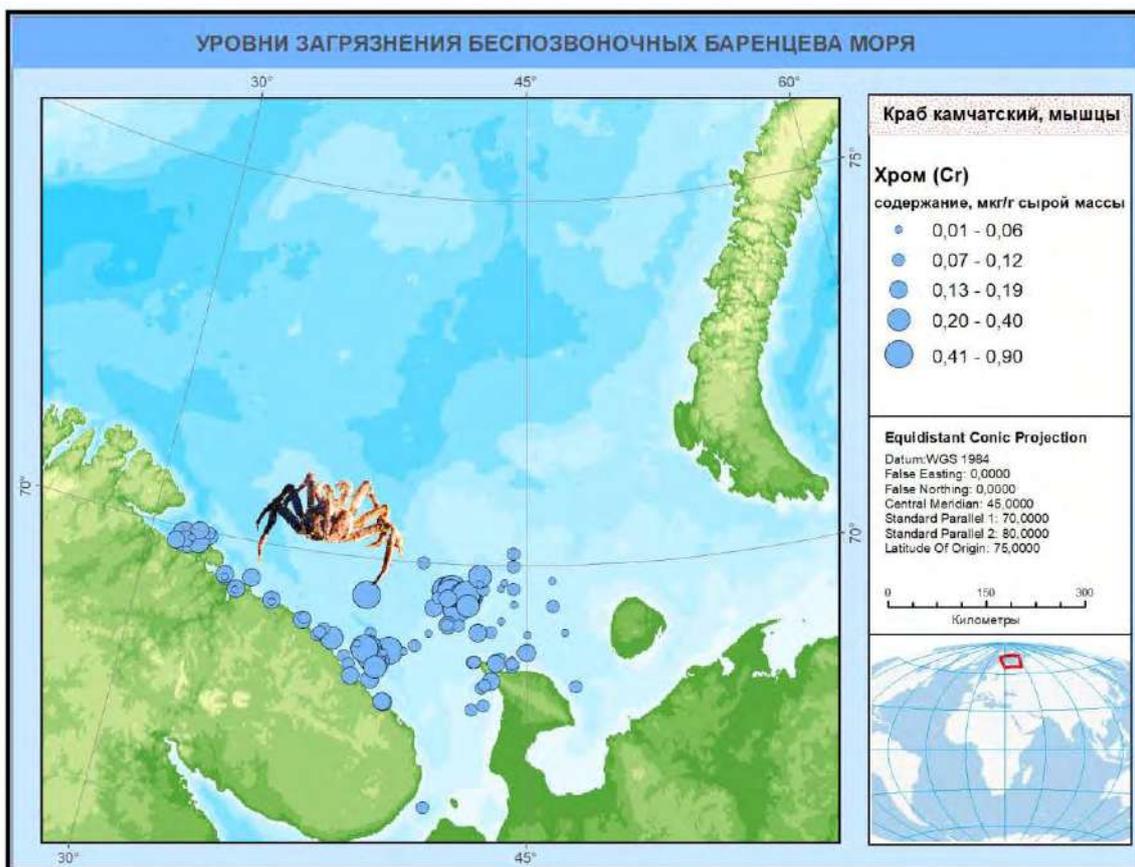


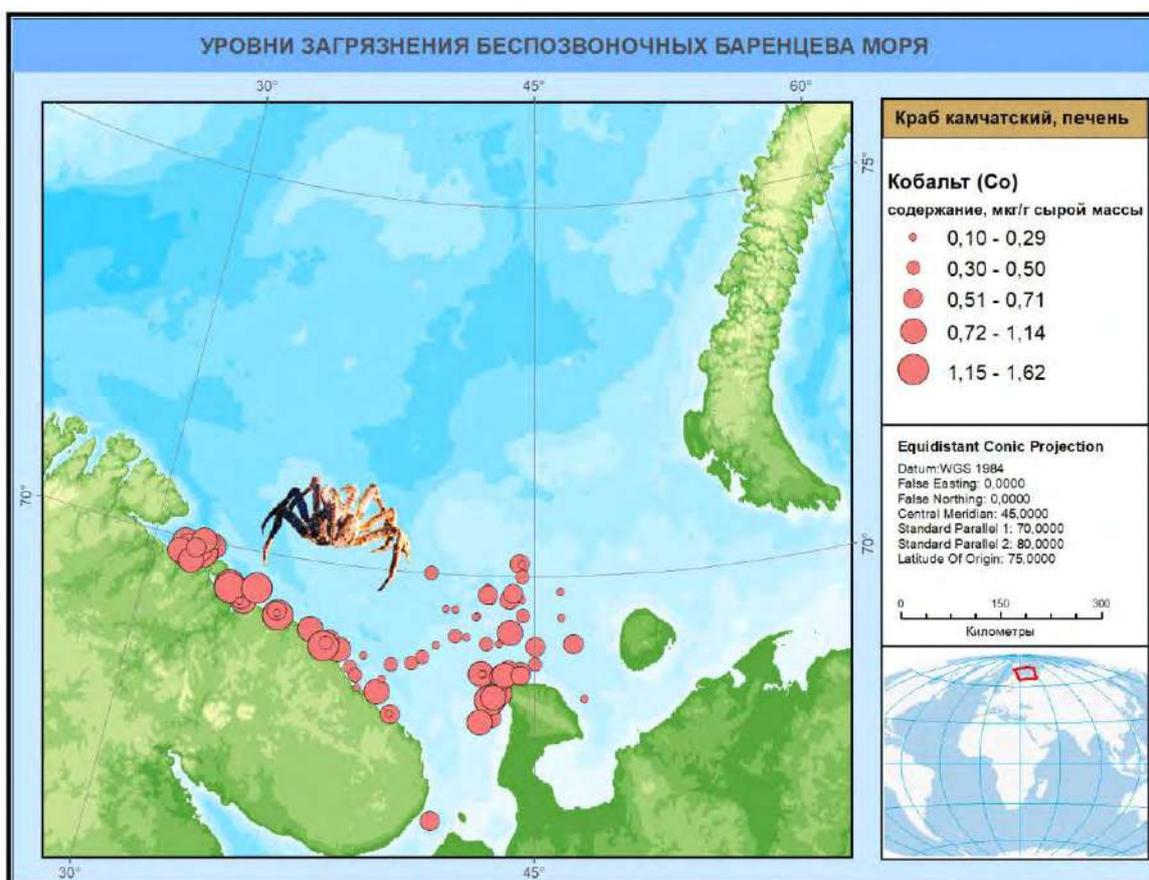
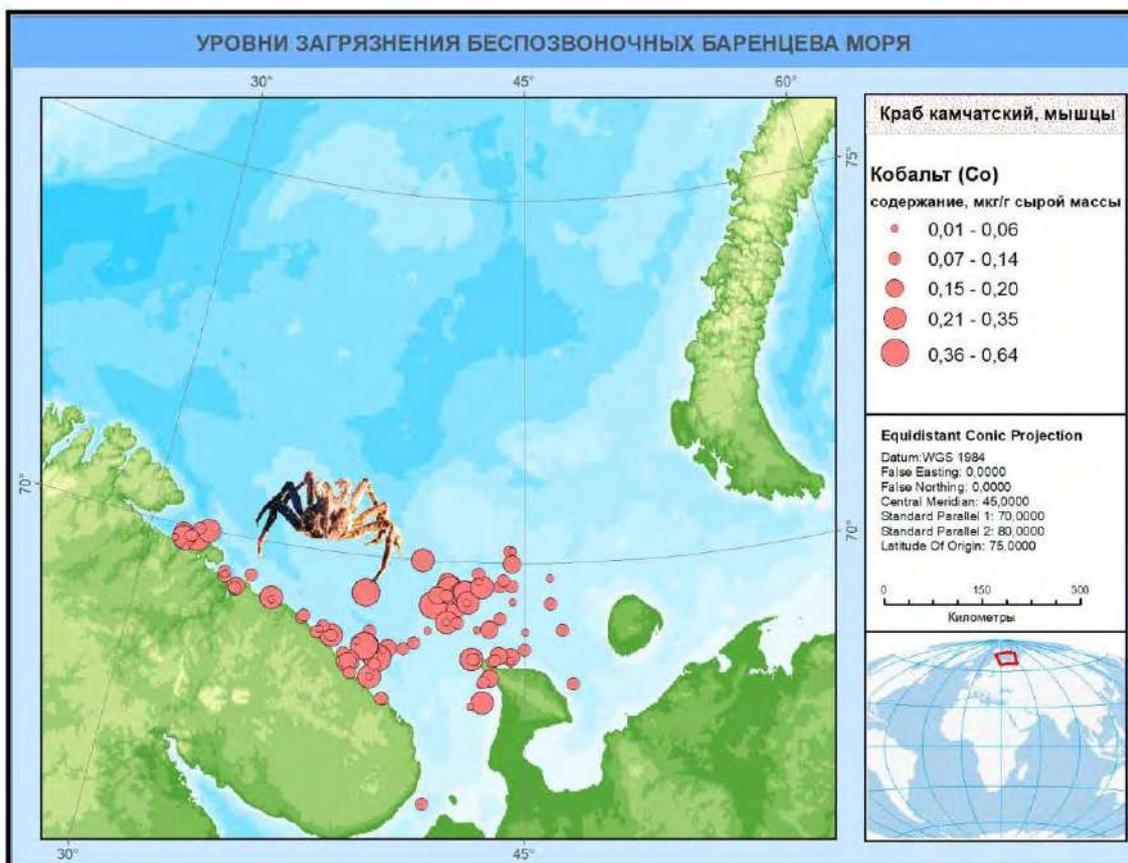


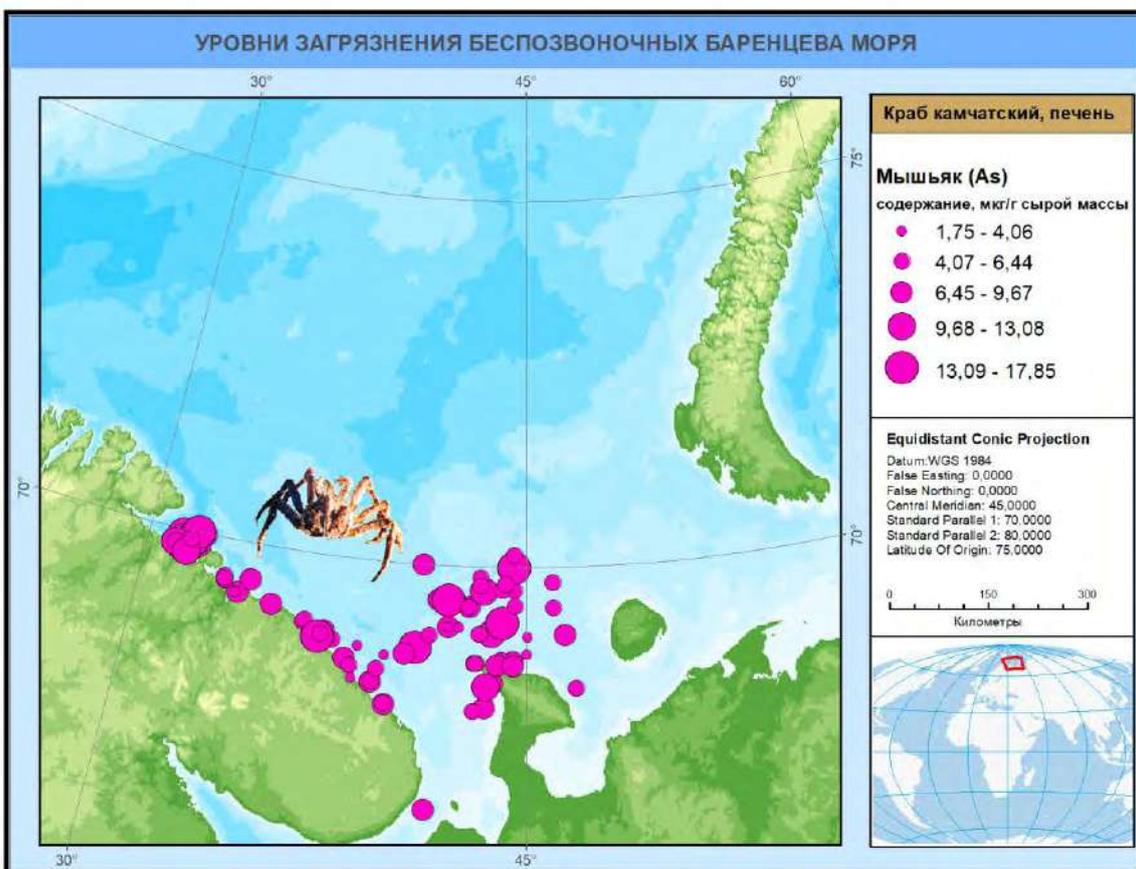
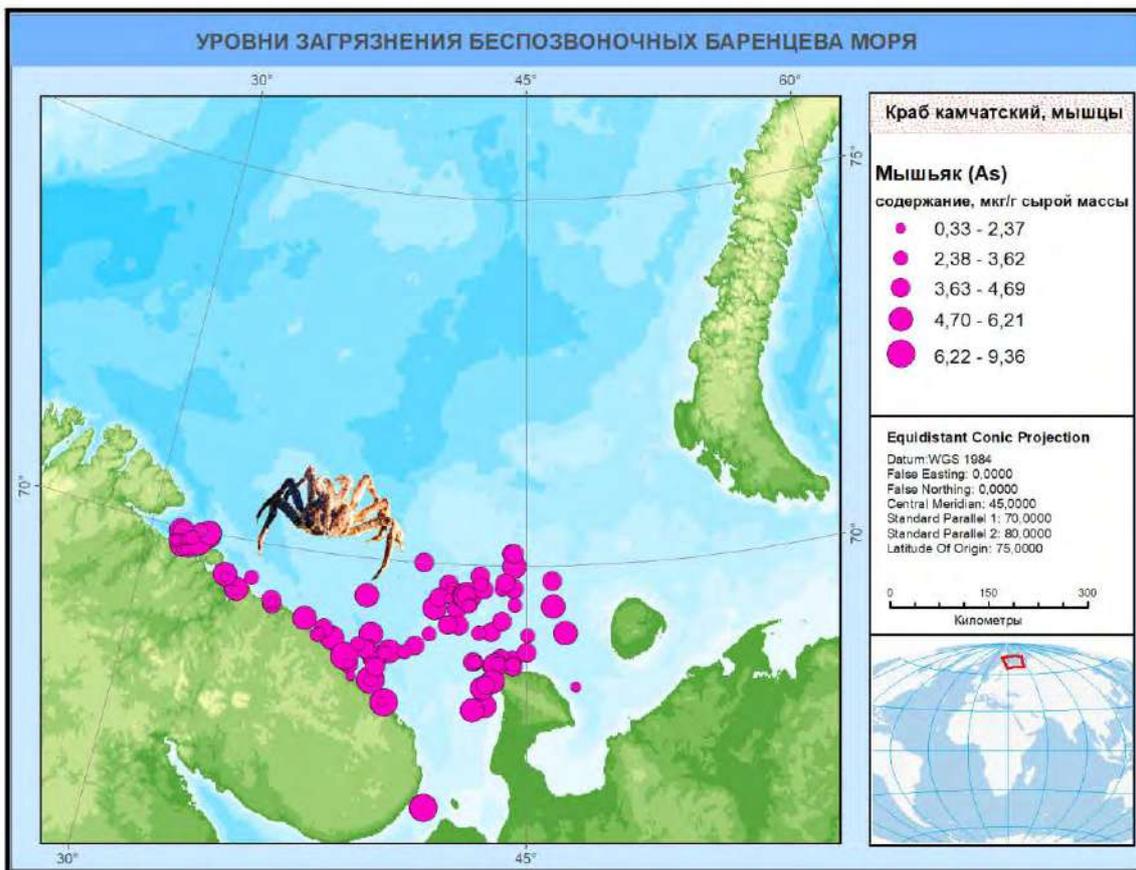


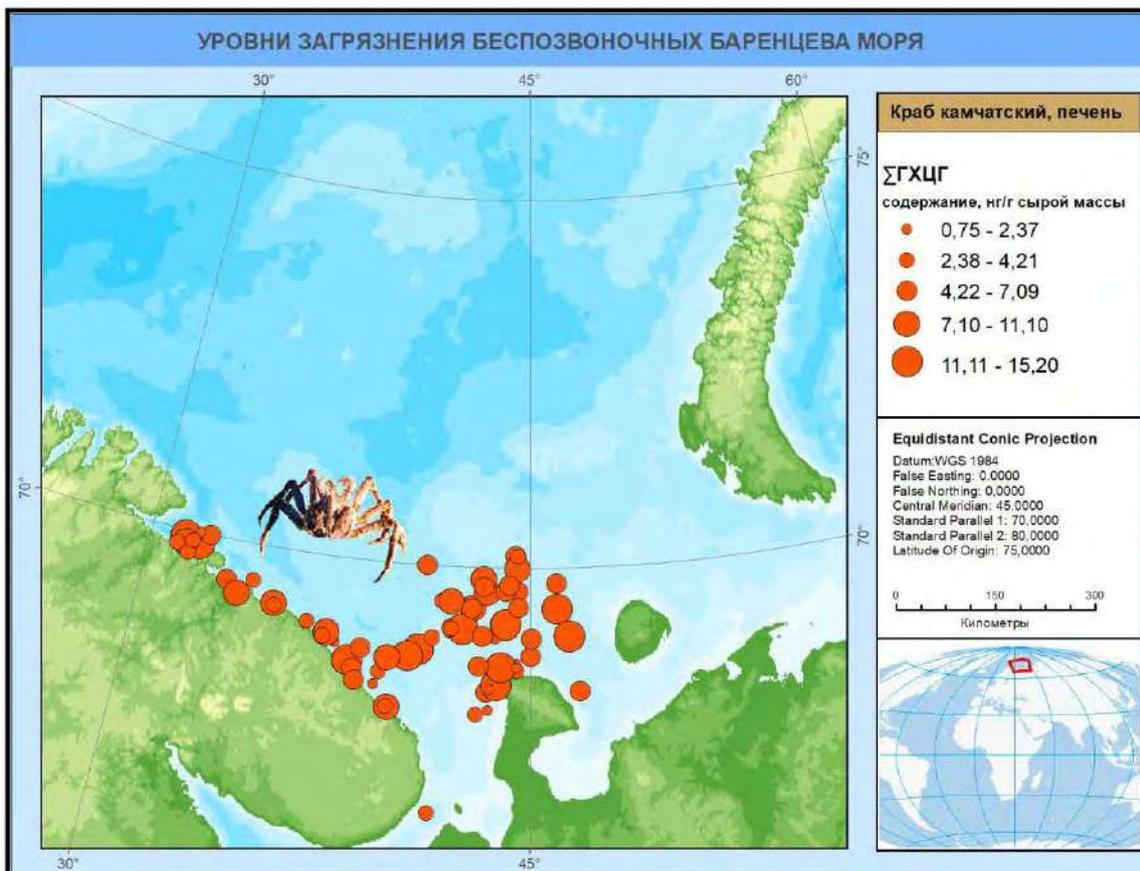
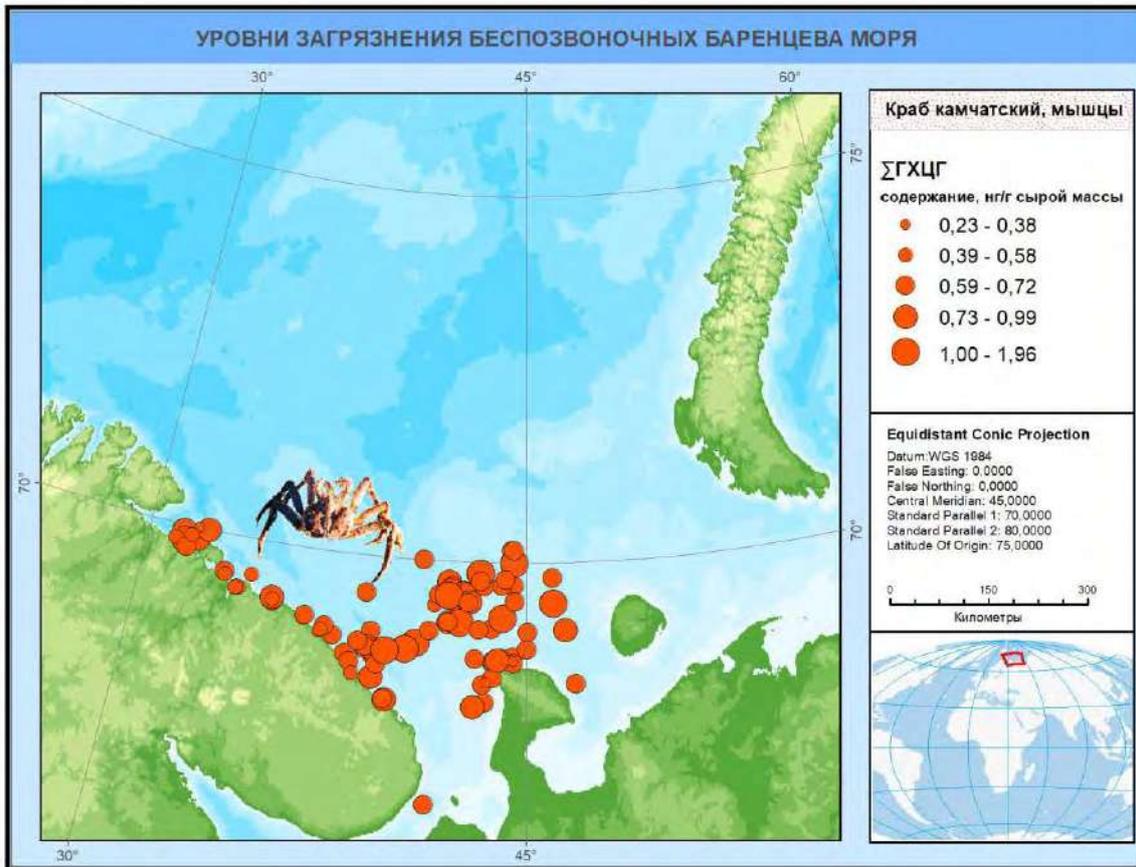


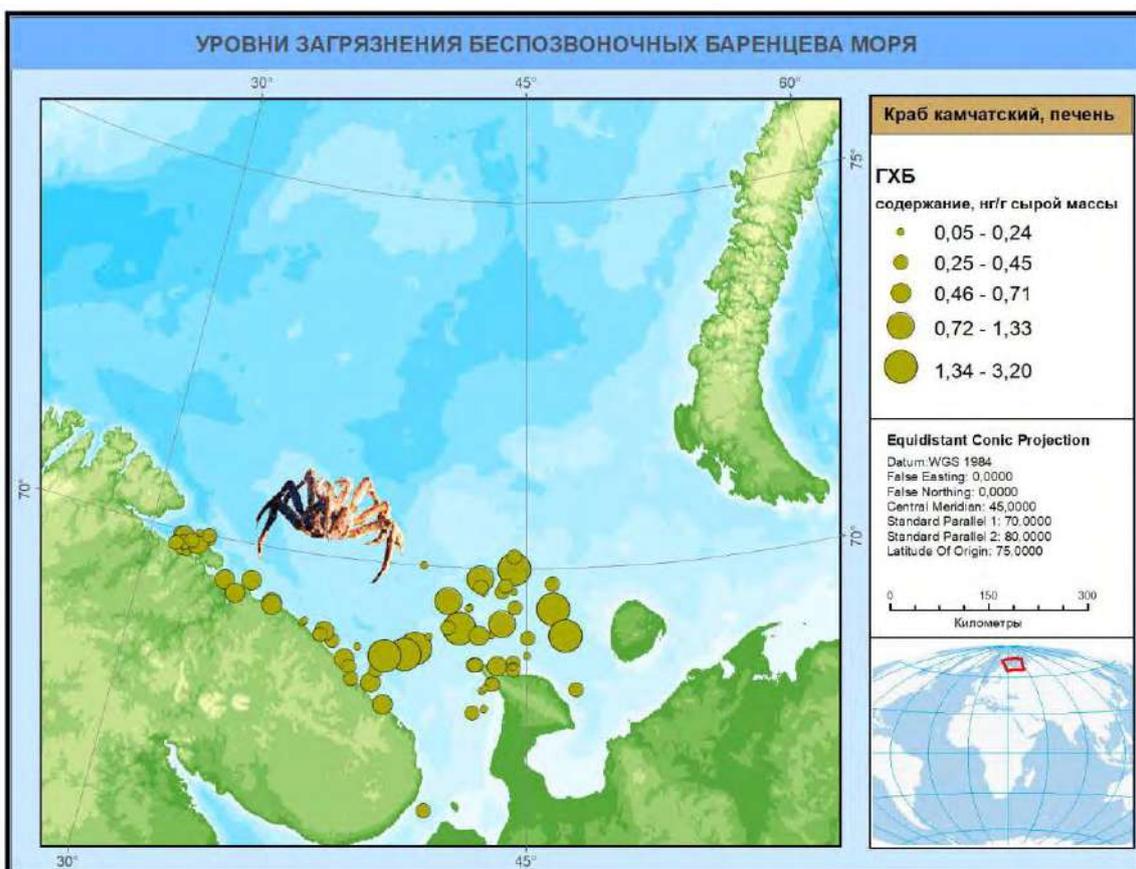
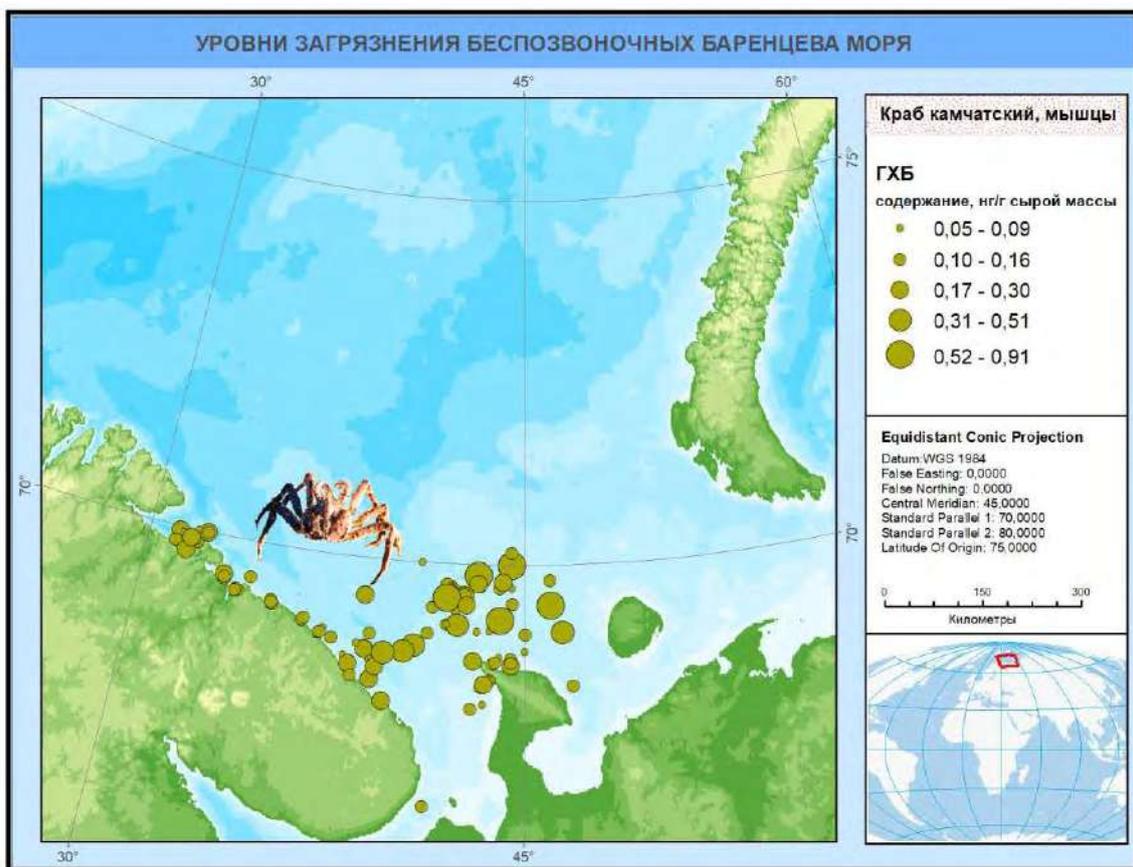


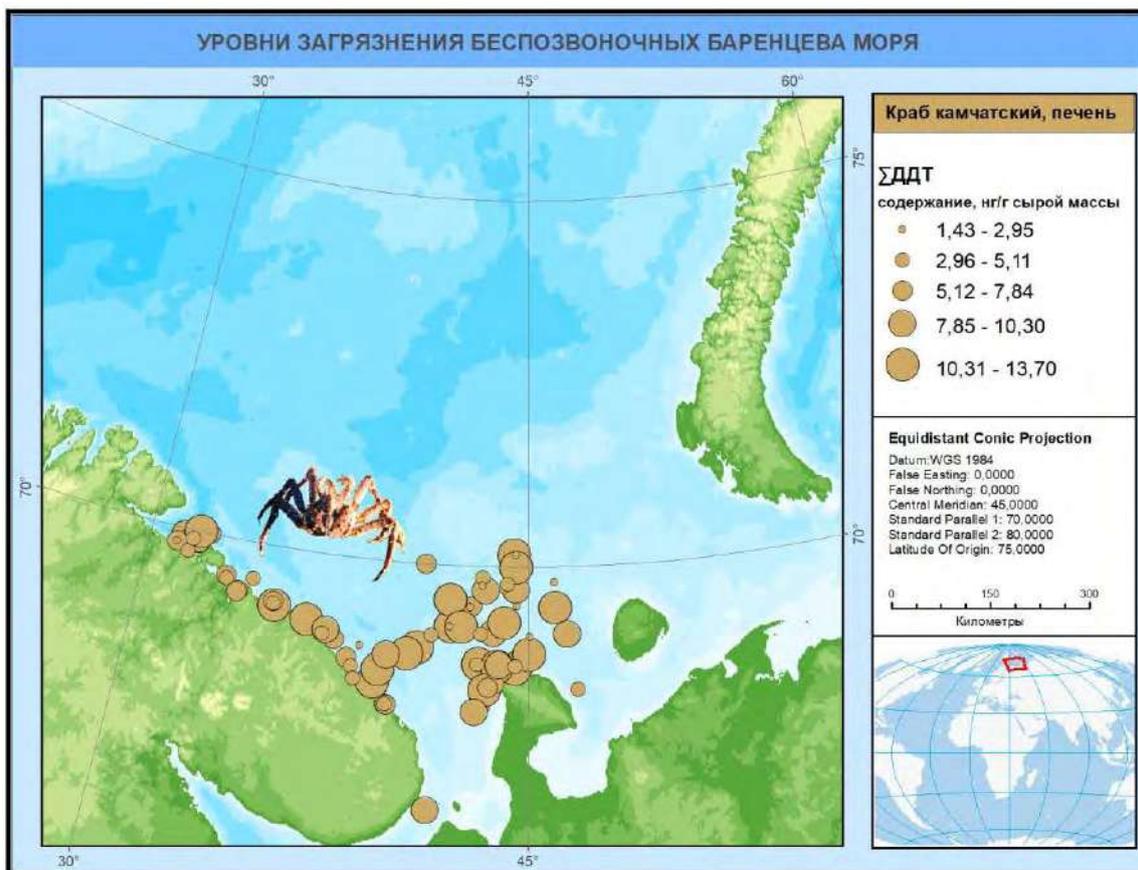
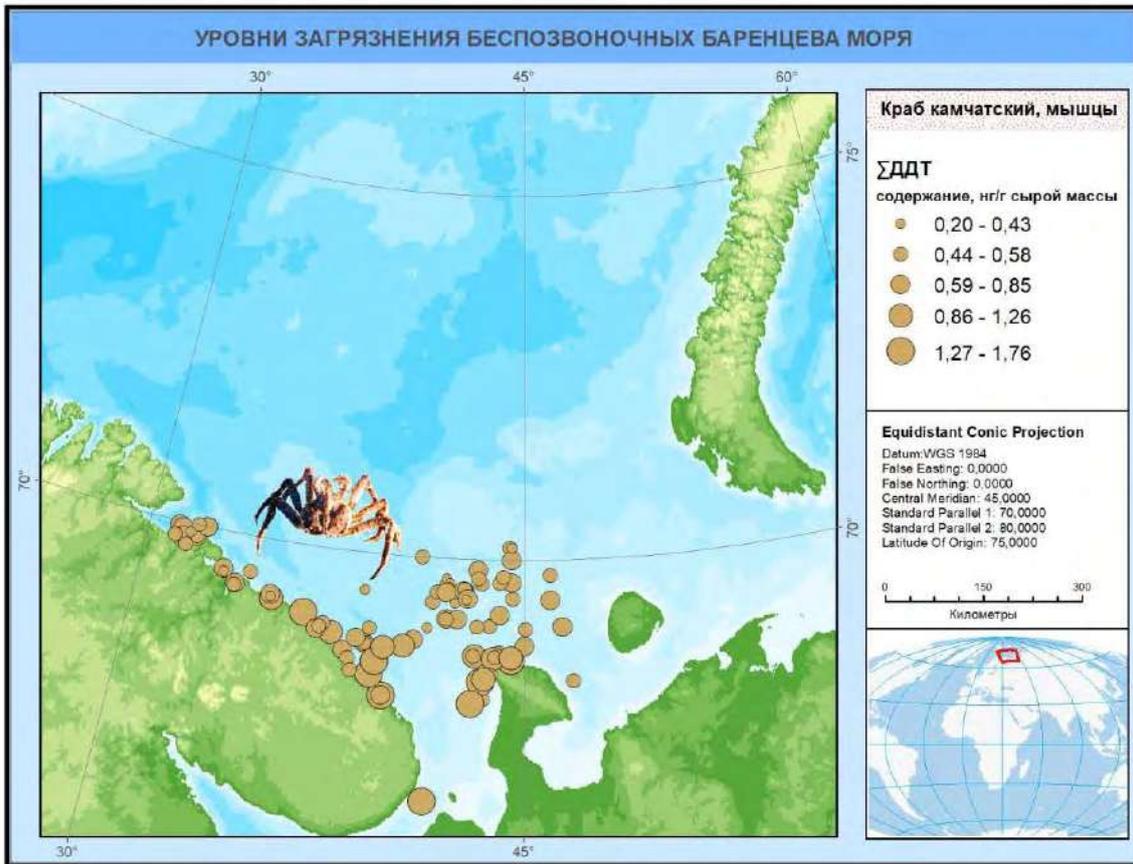


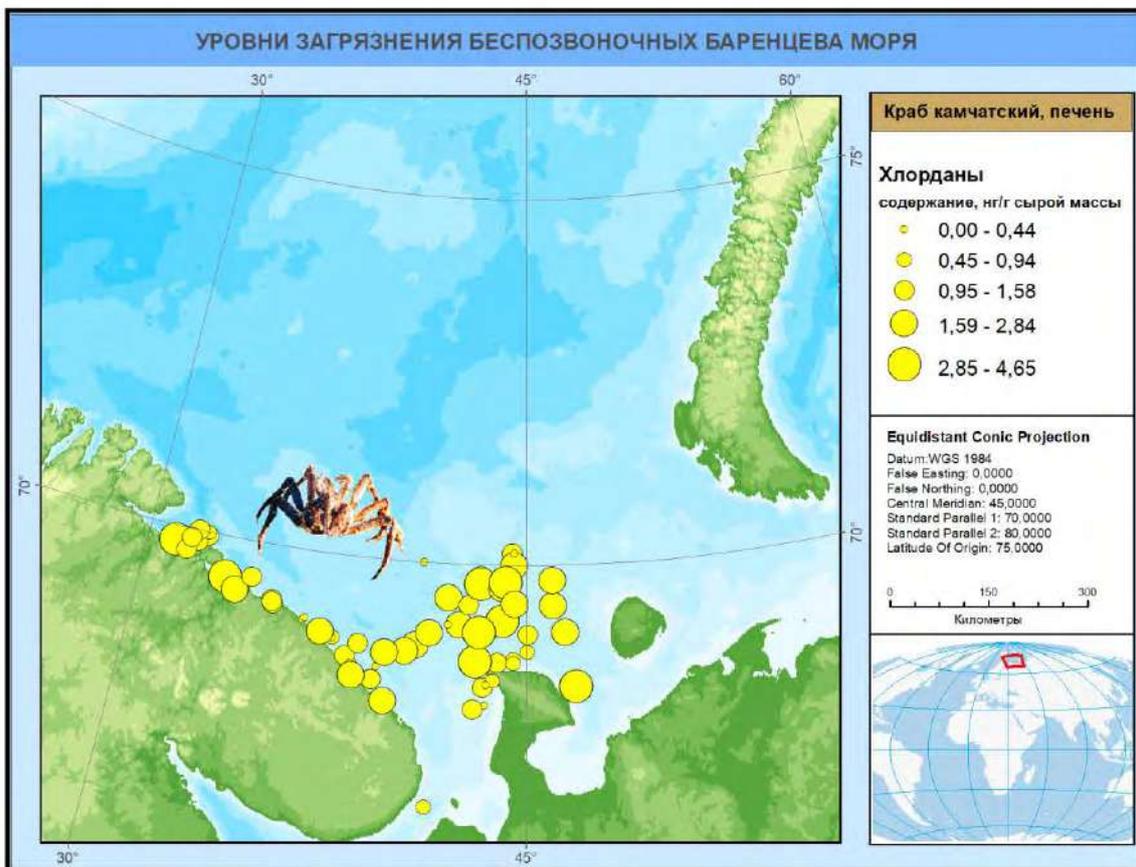
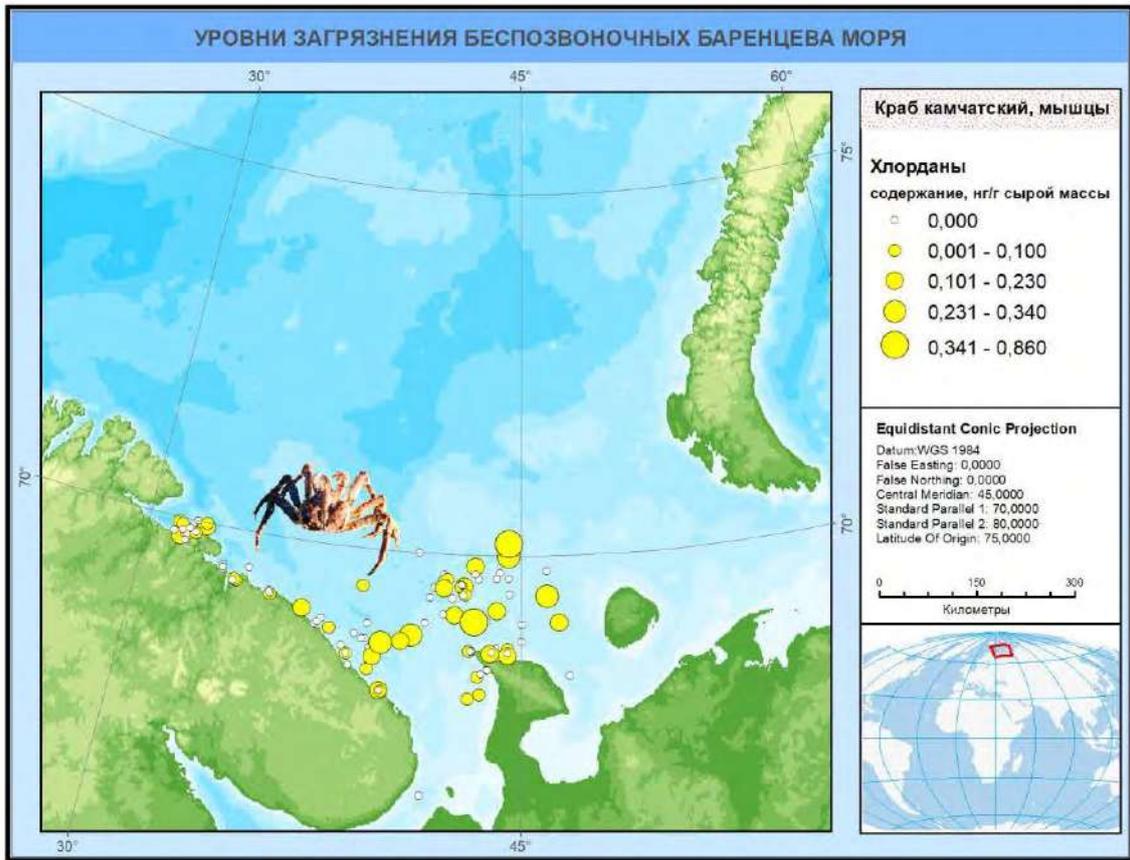


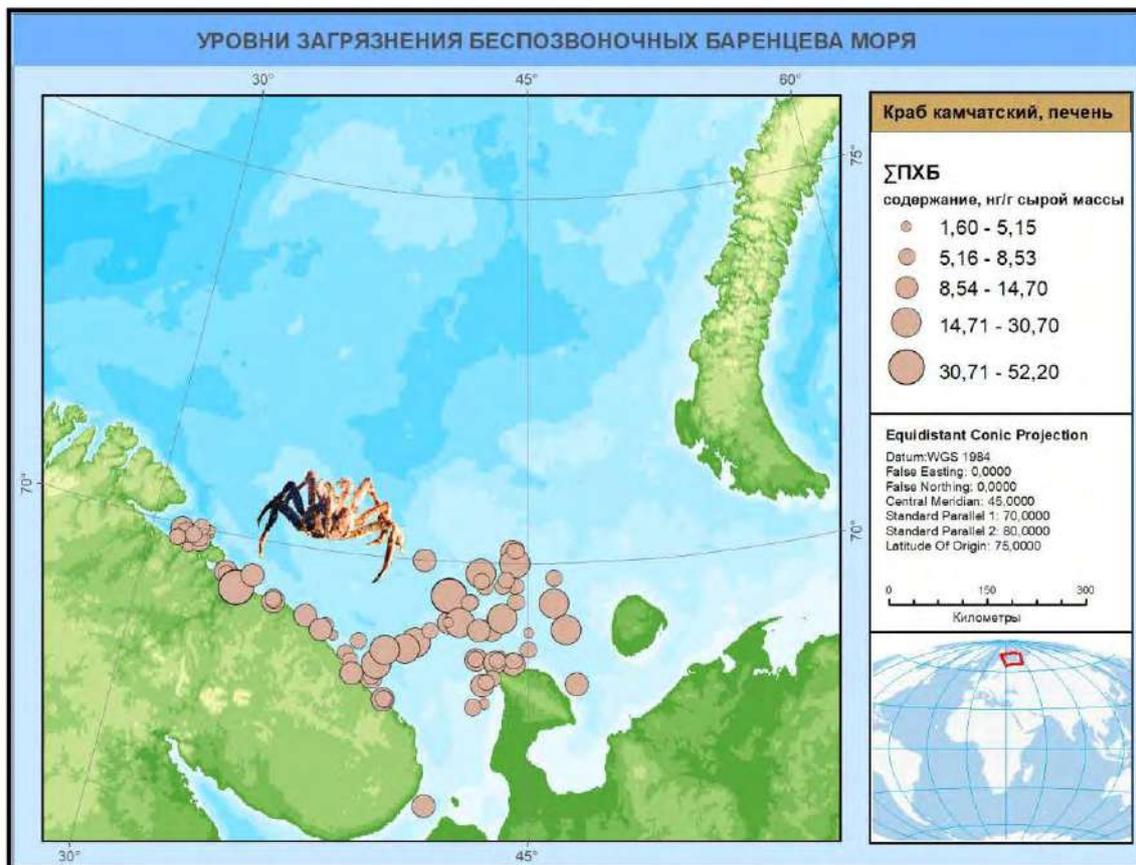
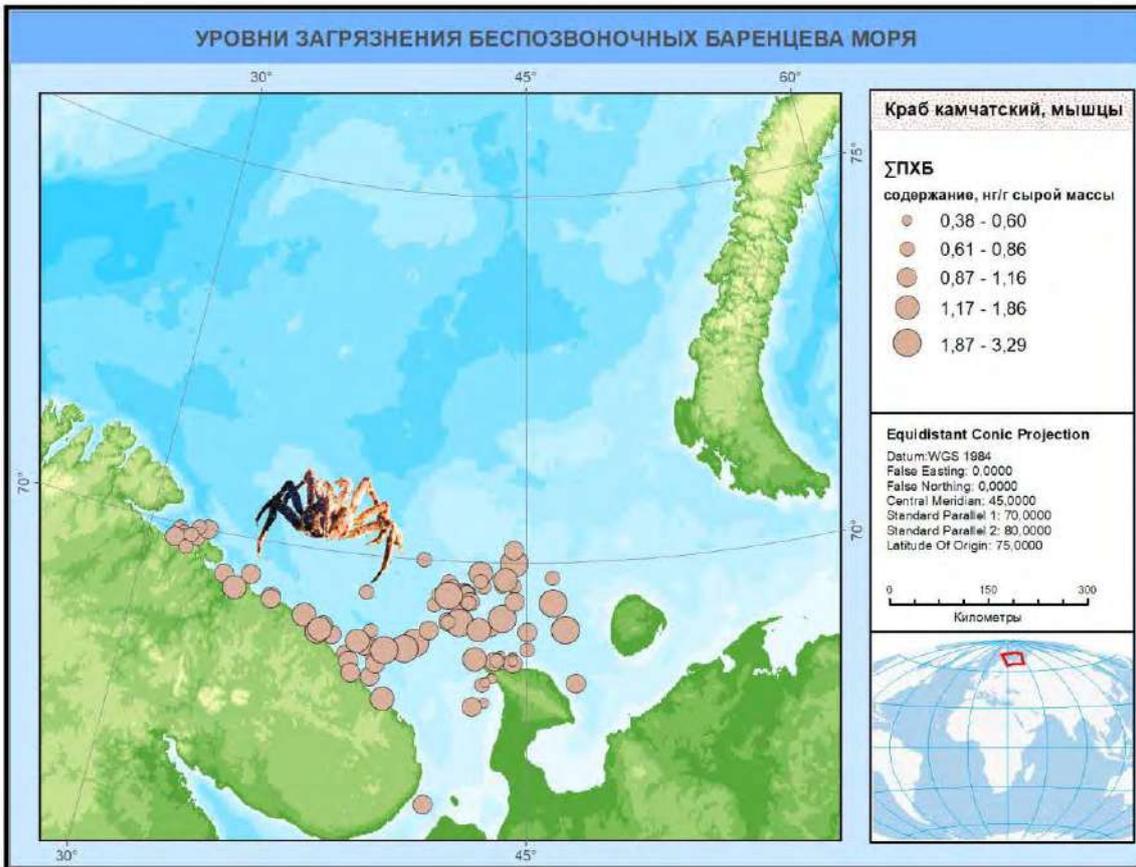












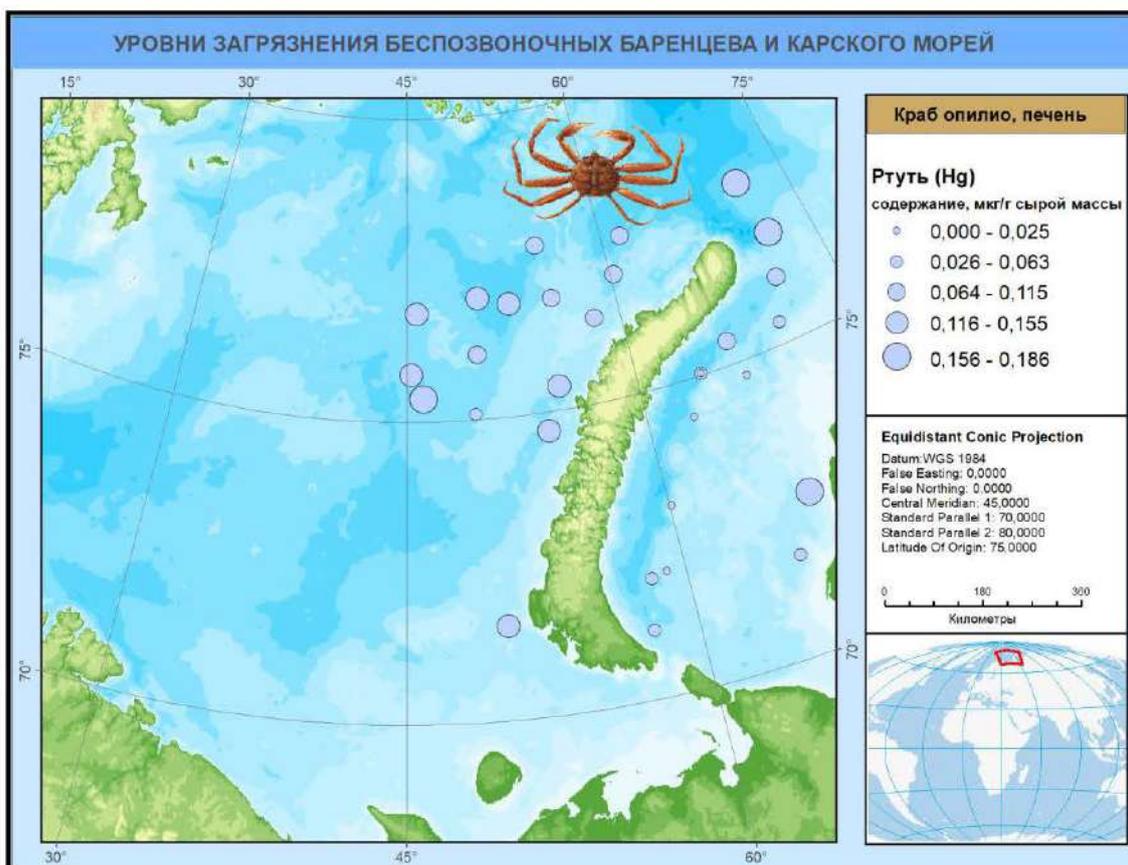
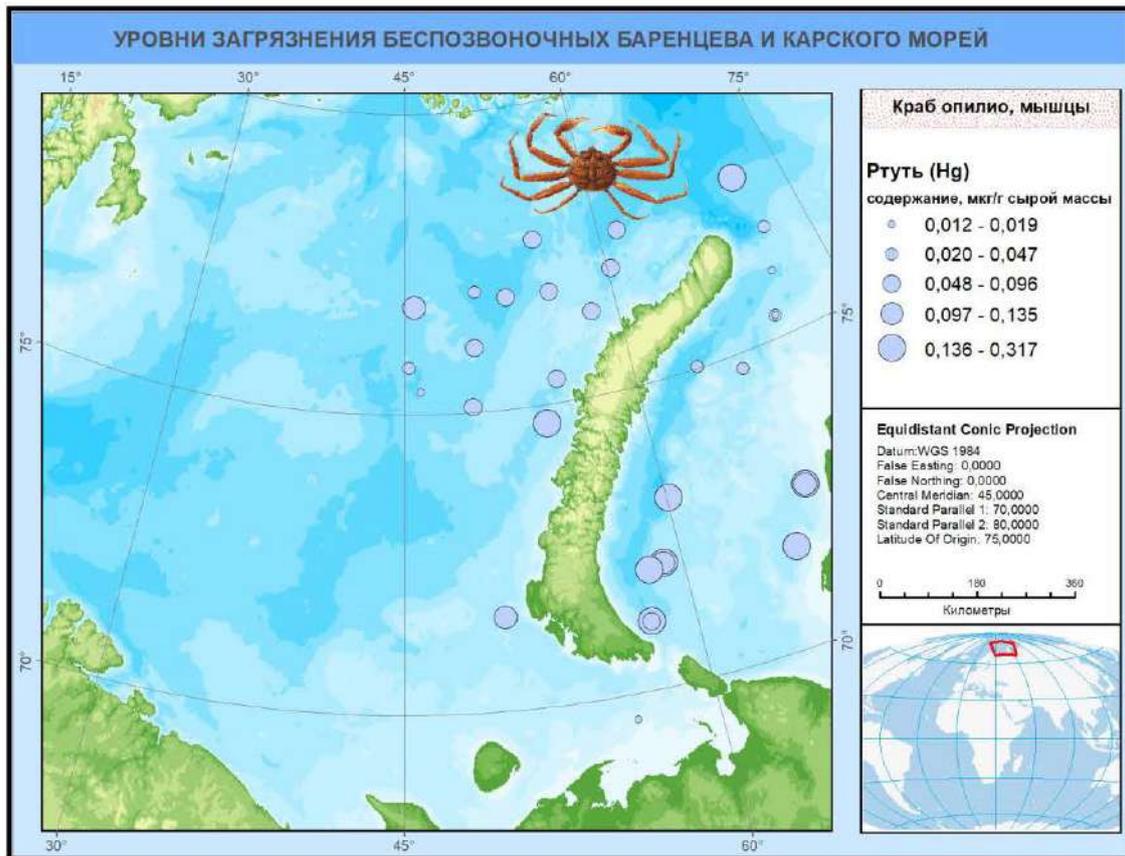
Краб-стригун опилио

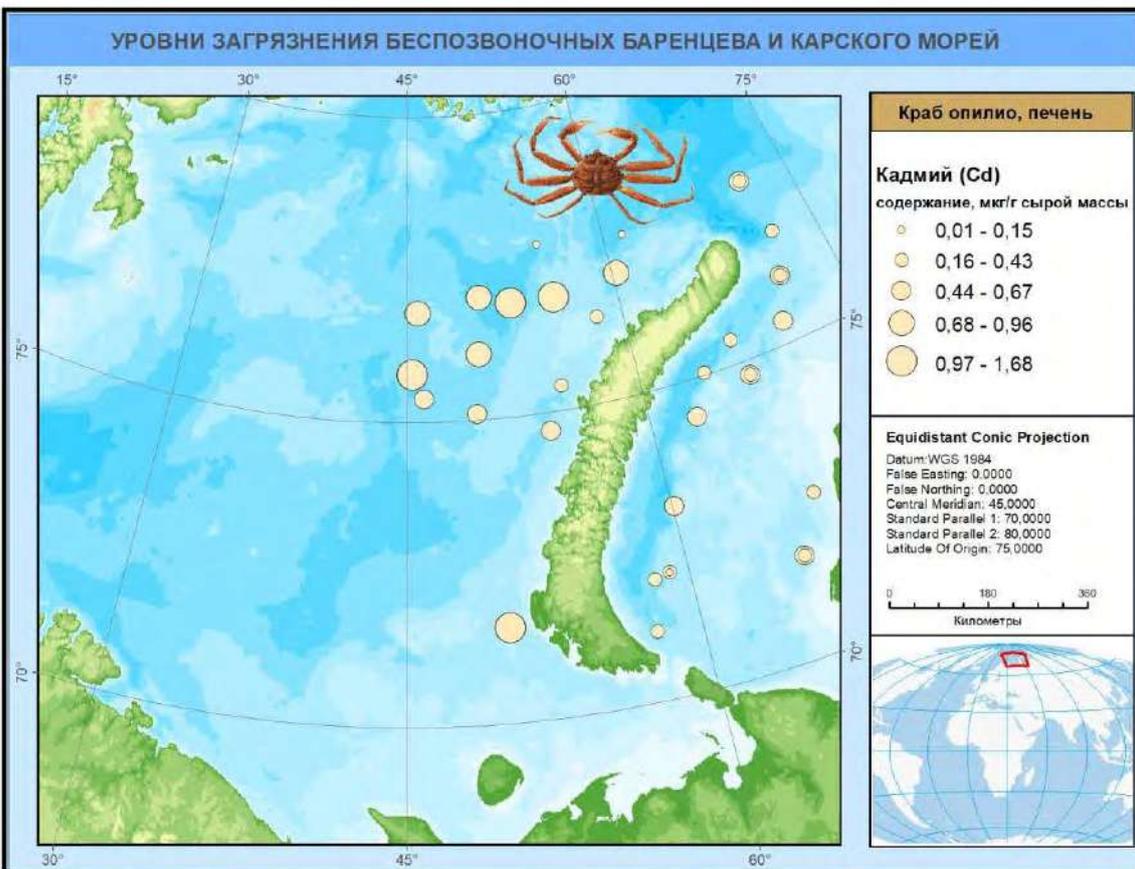
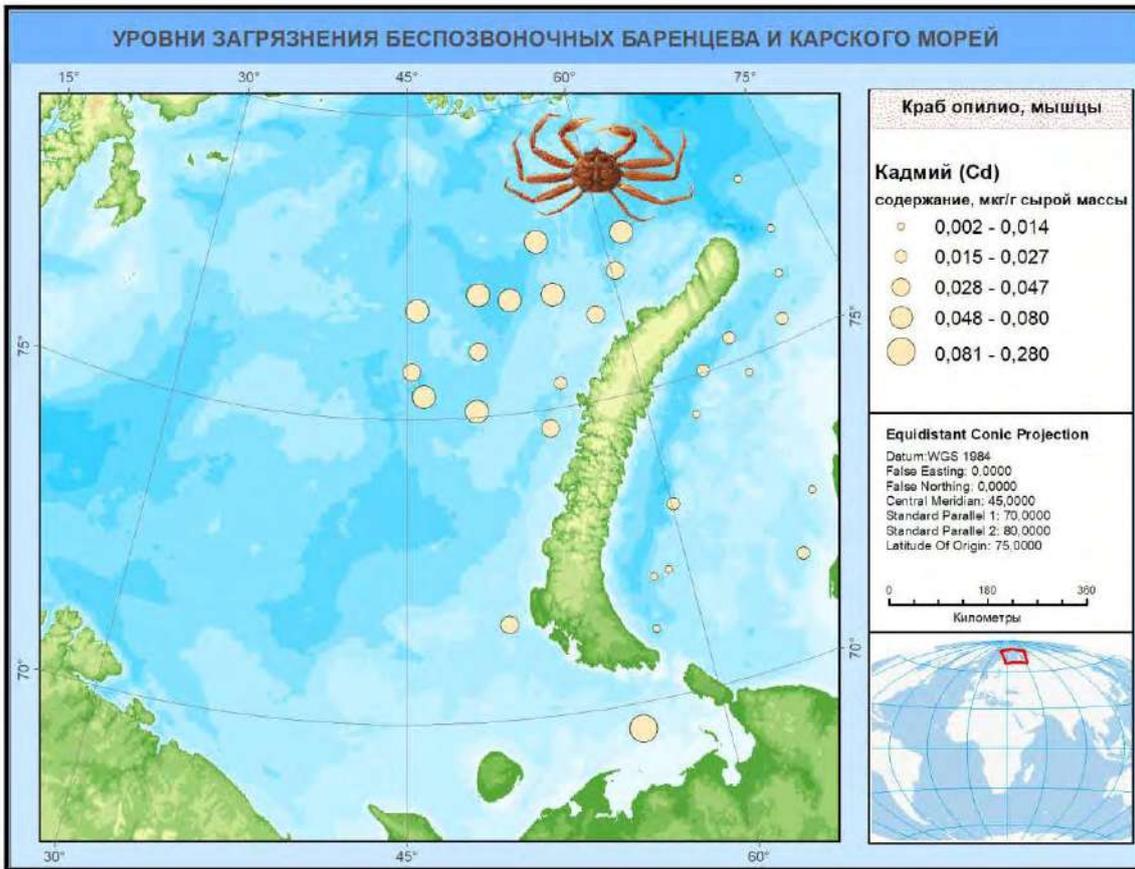
Краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*). Бореально-арктический вид ракообразных из отряда Десятиногие (Decapoda). Вид – интродуцент. В отличие от камчатского краба, процесс интродукции которого детально документирован, время появления краба-стригуна опилио в Баренцевом море неизвестно. Ширина карапакса достигает 166 мм. Отмечен на глубинах 54-371 м в основном на илистых и песчано-илистых грунтах. Температура воды в пределах обитания краба-стригуна в Баренцевом море колеблется от $-1,6$ до $+5,9$ °С, соленость – от 34,5 до 35,1 (Краб-стригун опилио..., 2016). Спектр пищевых объектов включает в себя представителей практически всех основных групп баренцевоморского бентоса. Молодь и самки предпочитают мелководные районы, где преобладают сообщества с доминированием двустворчатых моллюсков, самцы обитают глубже на склонах и во впадинах, где на илистых грунтах наиболее доступной пищей являются полихеты и ракообразные (Характеристика кормовой базы..., 2018). Промысловый вид. Российский промысел краба-стригуна опилио в открытой части Баренцева моря начался в декабре 2013 г. и продолжался до 2016 г. В 2017-2020 гг. в связи с изменением регулирования промысла на континентальном шельфе в открытой части Баренцева моря добычу краба-стригуна в этом районе не осуществляли. В апреле 2016 г. был начат его промысел в ИЭЗ России Баренцева моря. С 2017 по 2019 г. в Баренцевом море в ИЭЗ РФ его успешно ловили со среднесуточной производительностью от 9,2 до 11,4 т. В конце 2021 г. промысловая биомасса оценивалась на уровне 467 тыс. т (Состояние сырьевых биологических..., 2021, 2022).

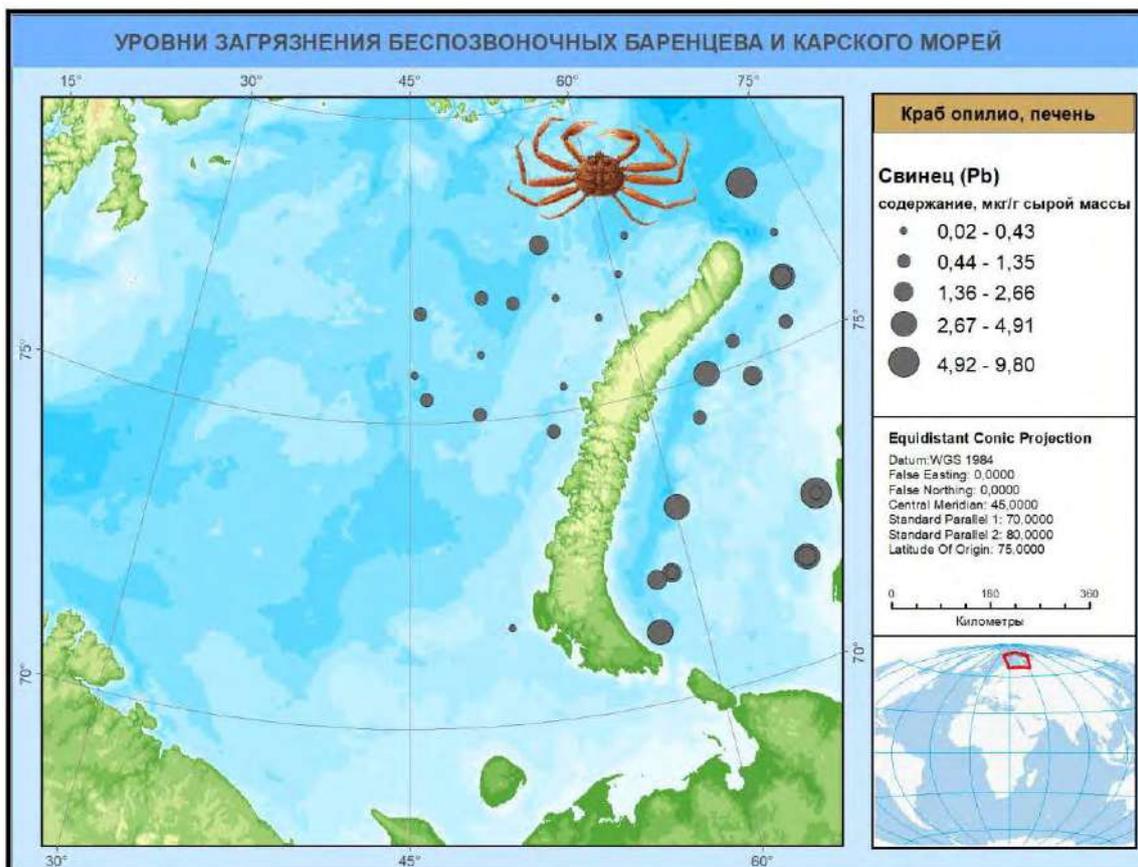
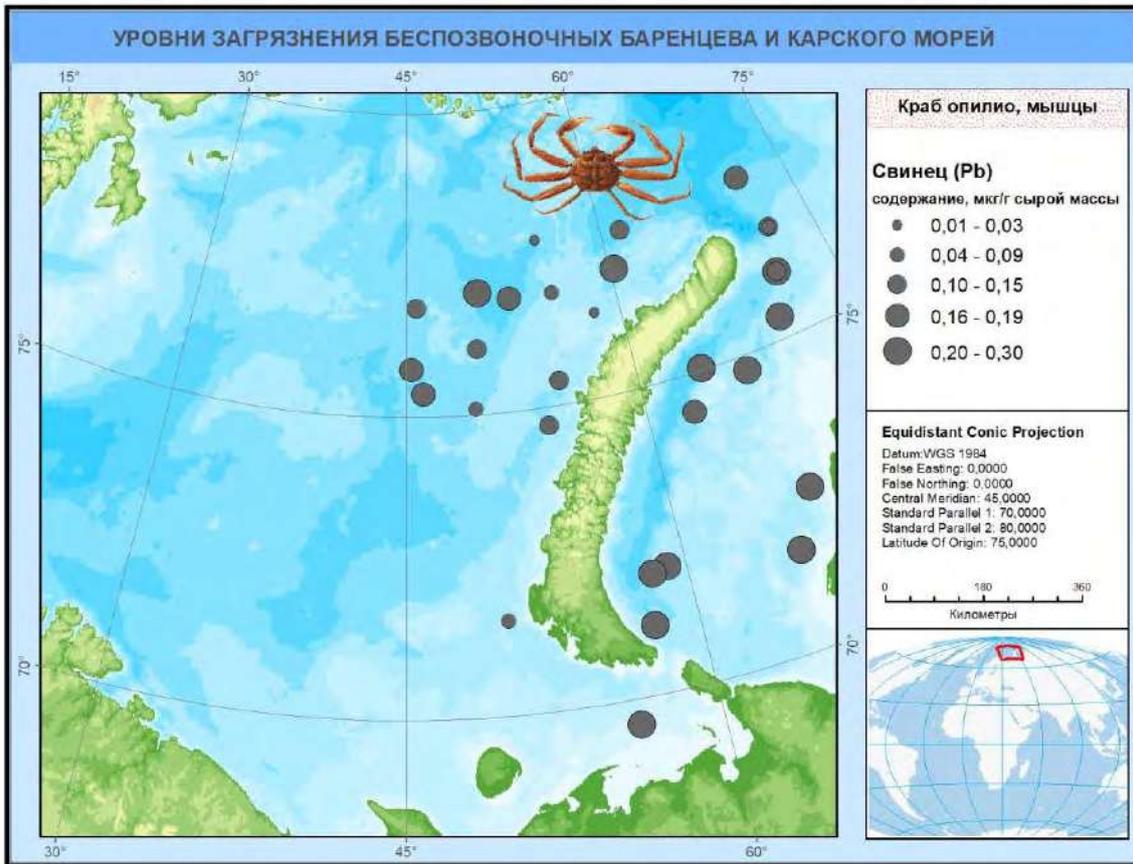
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах краба-стригуна опилио Баренцева и Карского морей составляет $0,086 \pm 0,069$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,033 \pm 0,046$ мкг/г, Pb – $0,20 \pm 0,11$ мкг/г, Cu – $4,38 \pm 2,47$ мкг/г, Zn – $21,22 \pm 6,40$ мкг/г, Ni – $0,08 \pm 0,06$ мкг/г, Cr – $0,08 \pm 0,14$ мкг/г, Co – $0,12 \pm 0,06$ мкг/г и As – $4,18 \pm 1,93$ мкг/г (N=41); Σ ГХЦГ – $0,63 \pm 0,13$ нг/г, ГХБ – $0,16 \pm 0,06$ нг/г, Σ ДДТ – $0,50 \pm 0,12$ нг/г, Σ ПХБ – $0,68 \pm 0,21$ нг/г и суммы хлорданов – $0,08 \pm 0,04$ нг/г сырой массы (N=28).

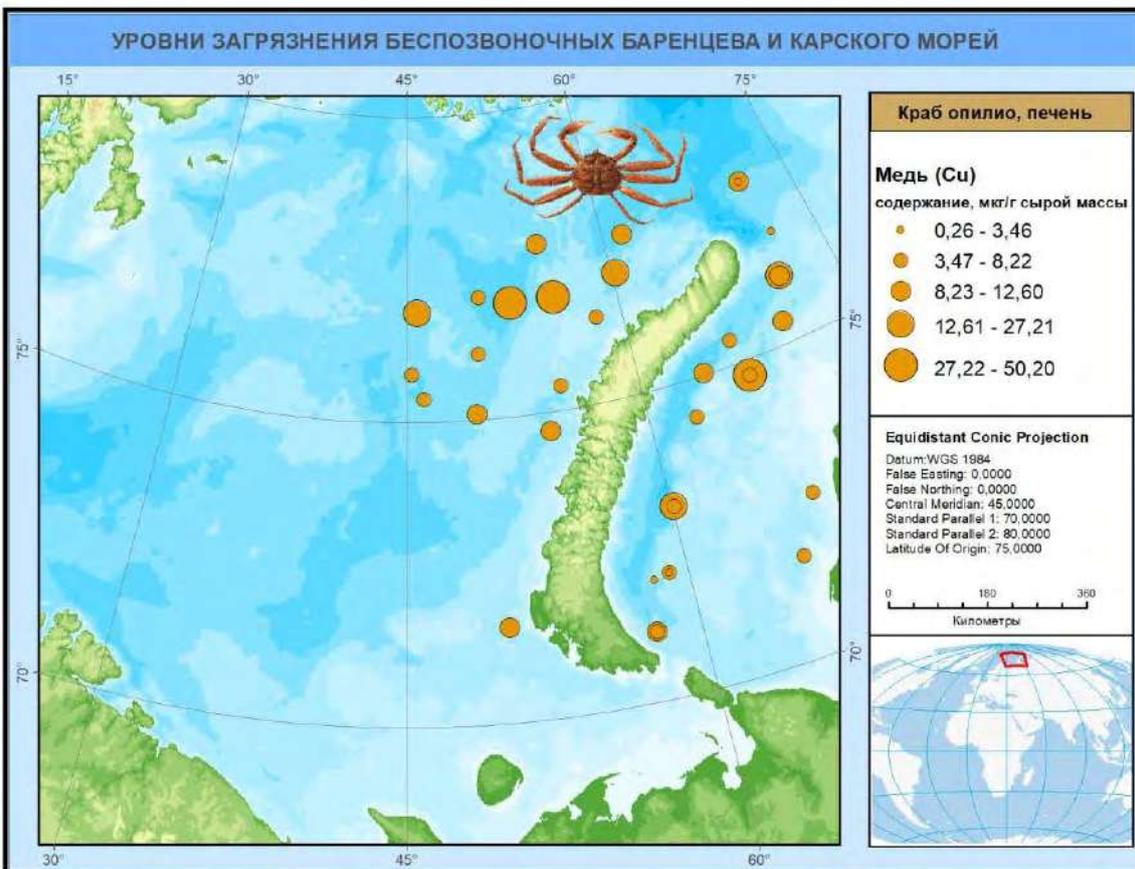
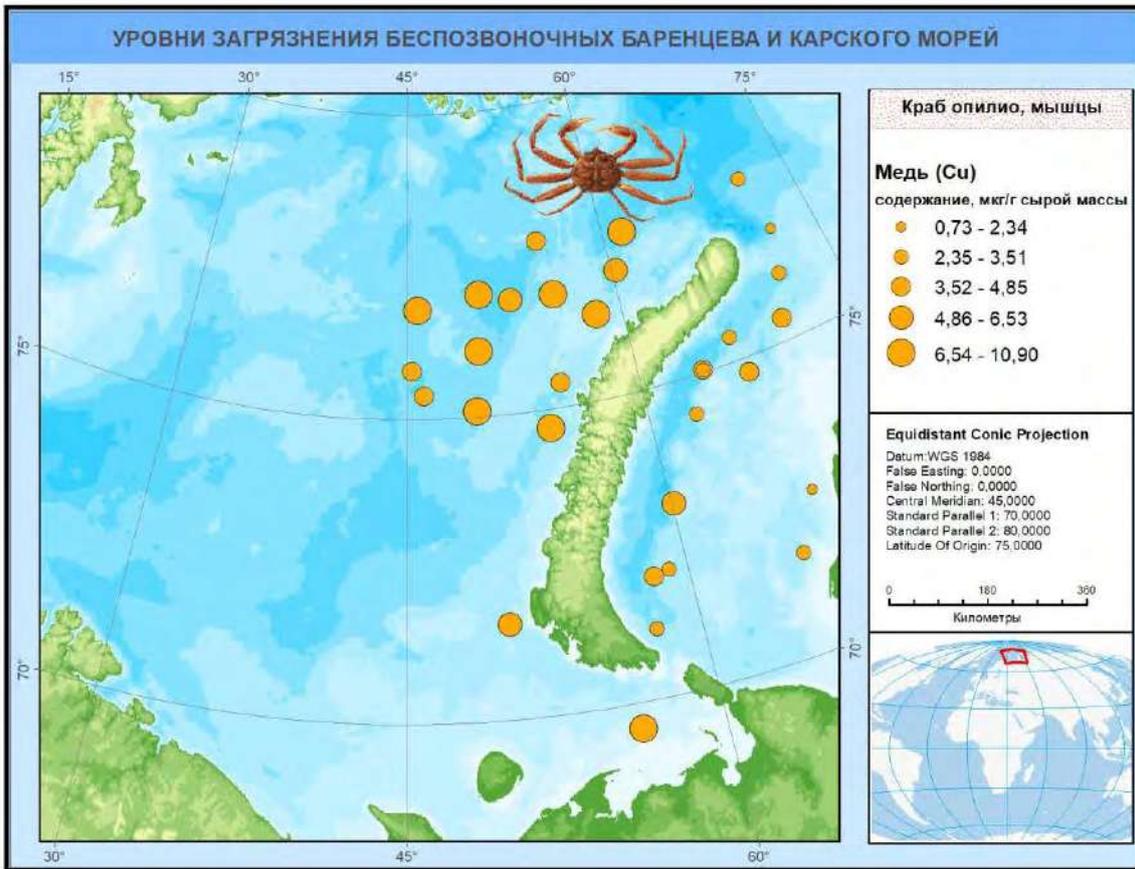


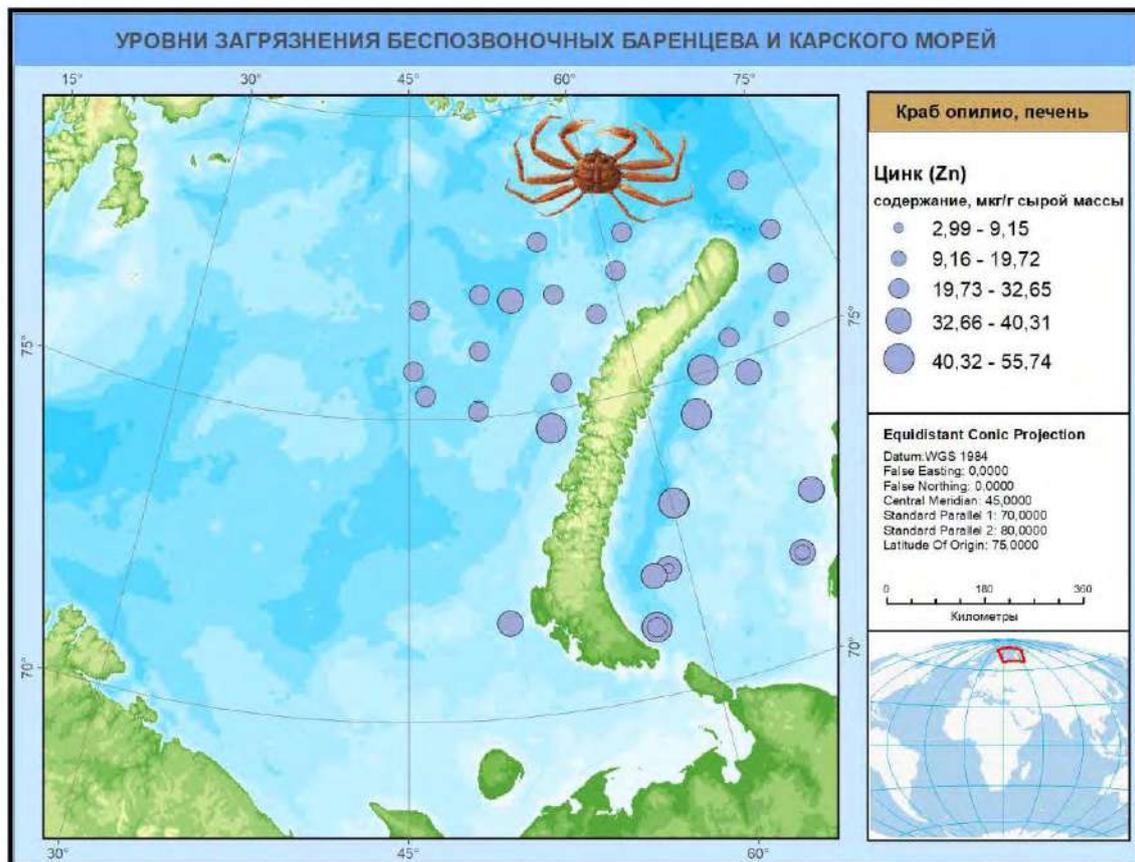
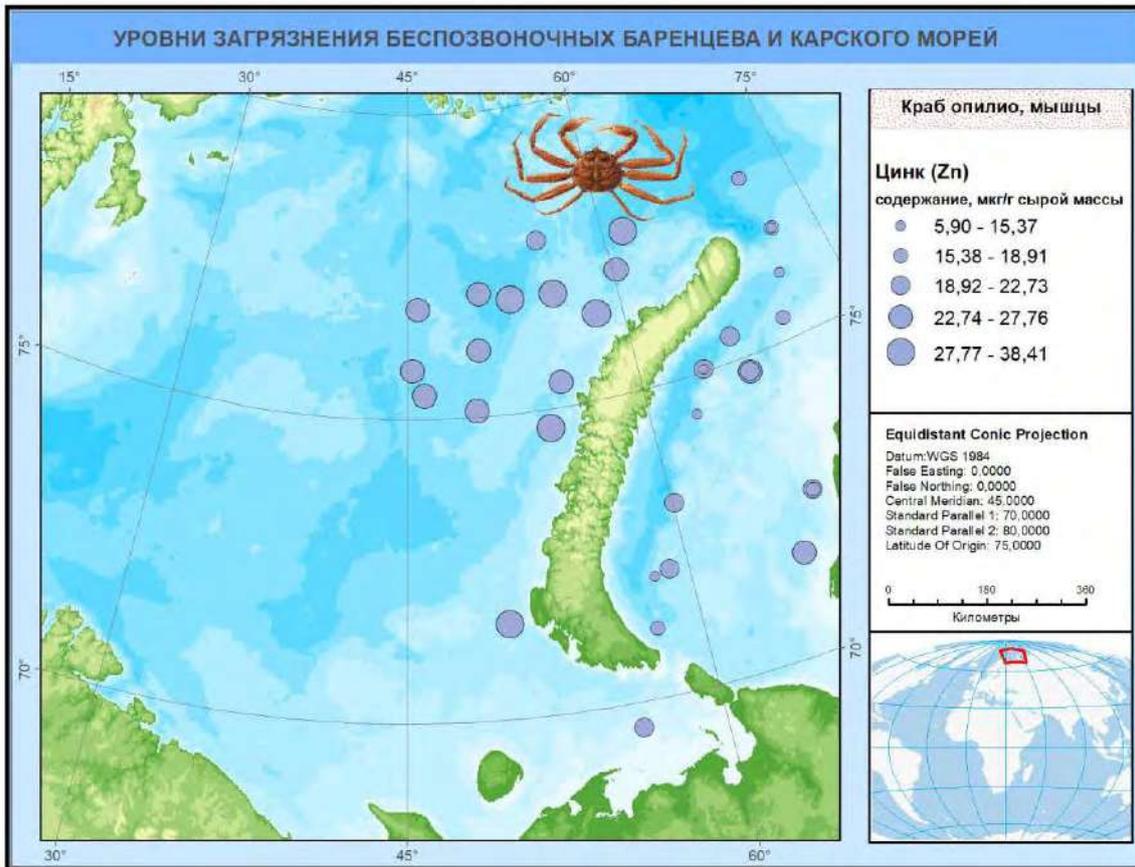
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в крабе-стригуне опилио в 2019-2022 гг. (мышцы и гепатопанкреас).

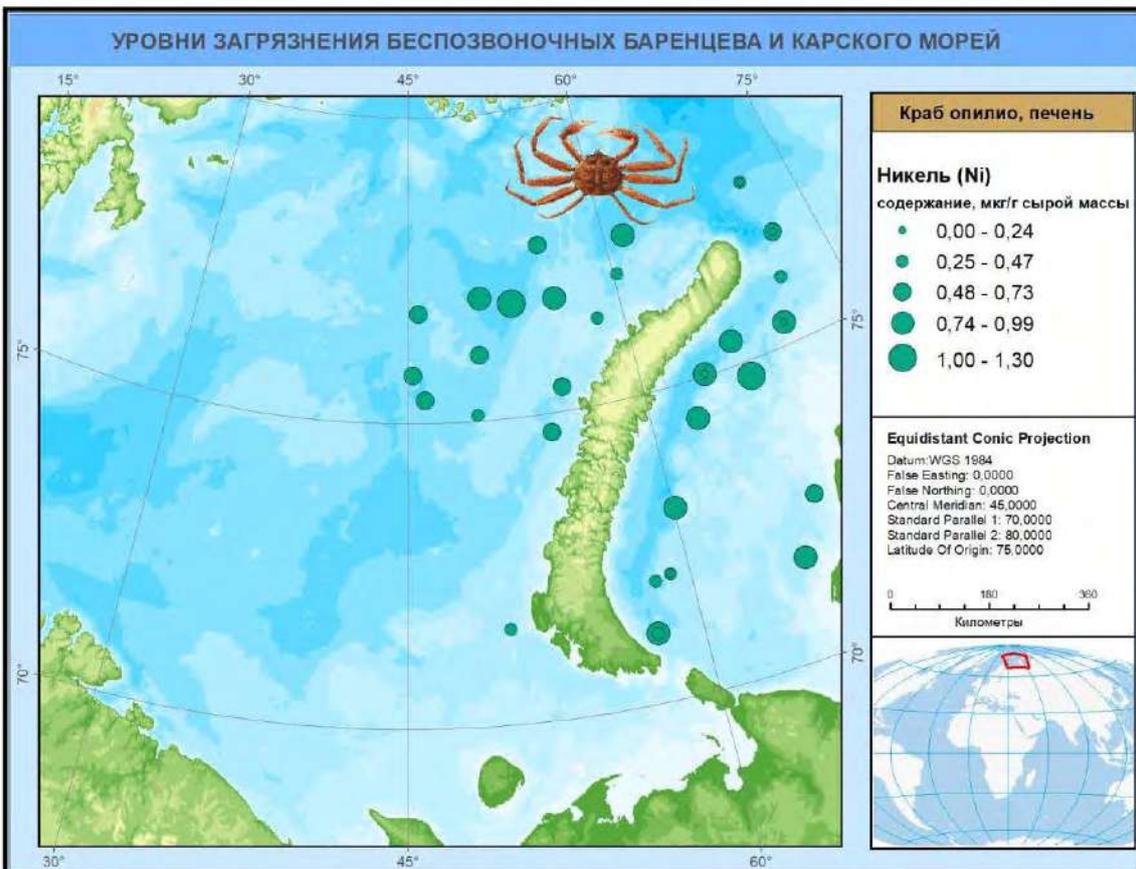
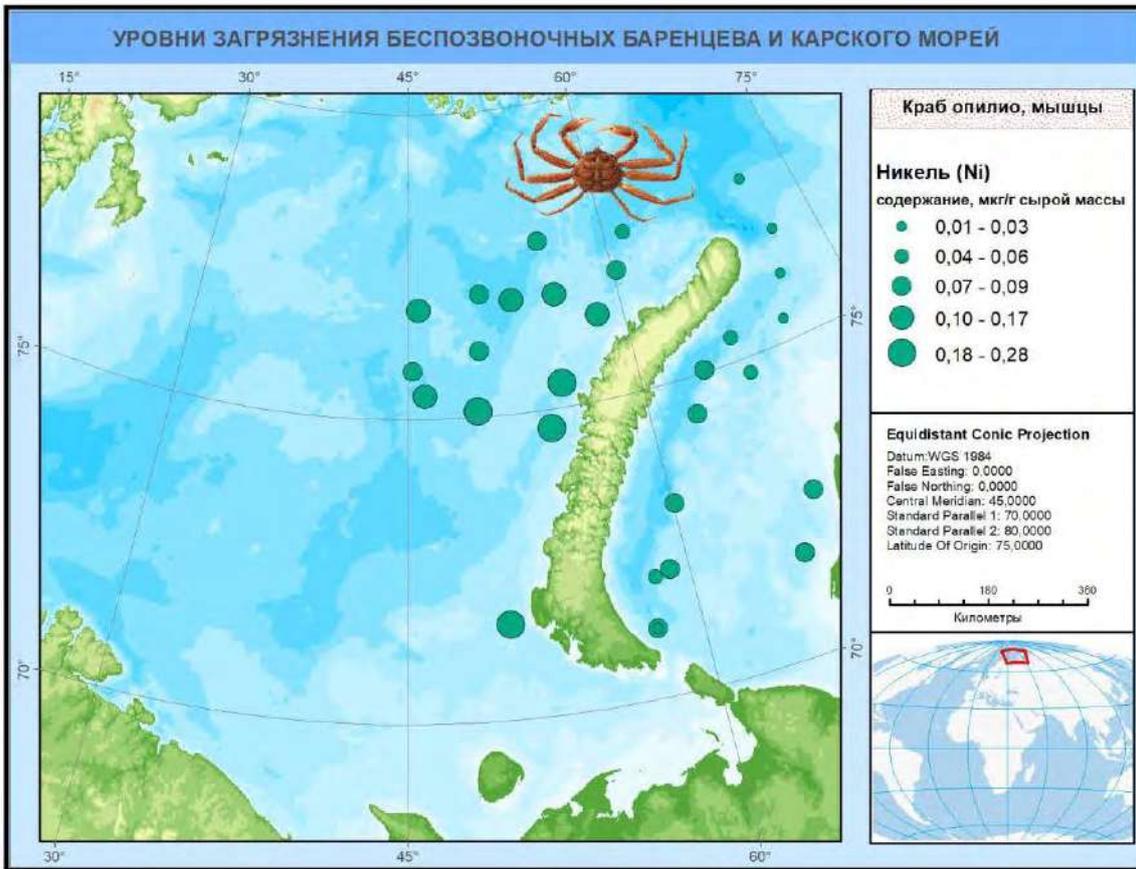


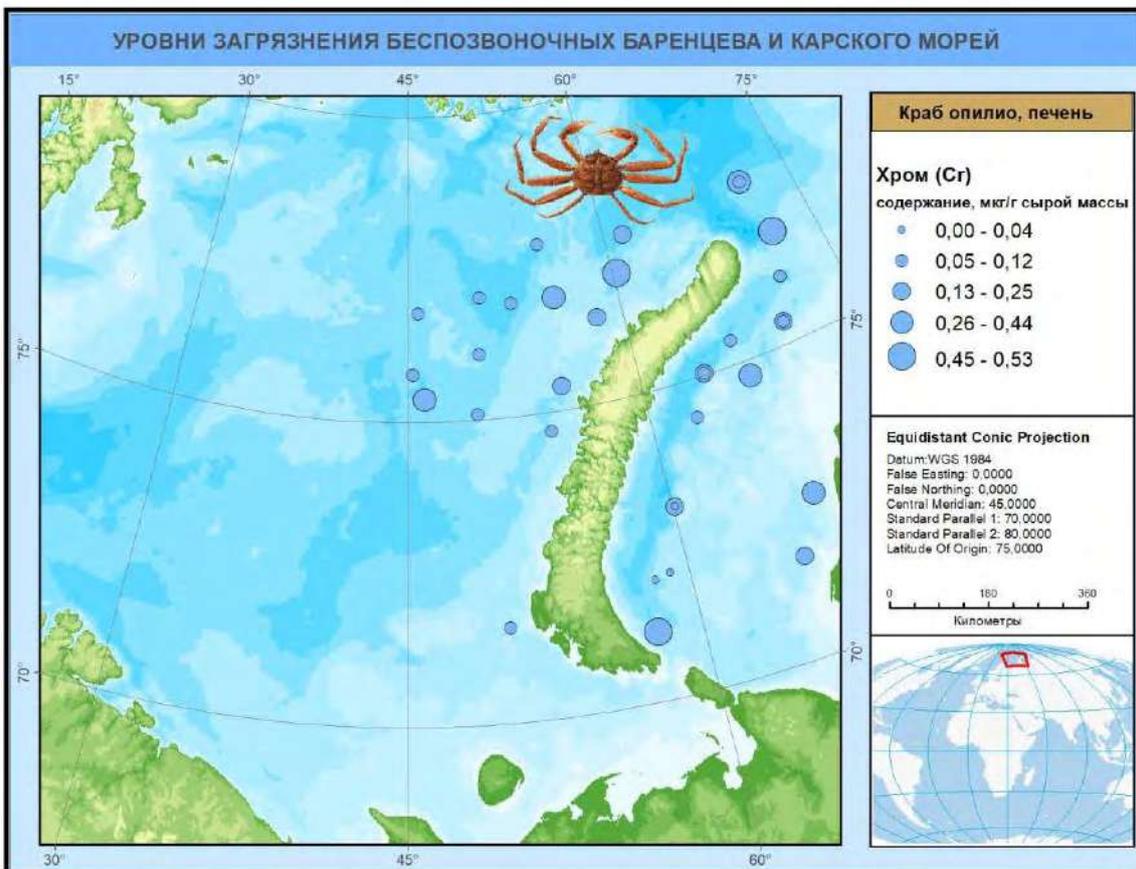
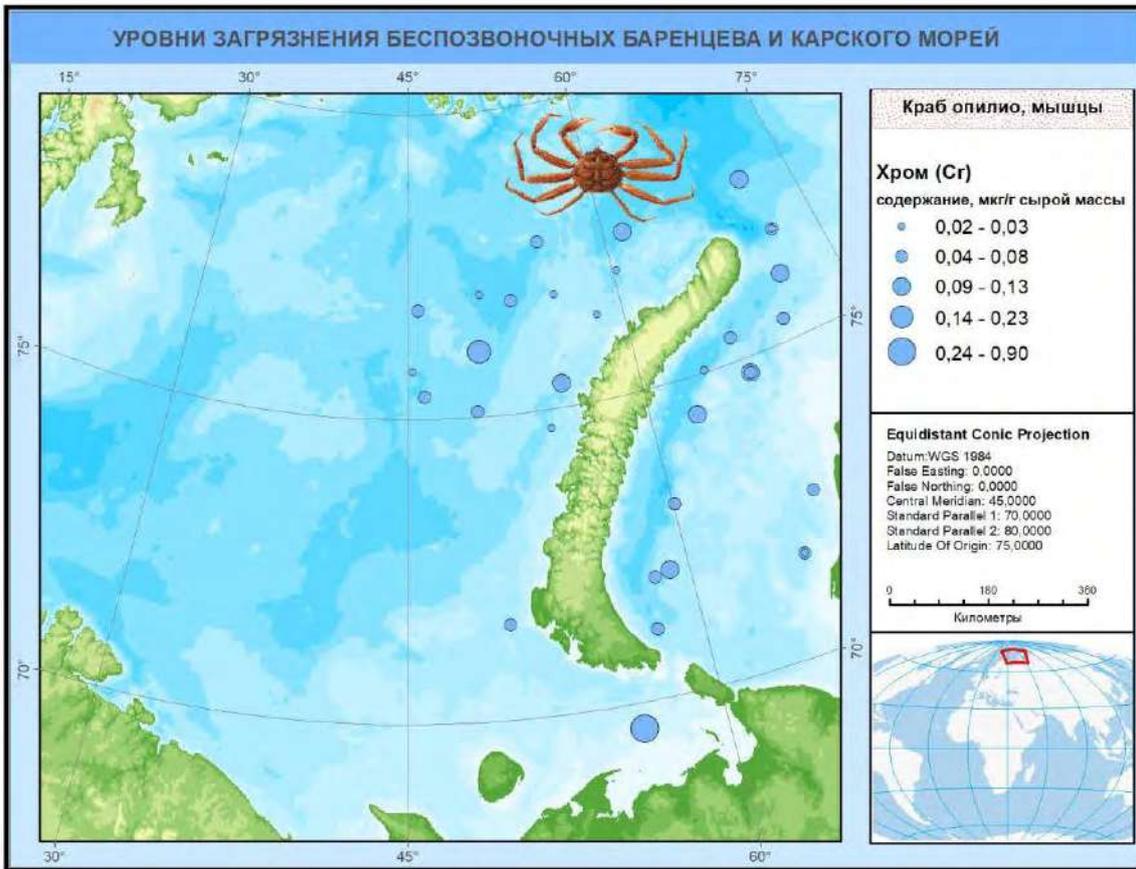


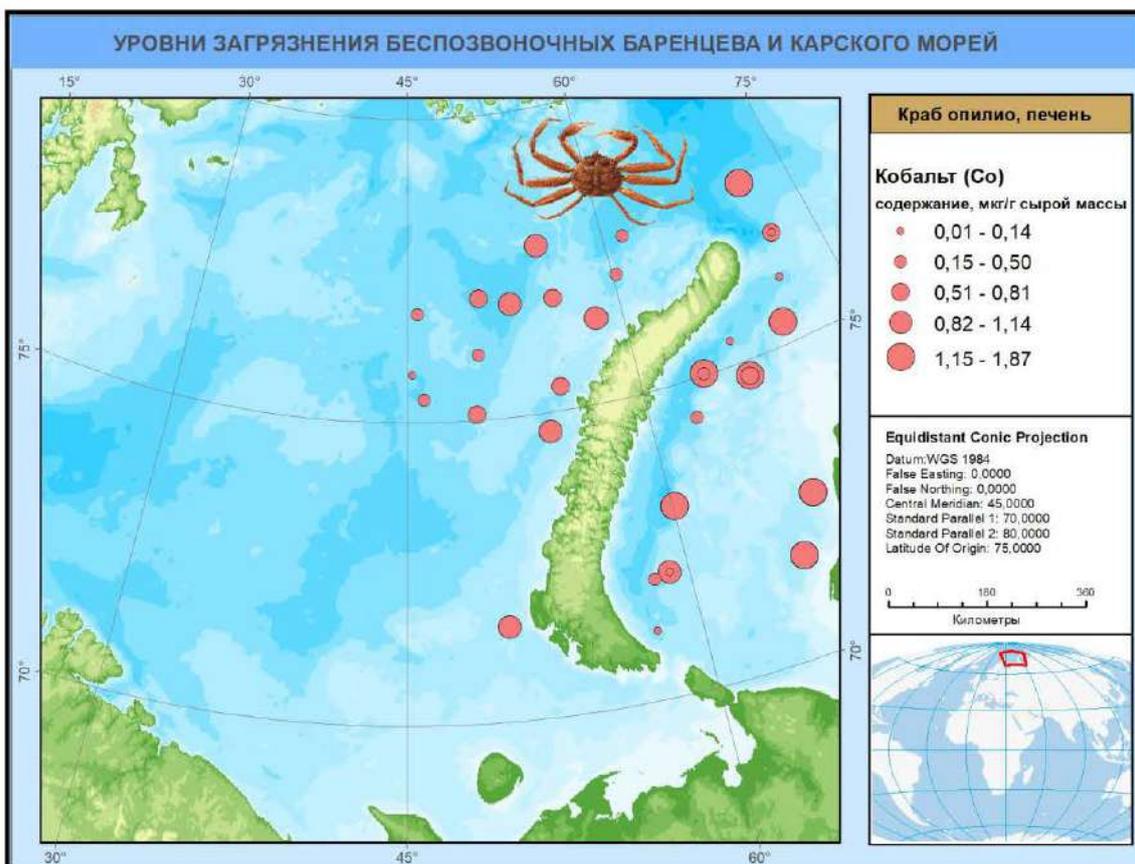
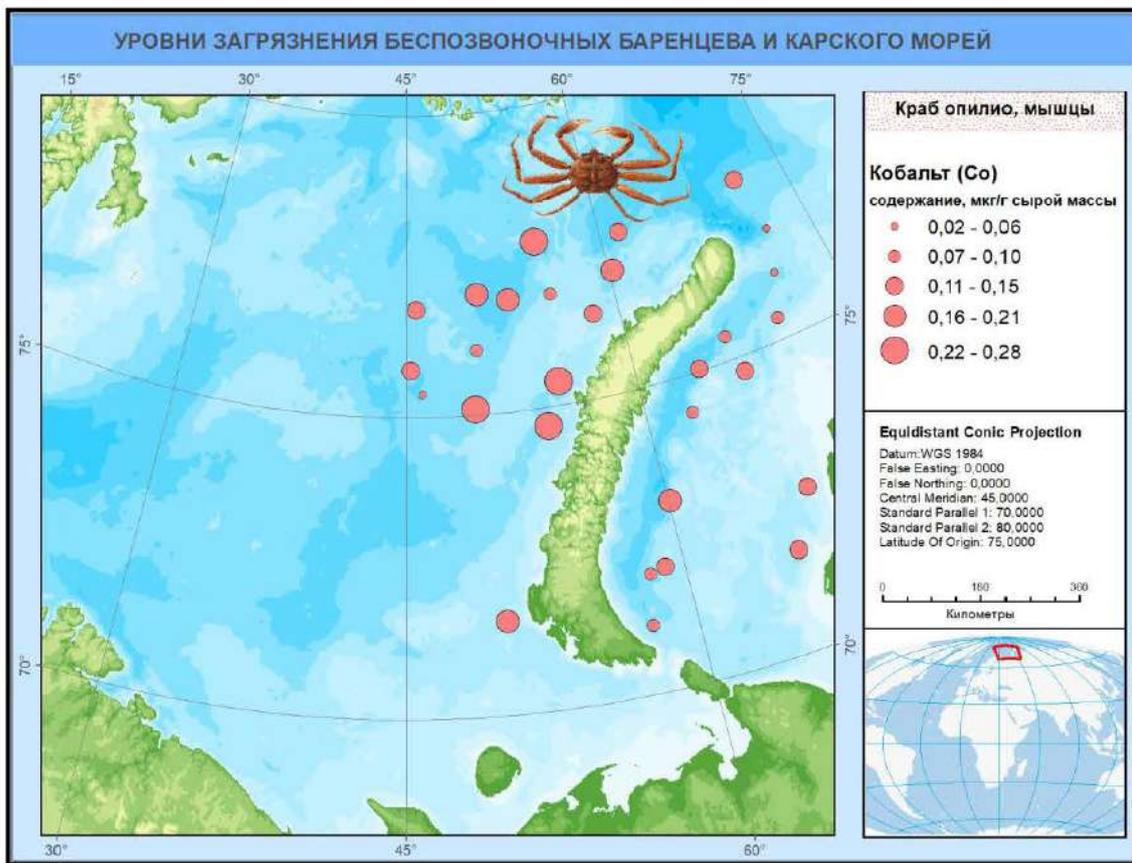


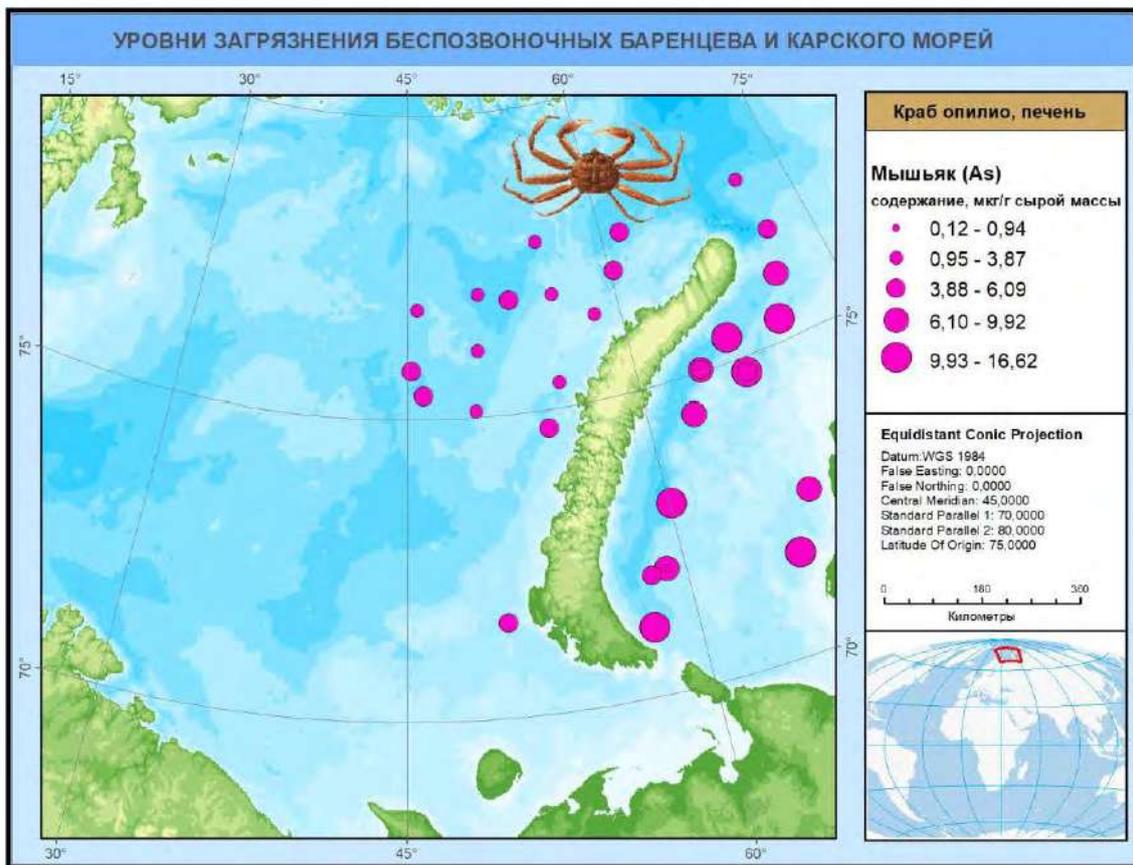
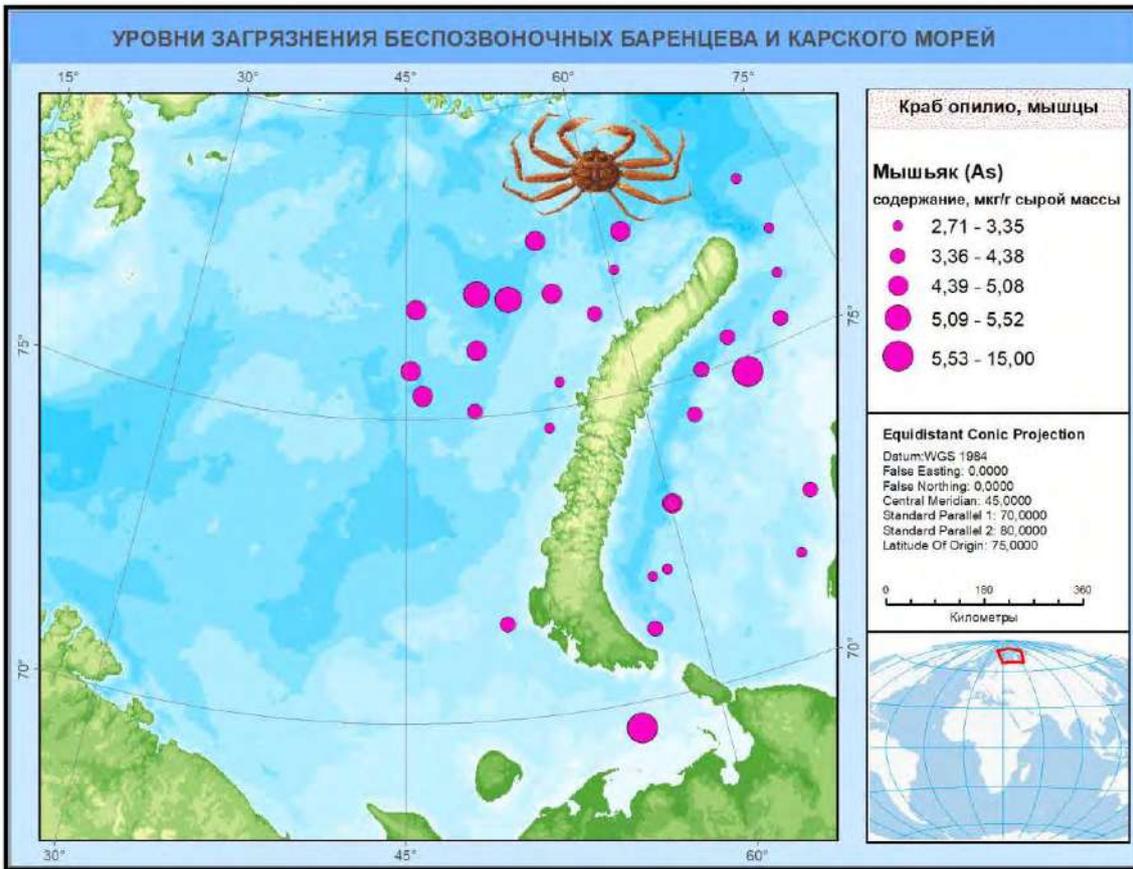


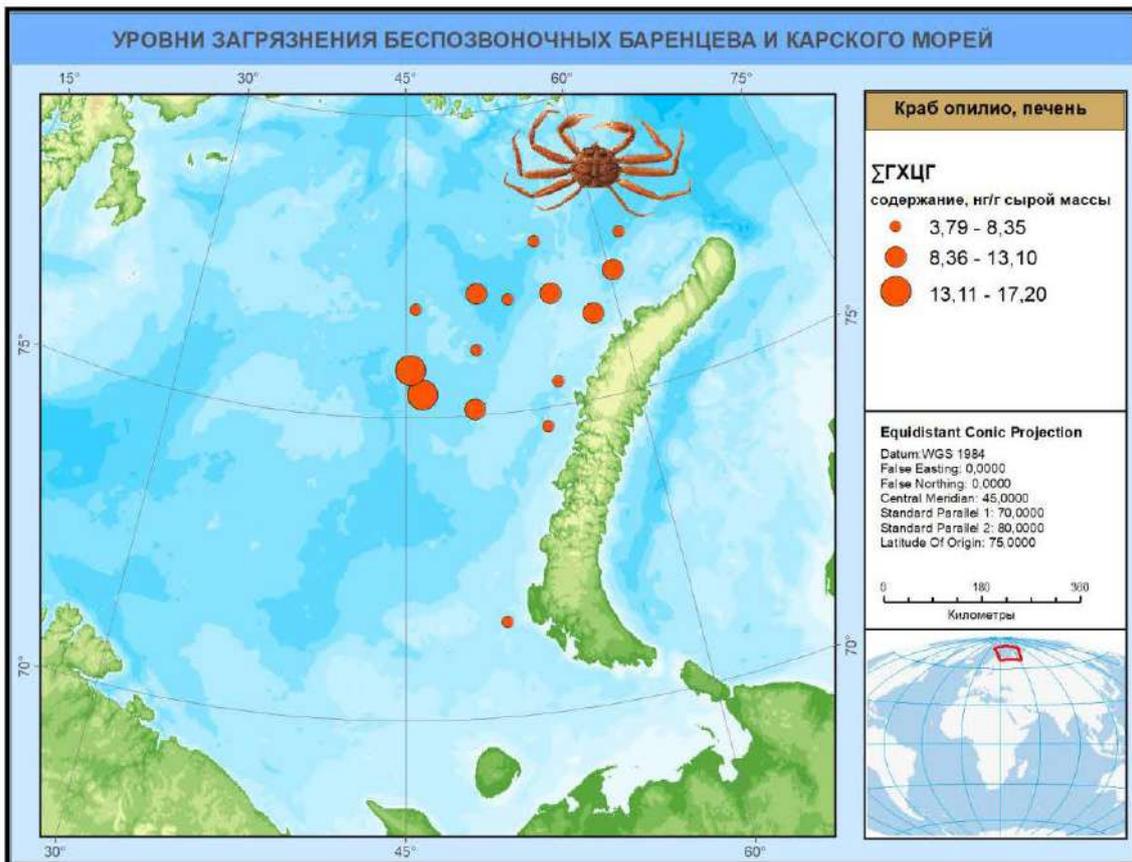
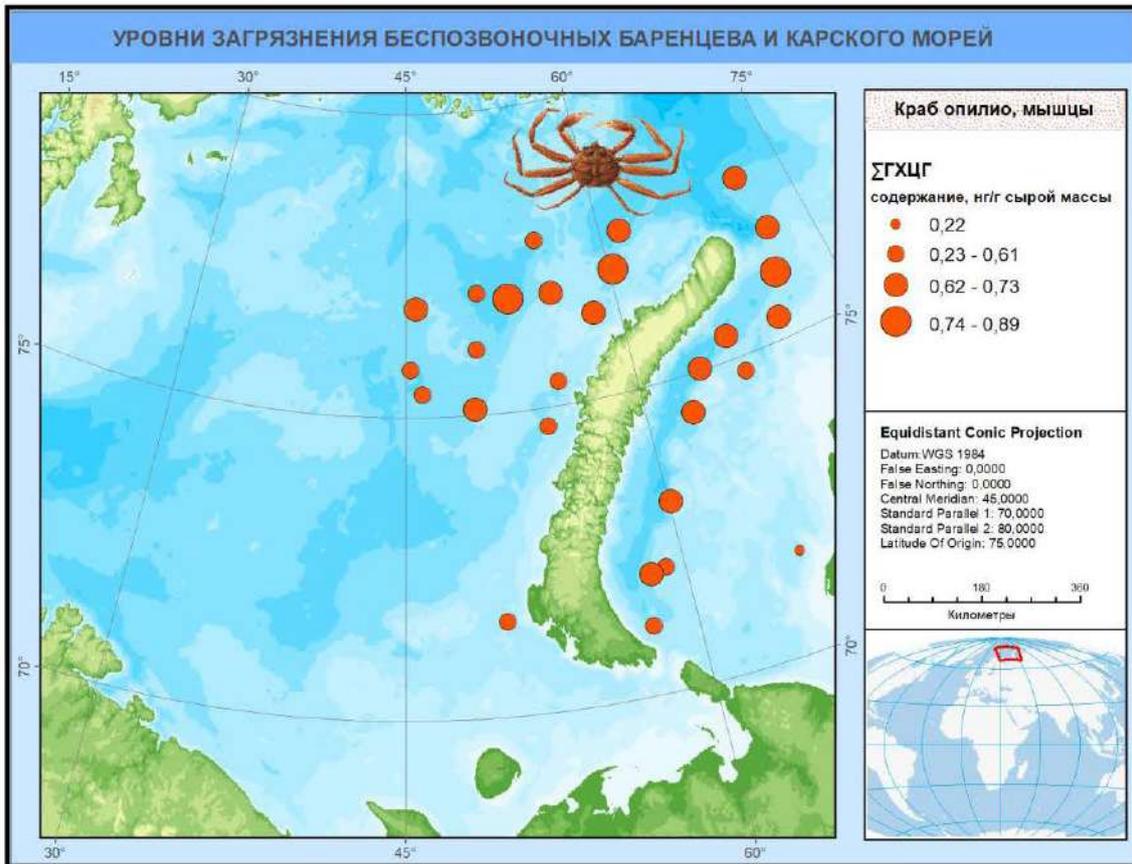


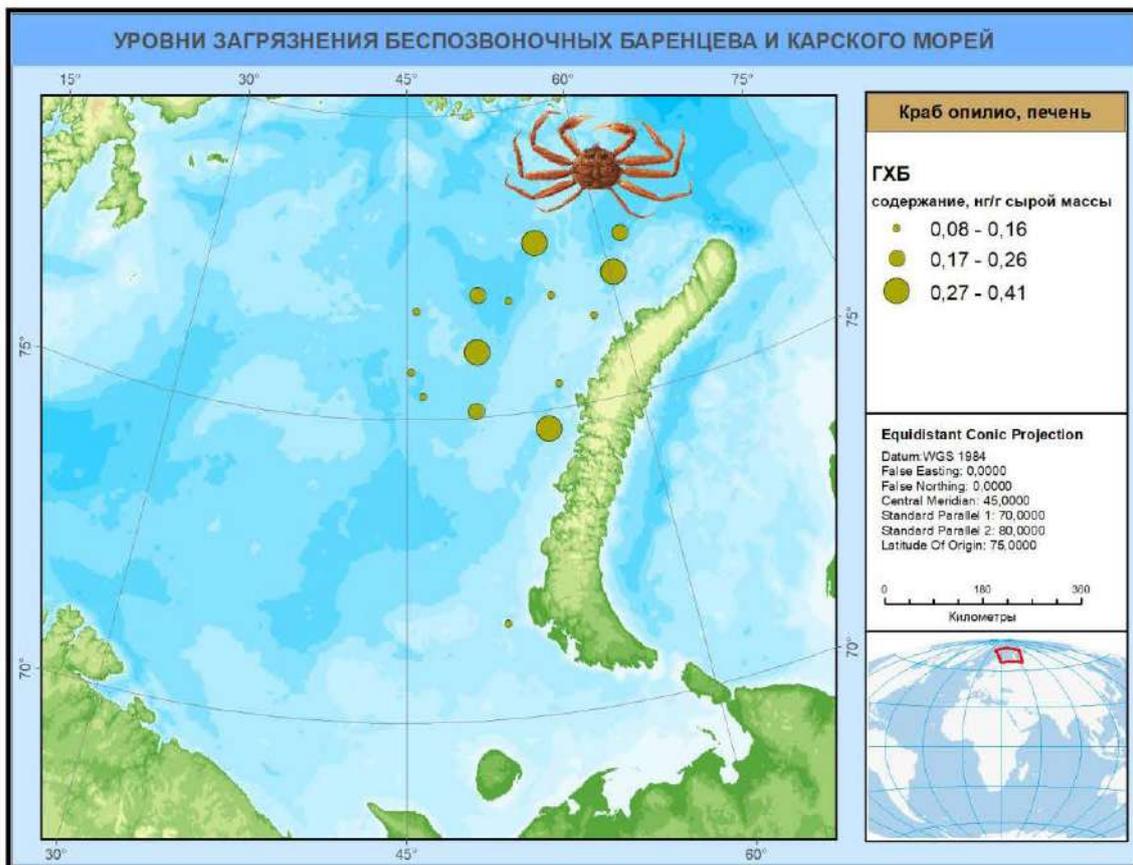
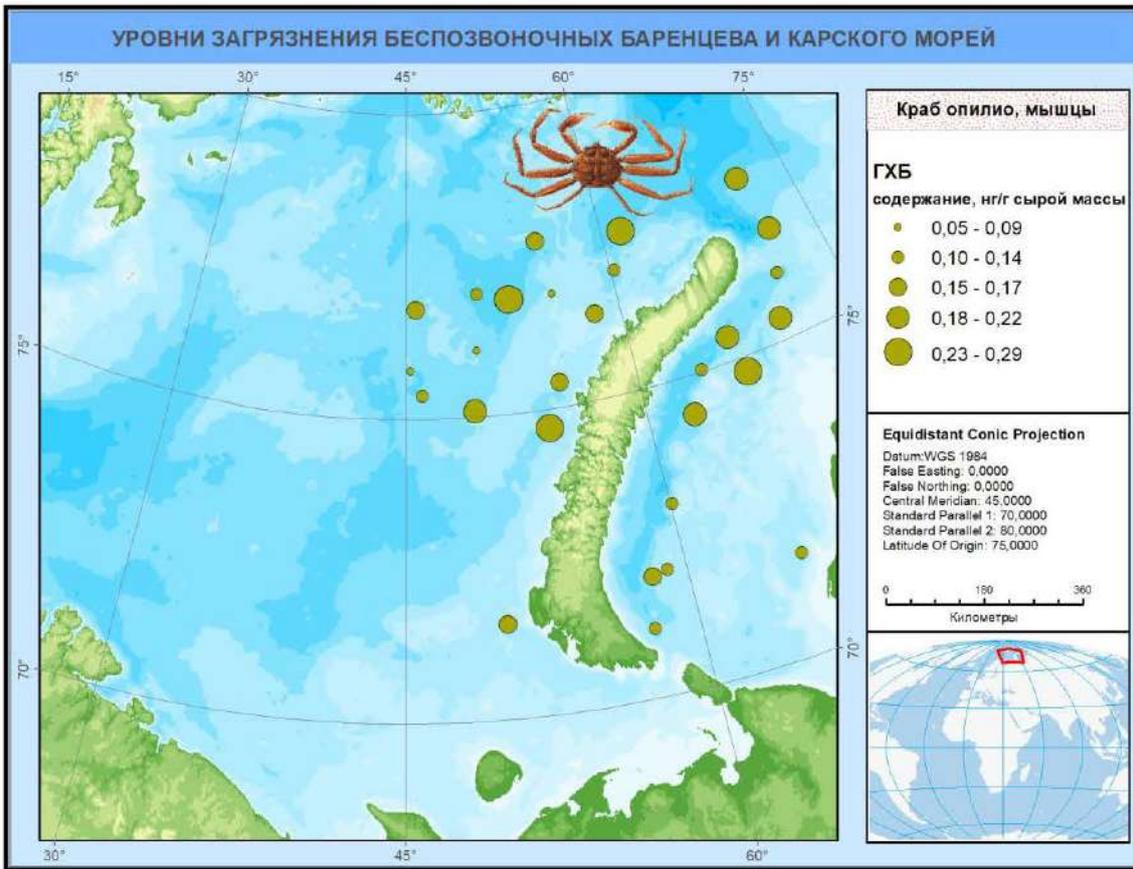


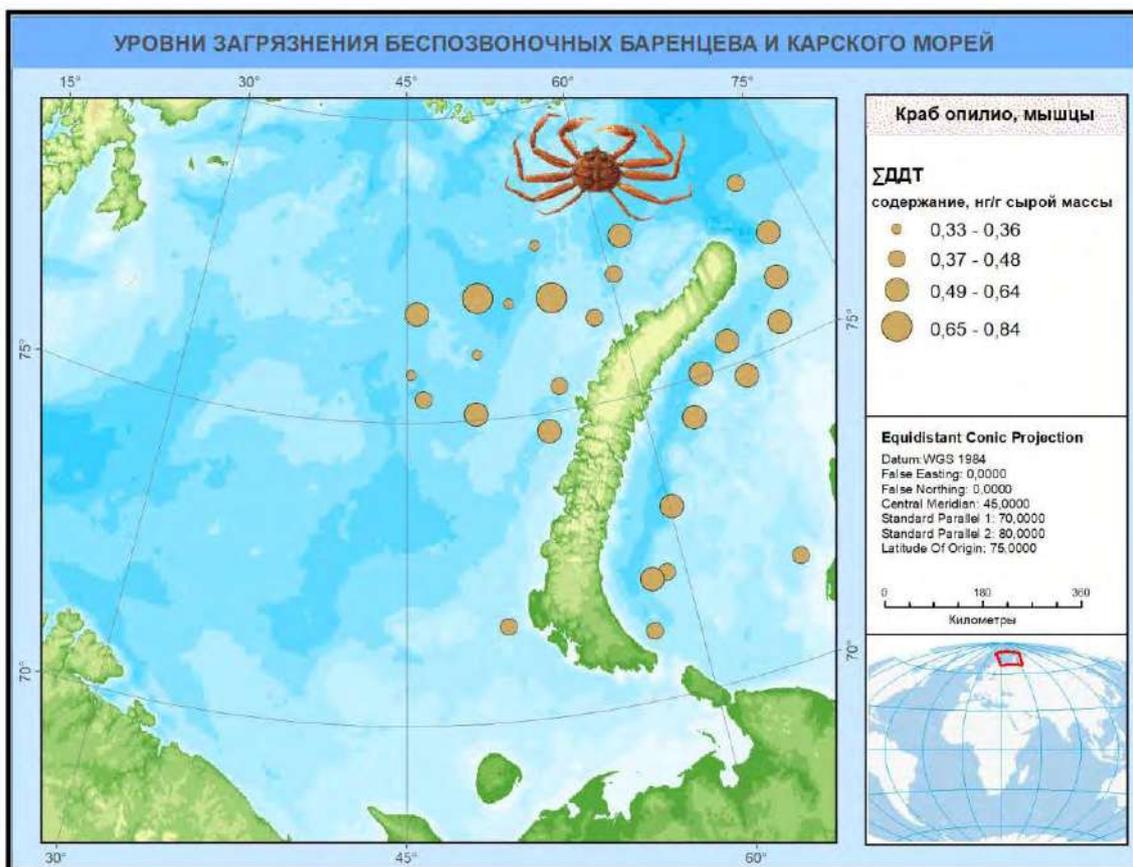


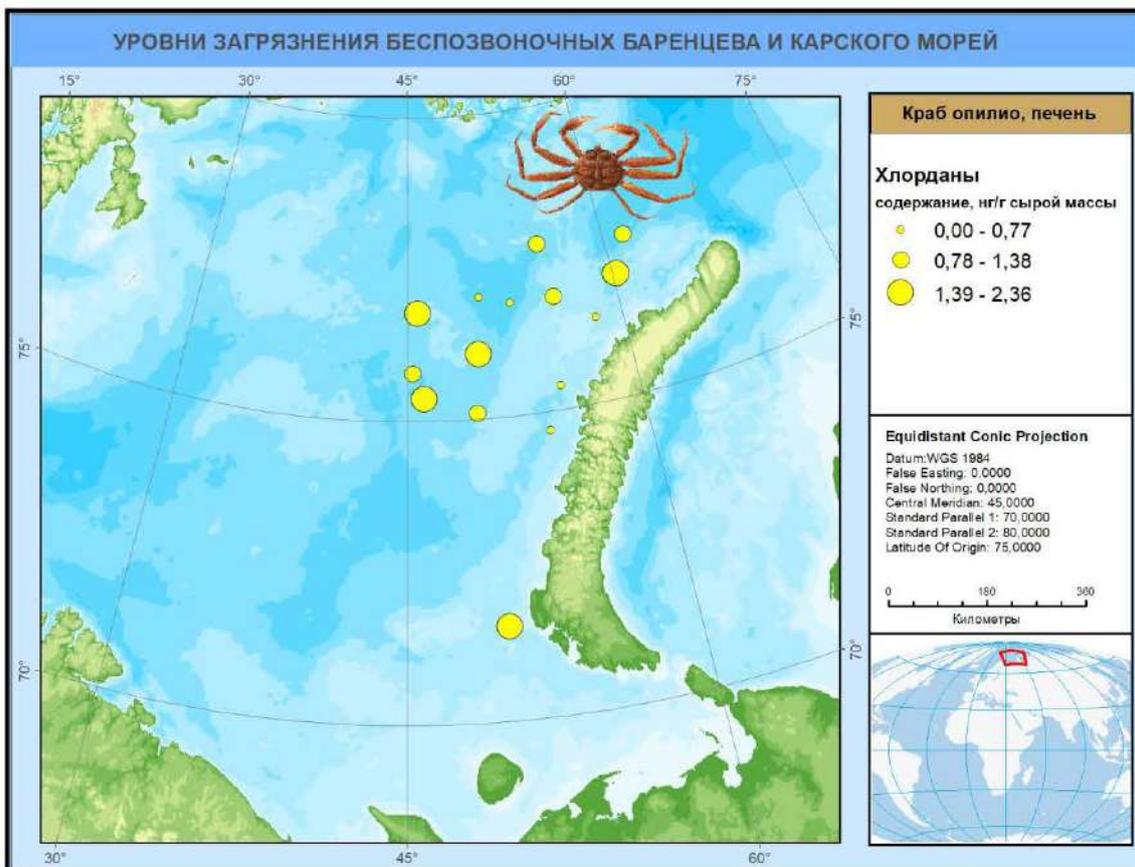
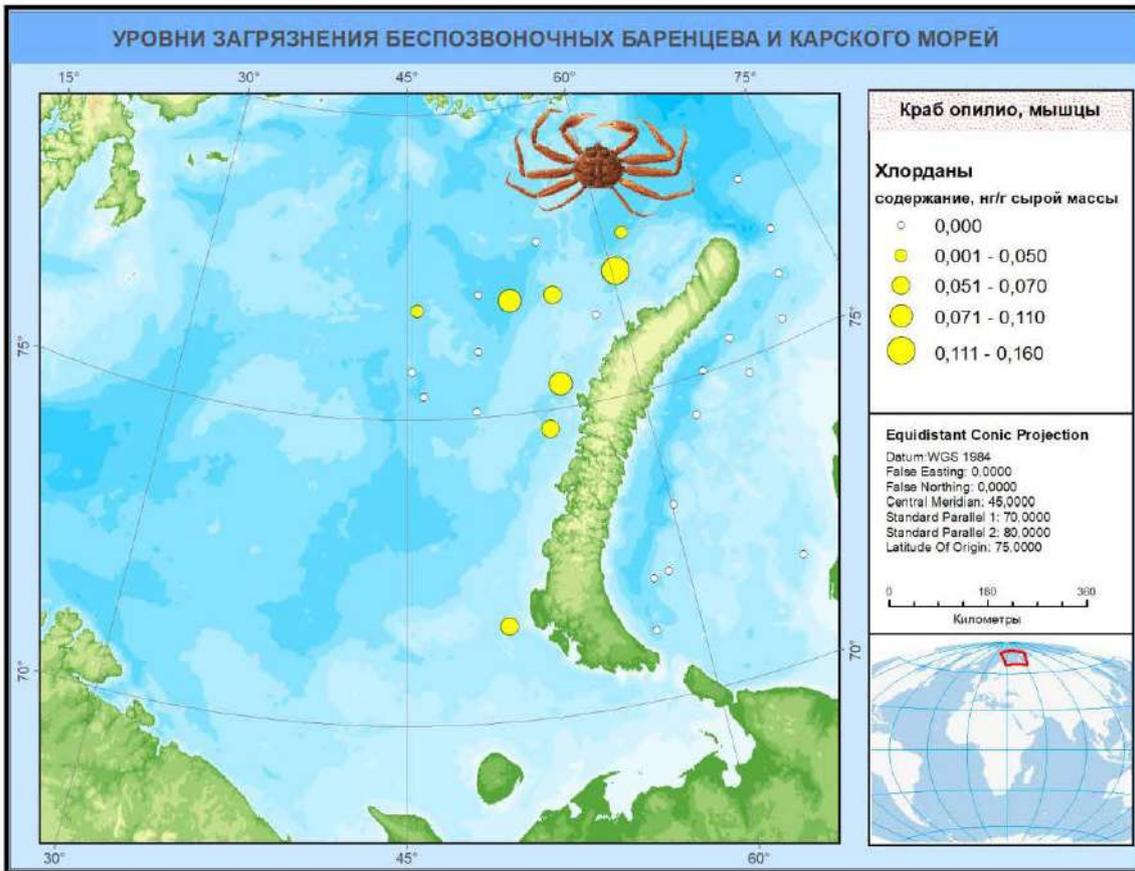


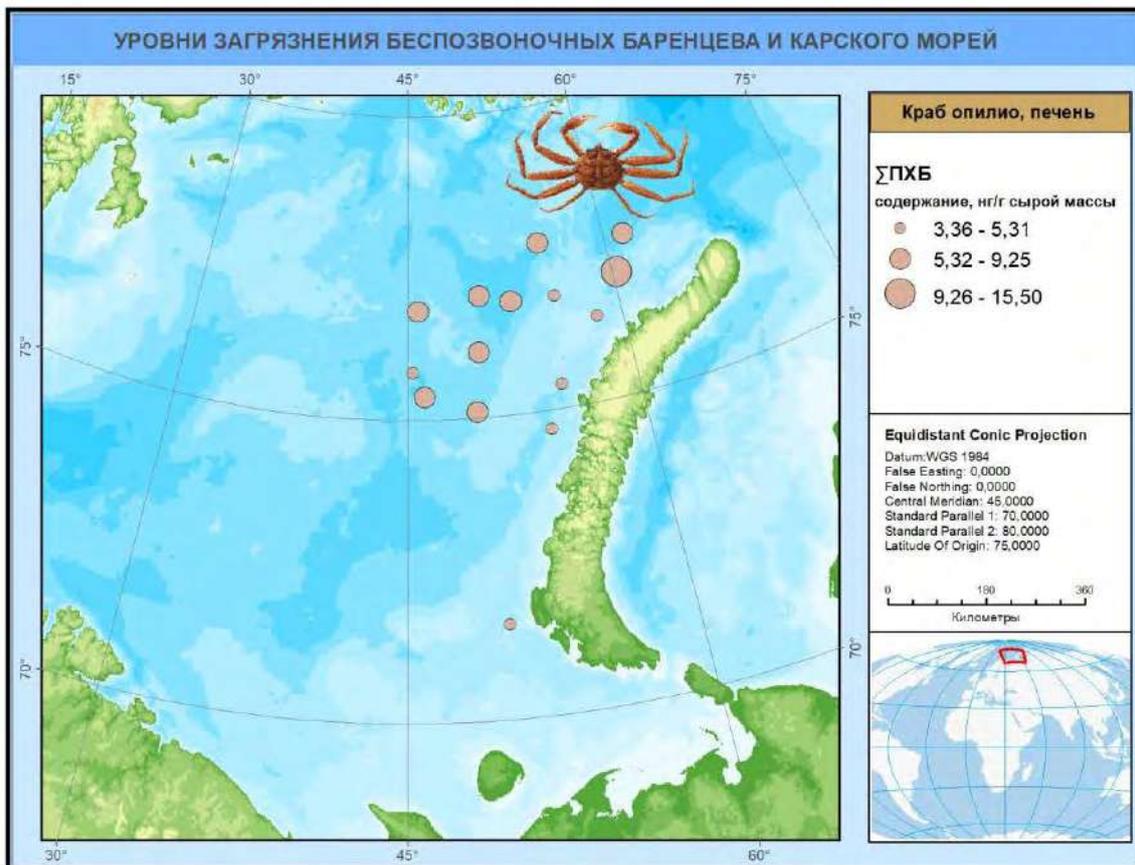
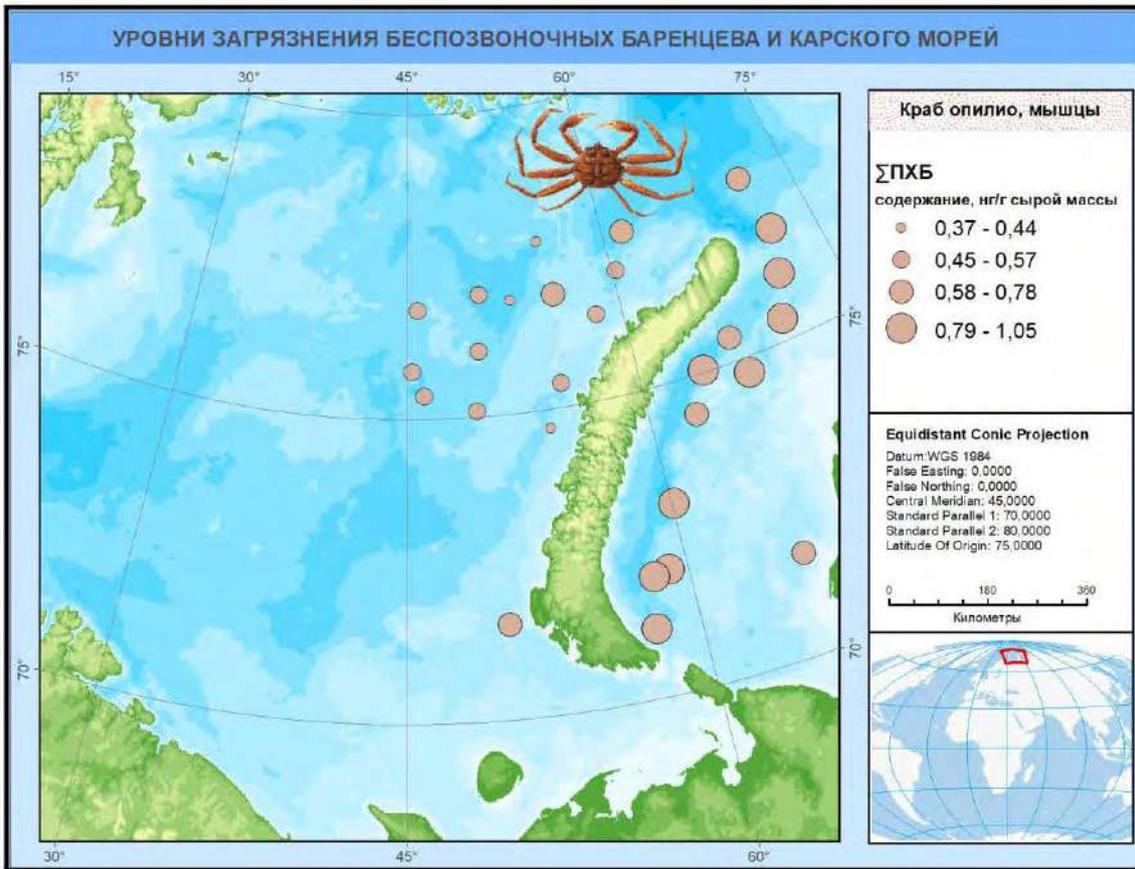








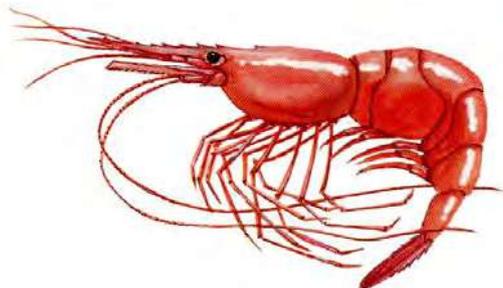




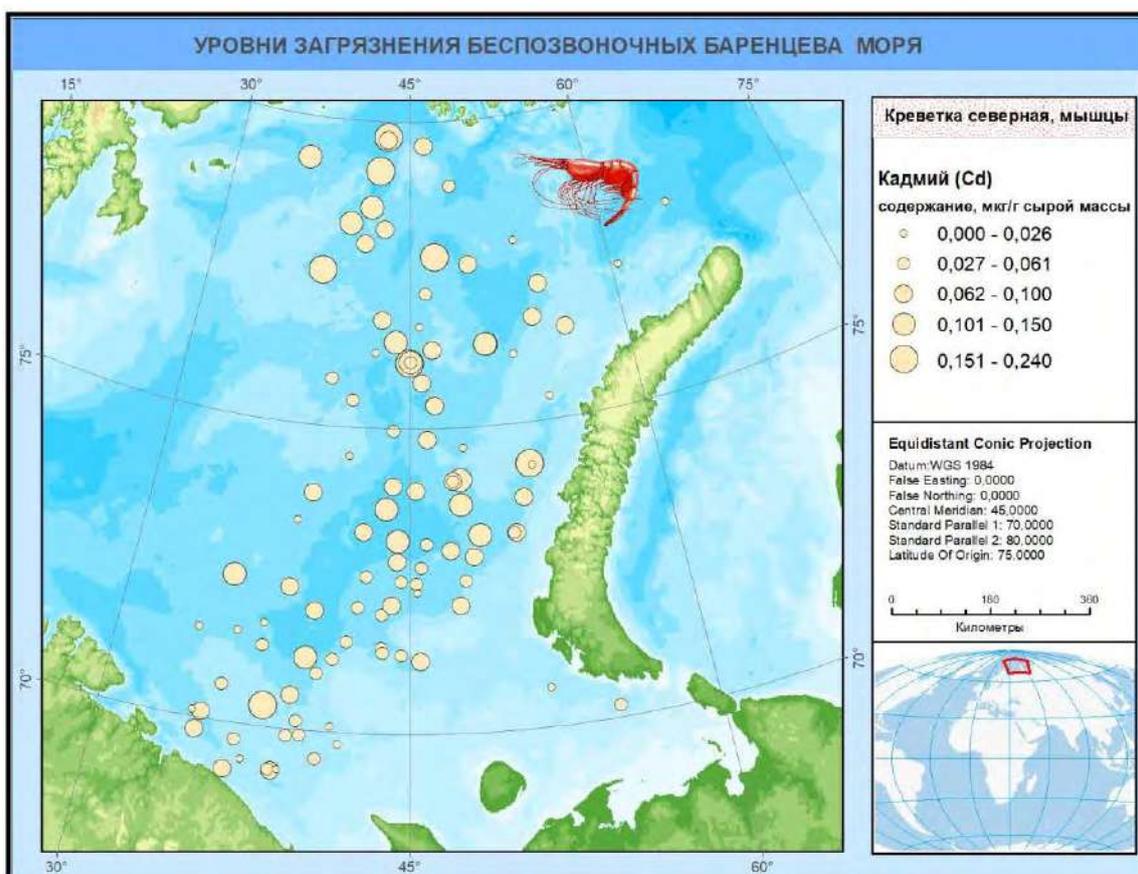
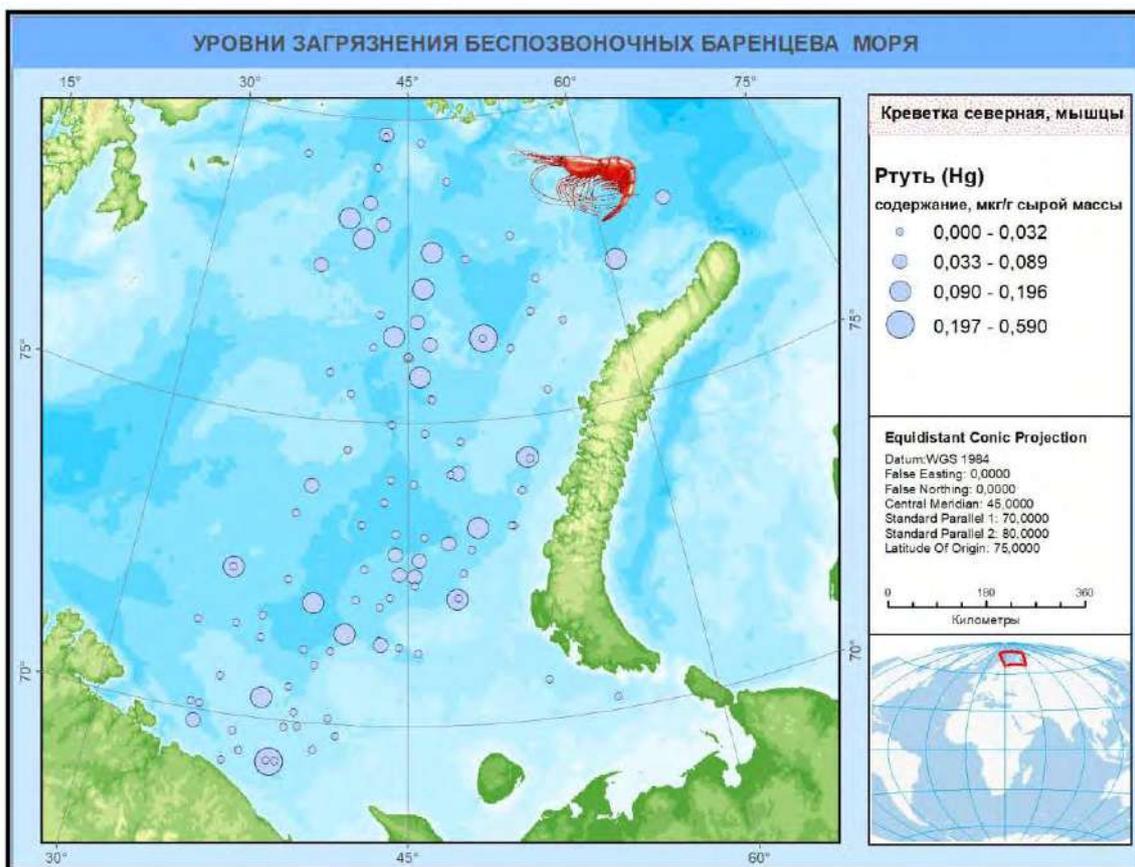
Креветка северная

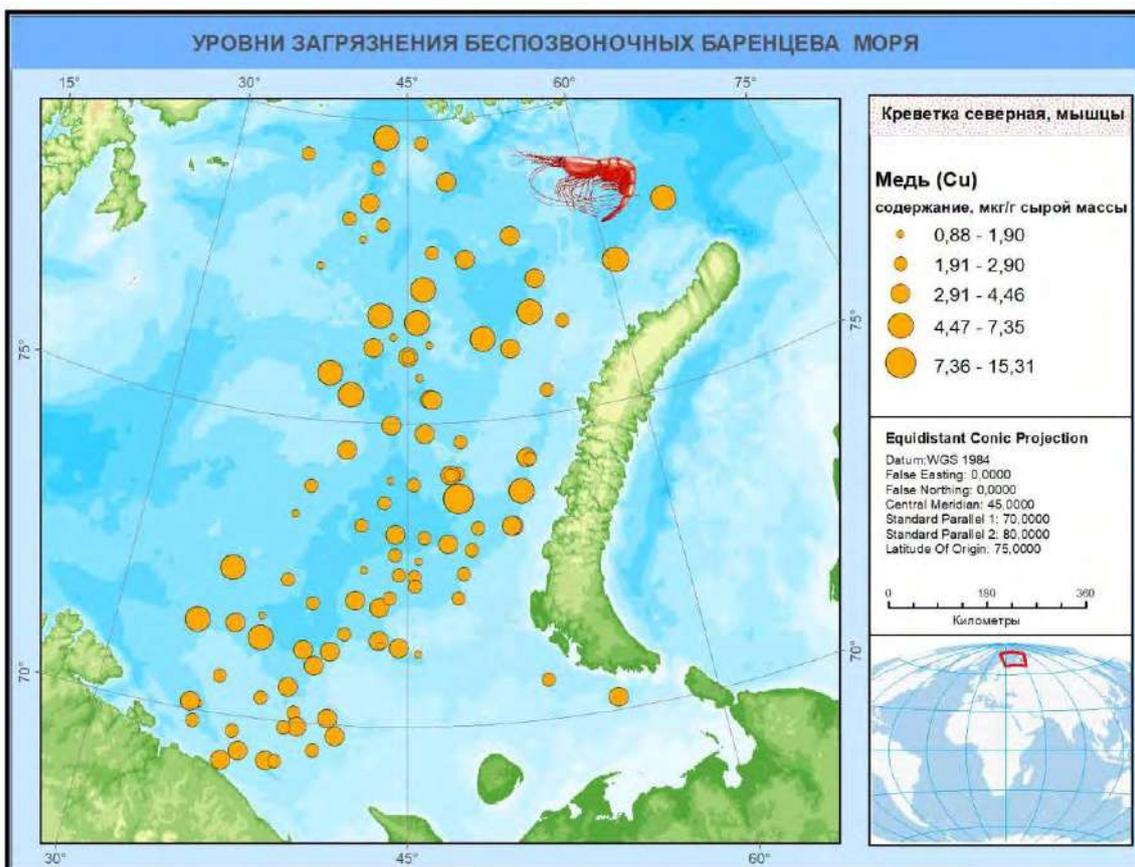
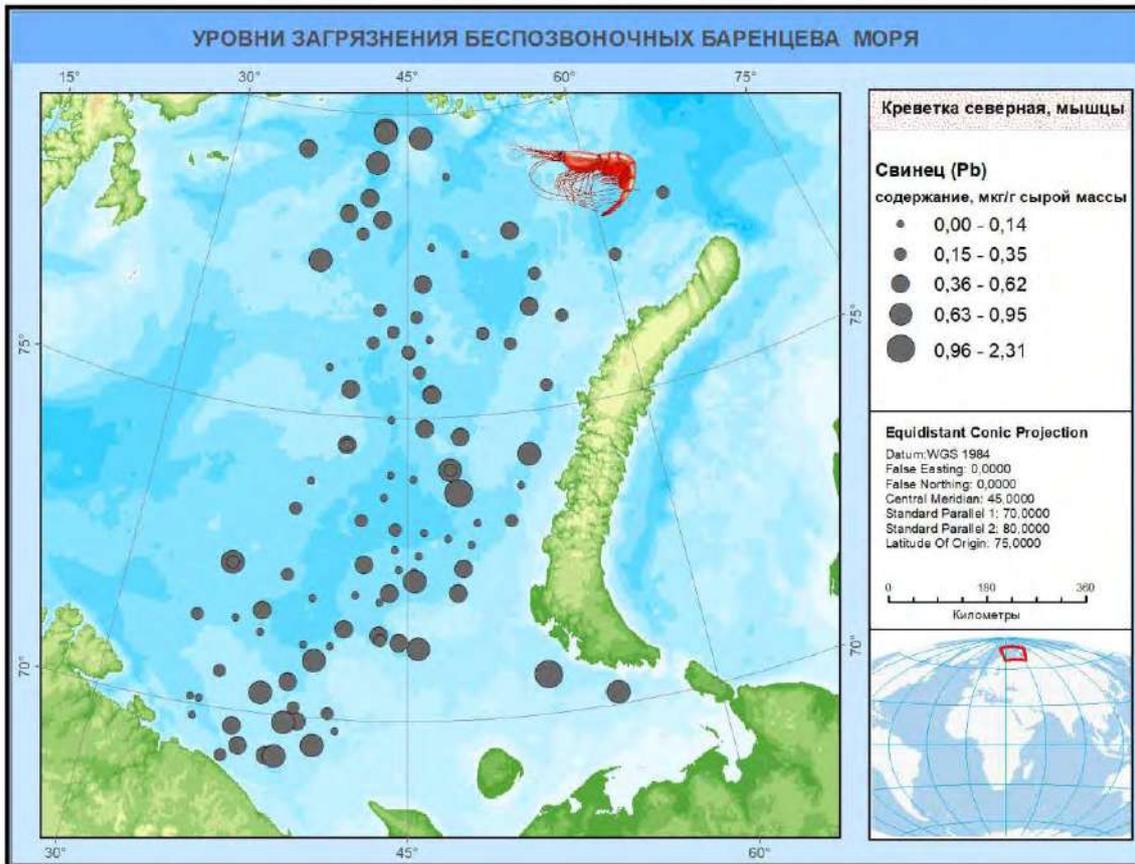
Креветка северная (*Pandalus borealis*). Бореально-арктический вид ракообразных из инфраотряда настоящих креветок (Caridea) отряда Десятиногих (Decapoda). Креветка широко распространена в Баренцевом море. У архипелагов Шпицберген и Земли Франца-Иосифа в районе 81° с.ш. находится северная граница распространения креветки этого вида в европейских водах. В Баренцевом море обитает на илистом или глинистом дне на глубинах 20-1450 м в воде с температурой от –1 до +6 °С. Наиболее часто скопления креветки встречаются на глубинах от 200 до 350 м при температуре 0-2 °С. Общая длина тела в среднем составляет 11-13 см (до 12 см у самцов и 18 см у самок), масса тела – до 30-40 г (Беренбойм, 1992; Слизкин, 2006; Атлас мегабентосных организмов..., 2018). Значительное место в рационе северной креветки занимают эвфаузииды, полихеты и детрит донных отложений (Беренбойм, 1992; Буруковский, 2009). Важный промысловый объект. Промысел северной креветки в Баренцевом море и районе архипелага Шпицберген имел место с середины прошлого столетия. В 2003-2012 гг. он был фактически прекращен. С 2013 г. наблюдается возобновление промысловой активности российских креветколовов. С 2017 г. отечественный вылов значительно увеличился с 4 до 30 тыс. т, достигнув рекордных показателей в 2019 г. В 2019-2020 гг. основной вылов северной креветки в Баренцевом море осуществлялся в районе Возвышенность Персея и северо-восточных районах (Баканев, 2020; Состояние сырьевых биологических..., 2021). Основное направление использования креветки – производство деликатесной пищевой продукции, в том числе варено-мороженой, консервов, кулинарных изделий. Средний выход мяса креветки – 39-40 %, содержание жира в мясе 0,26-0,36 %, белка – 19,4-19,7 % (Химический состав и..., 1998).

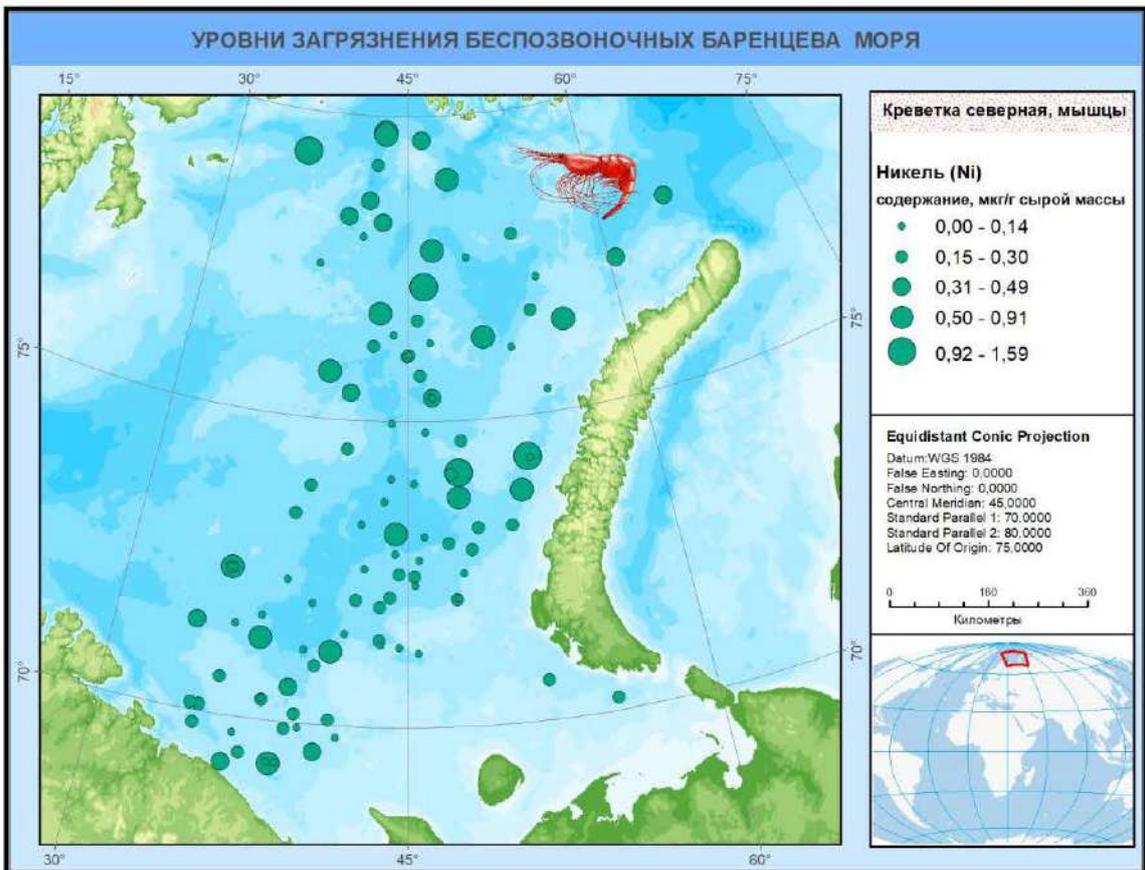
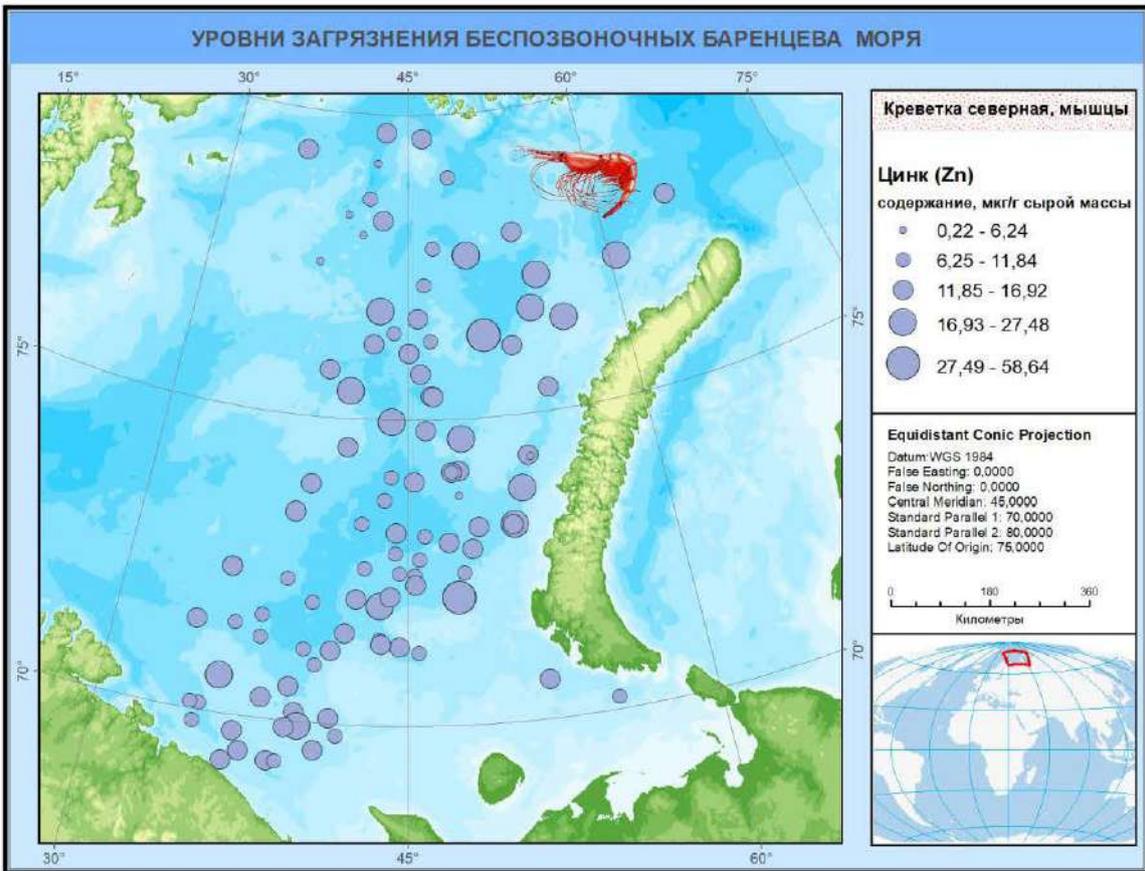
По фондовым данным ПИНРО, среднее содержание Hg в мышцах северной креветки составляет $0,043 \pm 0,075$ мкг/г (\pm стандартное отклонение), Cd – $0,072 \pm 0,047$ мкг/г, Pb – $0,35 \pm 0,34$ мкг/г, Cu – $3,10 \pm 1,73$ мкг/г, Zn – $13,34 \pm 6,49$ мкг/г, Ni – $0,28 \pm 0,28$ мкг/г, Cr – $0,62 \pm 1,02$ мкг/г, Co – $0,52 \pm 0,66$ мкг/г и As – $5,52 \pm 1,75$ мкг/г (N=117); Σ ГХЦГ – $1,22 \pm 0,59$ нг/г, ГХБ – $0,08 \pm 0,04$ нг/г, Σ ДДТ – $0,86 \pm 0,55$ нг/г, Σ ПХБ – $1,17 \pm 0,43$ нг/г и суммы хлорданов – $0,25 \pm 0,23$ нг/г сырой массы (N=117).

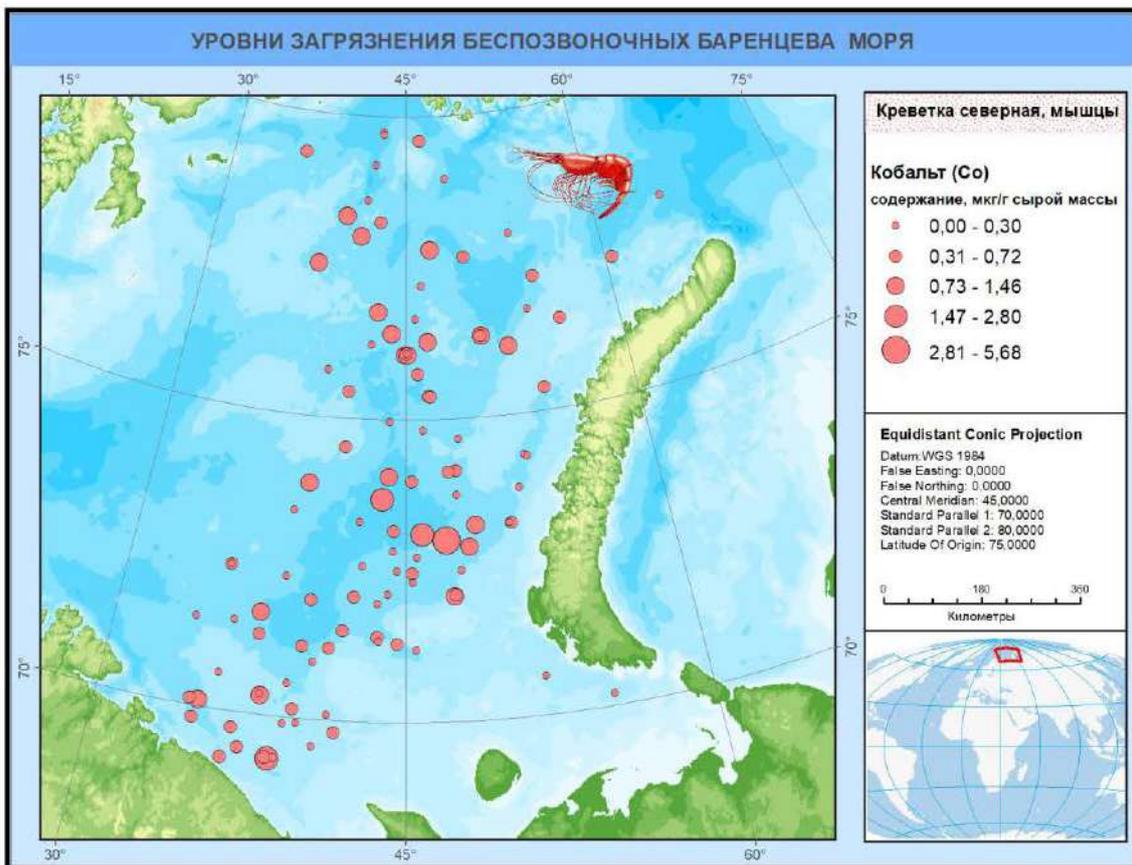
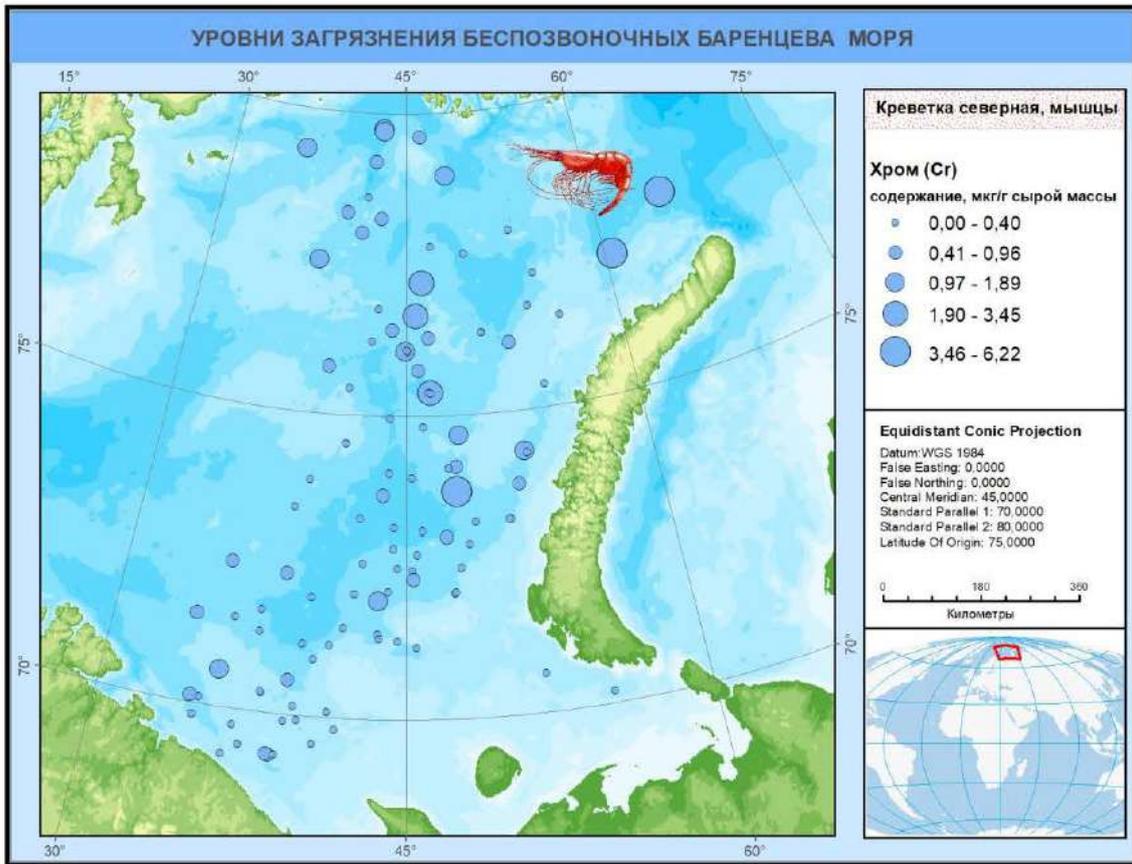


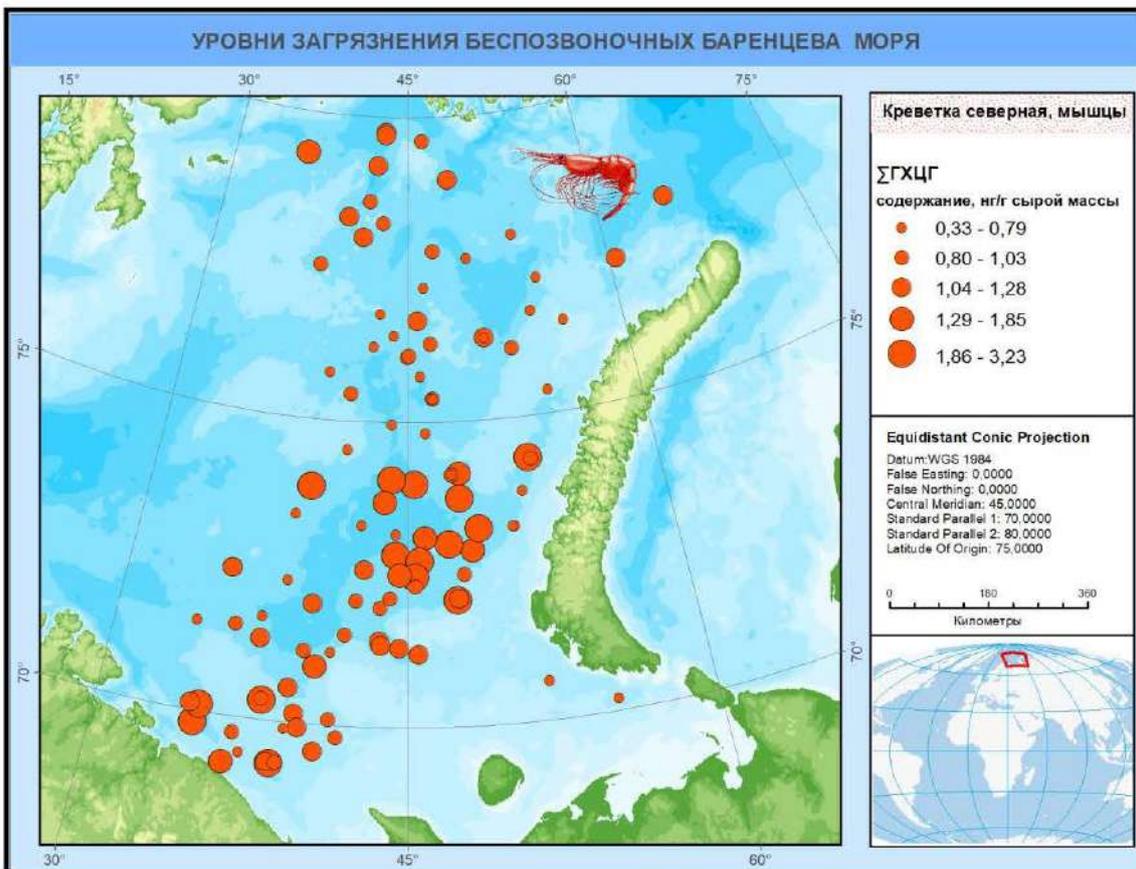
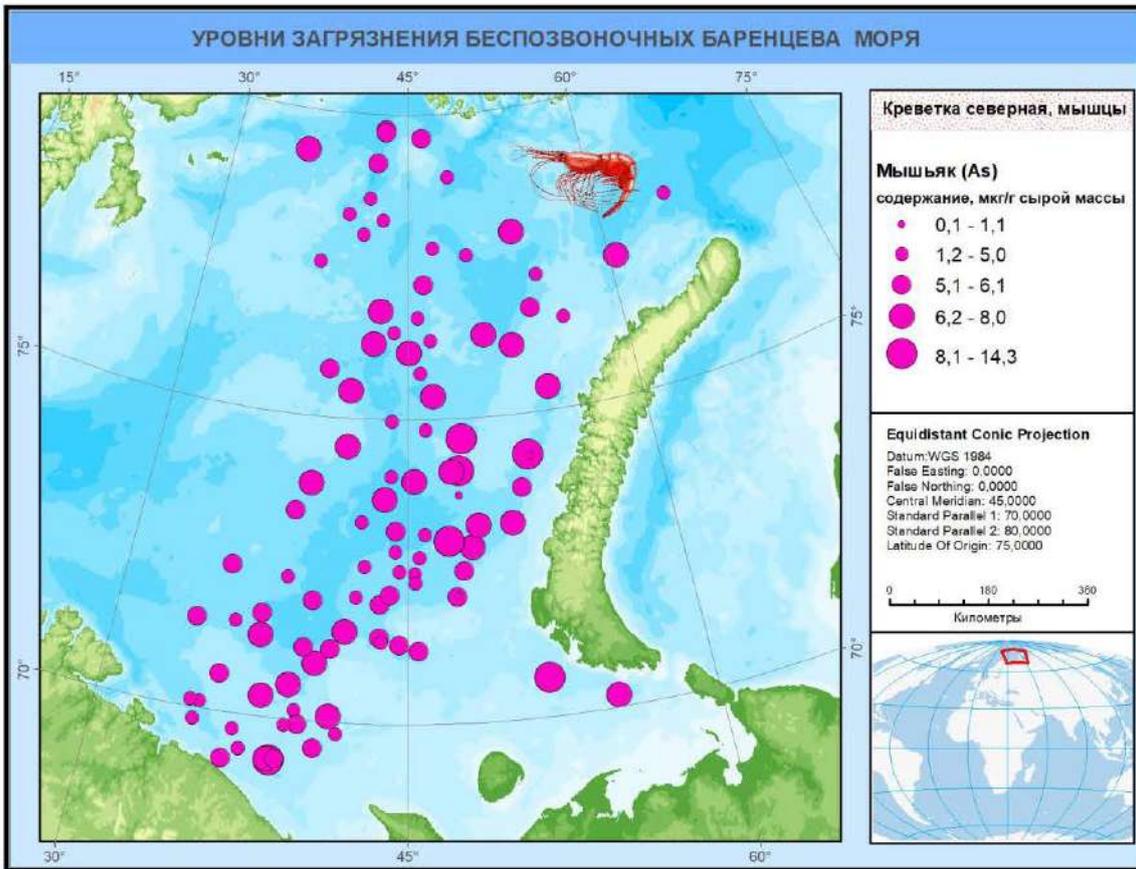
Ниже приводятся карты содержания поллютантов в мышцах креветки северной в 2019-2022 гг.

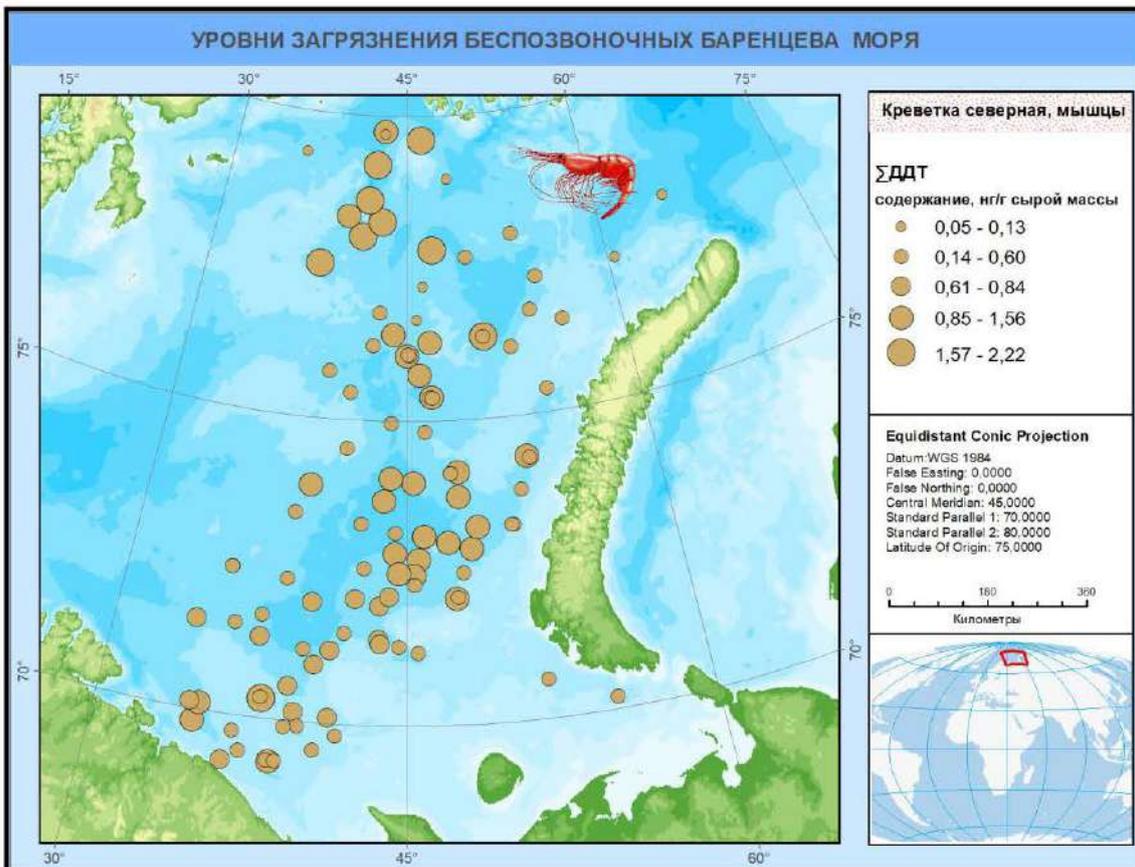
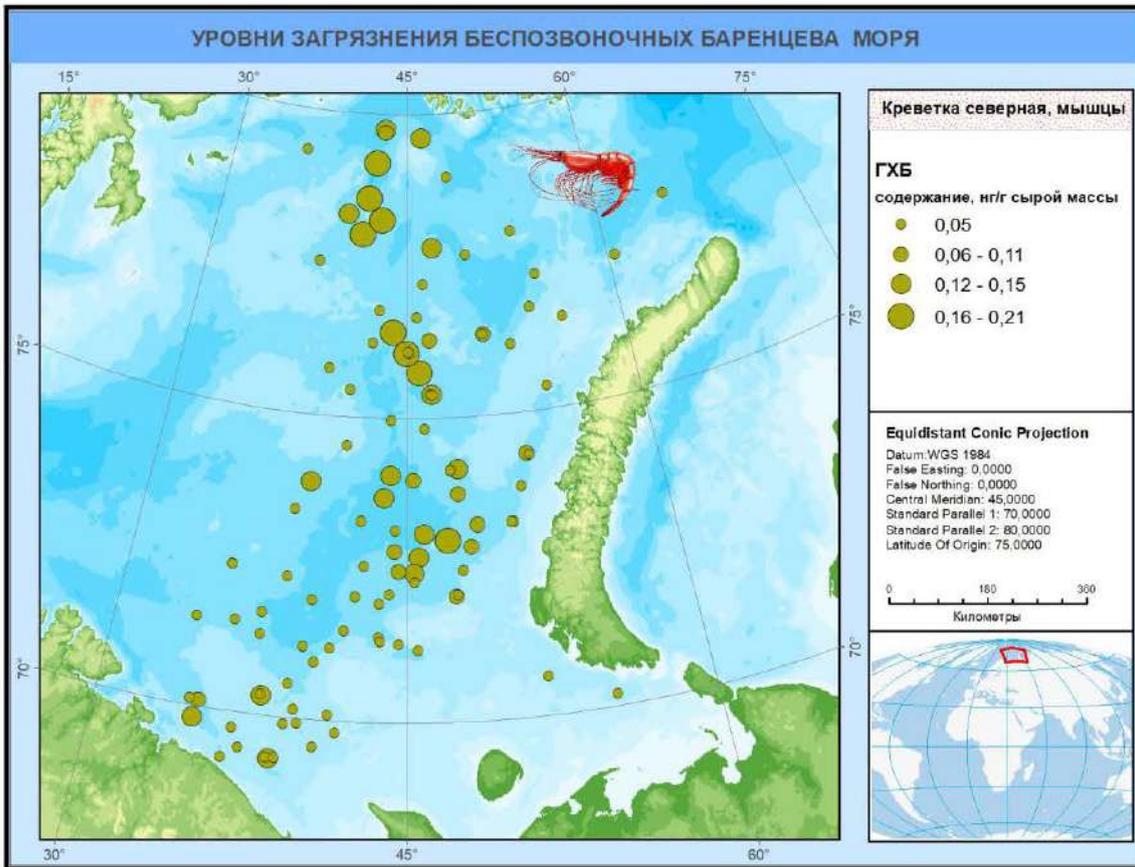


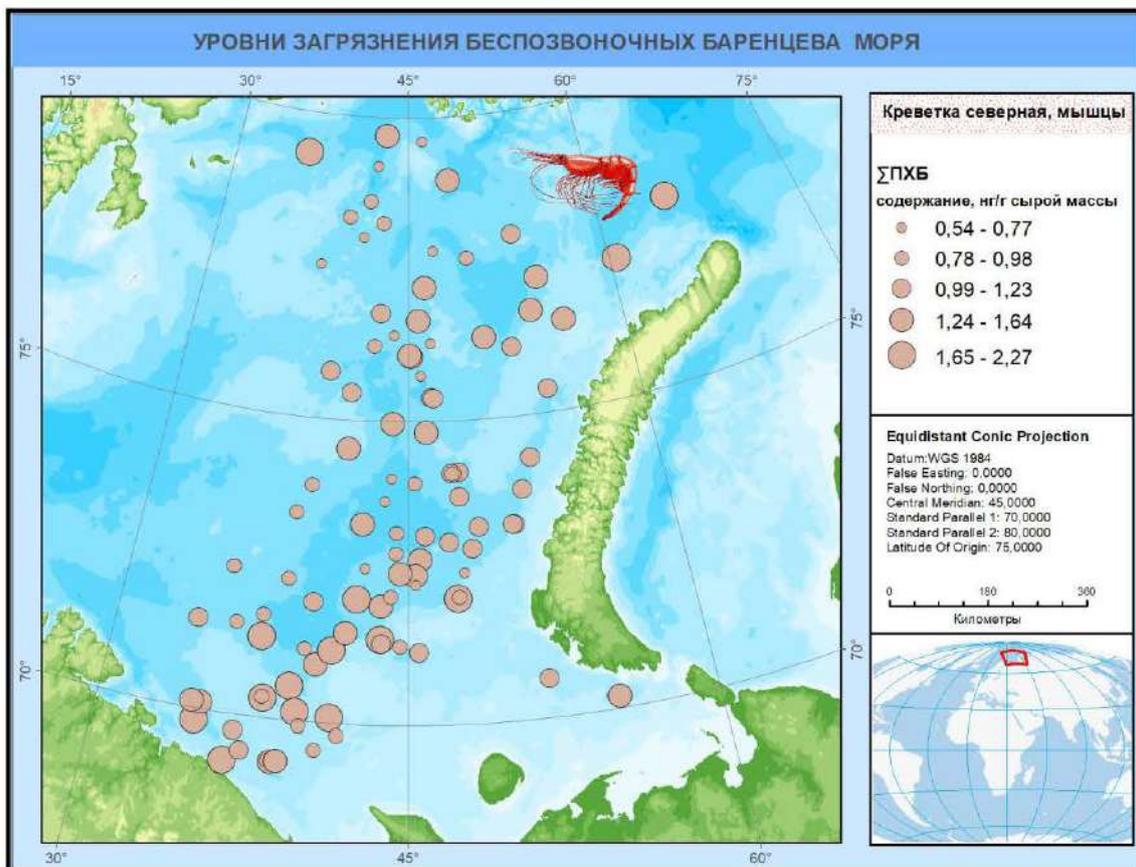
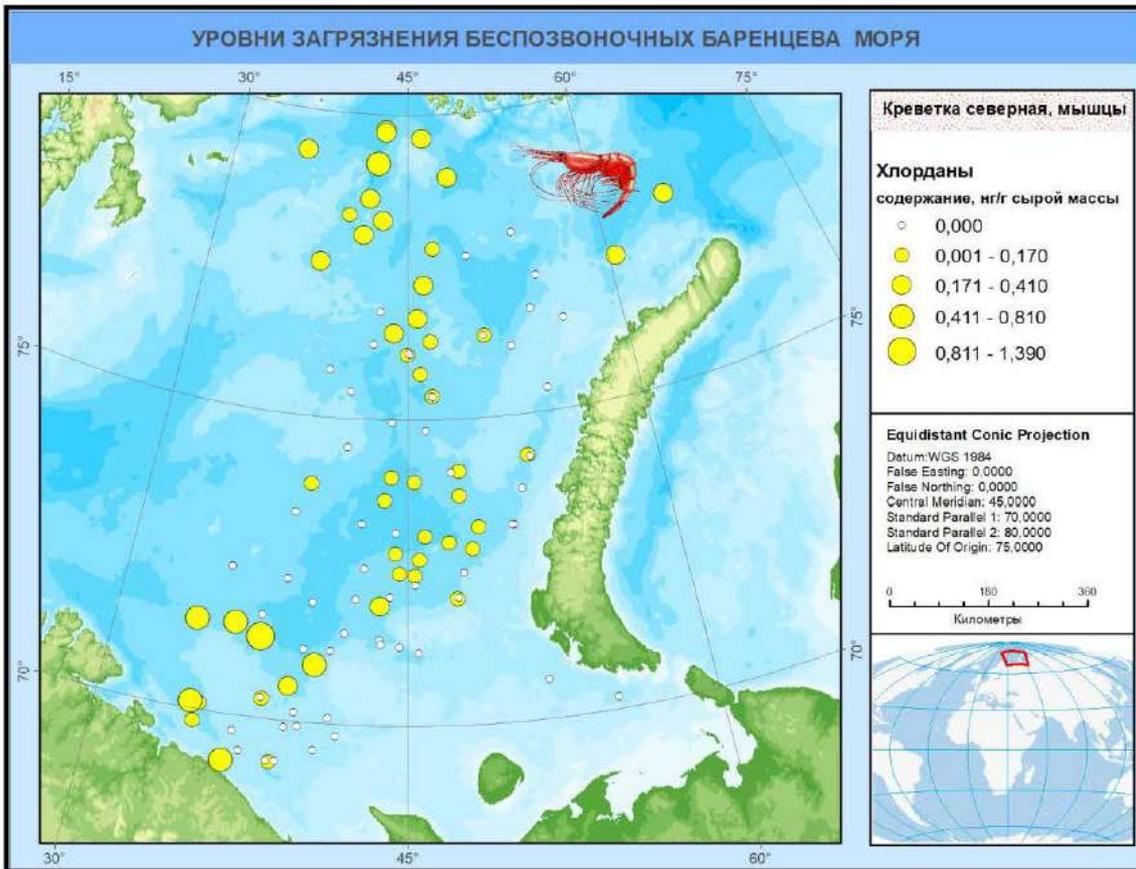












СПРАВОЧНЫЕ КАРТЫ

Батиметрическая карта

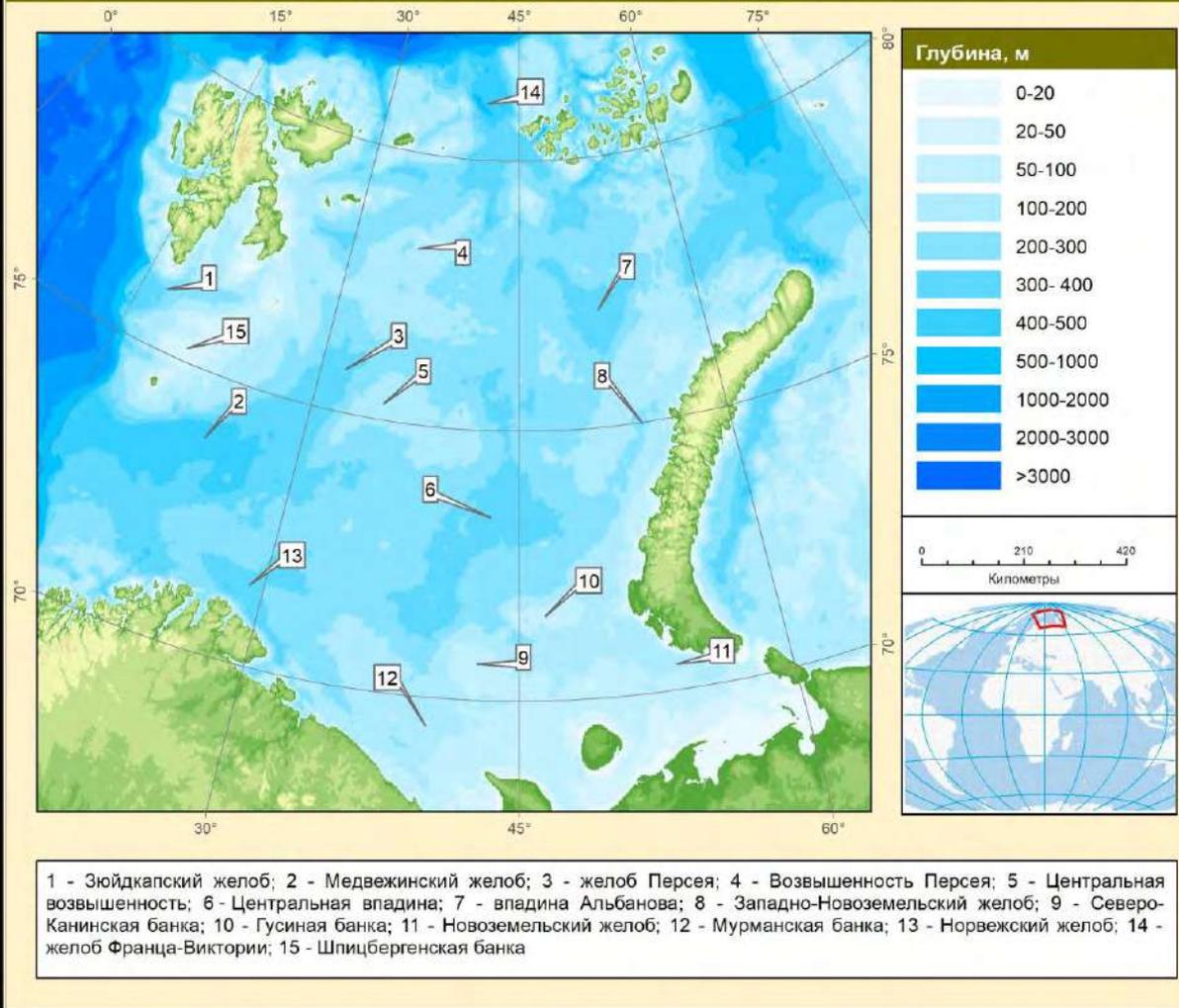
Ложе Баренцева моря представляет собой сложно расчлененную подводную равнину с неровной поверхностью, несколько покатой к западу и северо-востоку. В целом для водоема характерно чередование подводных плато и желобов, пересекающих его в разных направлениях и имеющих ступенчатые, обрывистые или пологие склоны (Матишов, 1977; Алексеева, Политова, Козина, 2020).

По сравнению с другими арктическими морями баренцевоморский шельф значительно более глубоководный и при этом здесь нет монотонного возрастания глубины в сторону океана (Добровольский, Залогин, 1965). Наиболее глубокие места расположены в западной его части. Здесь же находится максимальная глубина, составляющая 513 м. Дно Баренцева моря буквально испещрено большим количеством мелких банок и желобов протяженностью 10-30 миль, перепад глубин между которыми может достигать 100 м. Средняя глубина моря составляет 220 м (Атлас океанов, 1980). Самой глубокой является юго-западная часть, глубина которой превышает 300-400 м и постепенно увеличивается в направлении Норвежского моря. Юго-восточнее о-ва Медвежий (ориентировочно в 60 милях) расположен небольшой участок с глубиной более 500 м (Воды Баренцева моря..., 2016).

По известным данным (Добровольский, Залогин, 1965; Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990), прибрежные мелководья с глубинами до 50 м занимают большую площадь только на юго-востоке моря и в его северо-западной части (Медвежинско-Надеждинская возвышенность). У других побережий Баренцева моря глубины возрастают до 100-200 м уже в нескольких десятках километров от берега. Помимо крупных структурных элементов донного рельефа, существуют и многочисленные мелкие (3-5 м) неровности дна на глубинах меньше 220 м, а также террасовидные уступы на подводных склонах и ровные участки дна.

На представленной ниже батиметрической карте географические названия форм рельефа дна Баренцева моря даны как на карте Г.Г. Матишова (Батиметрическая карта Баренцева..., 1997). Впадина Альбанова обозначена на основе публикации А.Г. Зинченко (2001).

БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

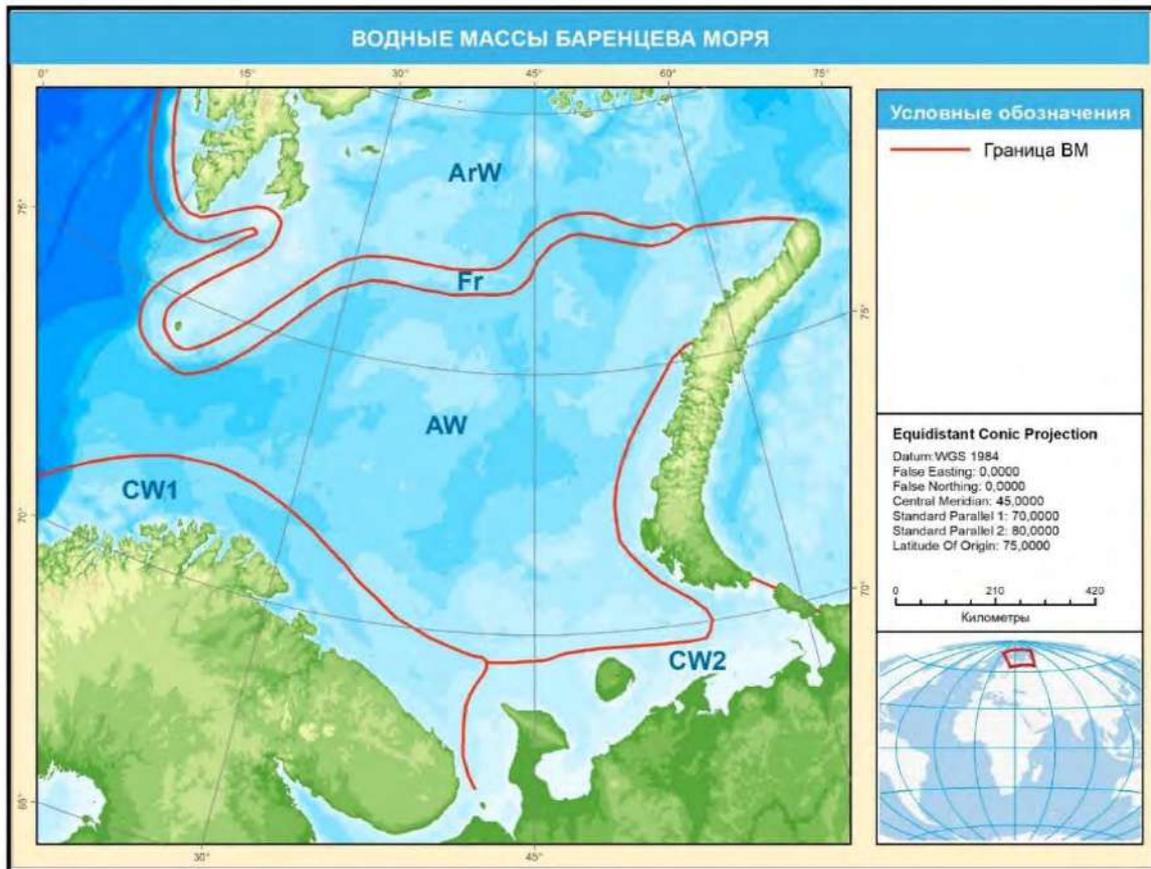


Водные массы и течения

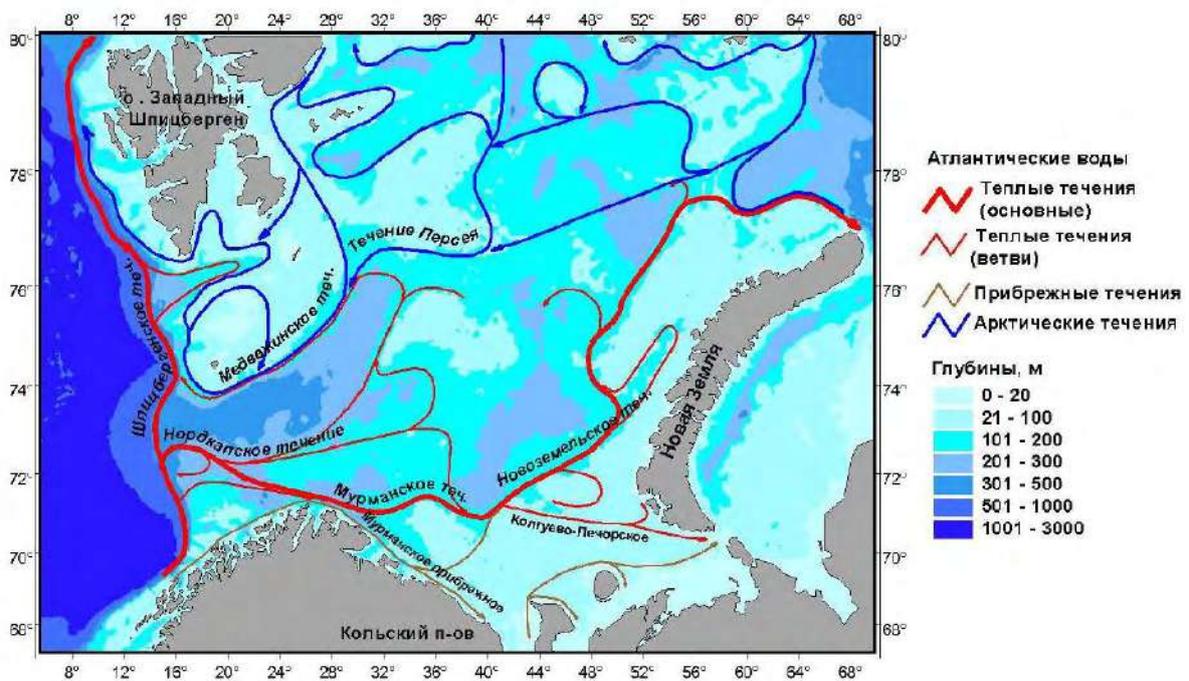
Динамика вод Баренцева моря вносит определяющий вклад в формирование его физических и химических характеристик. Она тесно связана с движением морских льдов, льдообразованием, процессами перемешивания воды в море, и как следствие локальными особенностями осаждения взвешенных в морской воде частиц. Для возможной предварительной оценки распределения данных о содержании загрязнения в донных осадках различных частей Баренцева моря была выполнена карта расположения границ водных масс (ВМ). На представленной ниже карте выделены следующие типы морских вод – они же водные массы: AW – атлантические и собственно баренцевоморские воды, ArW – арктические воды, CW1 – норвежские и мурманские прибрежные воды, CW2 – восточные прибрежные воды, Fr – воды фронтальной зоны. Типы вод и границы ВМ были выделены нами с учетом сведений о ВМ и течениях Баренцева моря, опубликованных специалистами ПИНРО (Ожигин, Ившин, 1999; Воды Баренцева моря..., 2016). В основе выделения водных масс лежат параметры температуры и солености морской воды, обработанные с использованием кластерного анализа. Названия водных масс традиционно даны на основе их генезиса или географической локализации. Показано, что различия в происхождении водных масс Баренцева моря предопределяют значимые различия в «портрете» их загрязнения, обусловленные неодинаковостью преобладающих источников поступления поллютантов (Новиков, Драганов, 2017, т.44).

Полярный фронт (фронтальная зона), строго говоря, не является собственно ВМ – это зона трансформации вод различного происхождения. Тем не менее площадь акватории фронтальной зоны составляет около 11 750 км², что вполне достаточно для выполнения специальных исследований (Новиков, Драганов, 2018, т. 21; Ившин, Трофимов, Титов, 2020). Одно из следствий контакта вод различной температуры и солености во фронтальных зонах – конвергентные циркуляции (круговороты), ограничивающие массообмен (солеобмен) между ними и приводящие к так называемому уплотнению при смешении (Федоров, 1983). При этом фронты, представляющие собой разновидность внутренних пограничных слоев, играют роль своеобразных барьеров или мембран, через которые обмен свойствами затруднен и имеет специфические формы (Сперанская, 1982). Таким образом, теоретические предпосылки возможности накопления загрязнения во фронтальной зоне достаточно очевидны и характерны для воды этой области Баренцева моря (Новиков, Драганов, 2018, т. 21; Драганов, Новиков, 2020). Однако роль Полярного фронта, как и других фронтальных зон в Баренцевом море, в накоплении взвеси на дне Баренцева моря остается еще не до конца выясненной.

Приведенная ниже карта-схема основных, «господствующих» поверхностных течений Баренцева моря выполнена на основе опубликованных картографических материалов (Танцюра, 1959; Ozhigin, Trofimov, Ivshin, 2000). Названия течений даны по А.И. Танцюре (1959).



Карта-схема основных течений Баренцева моря



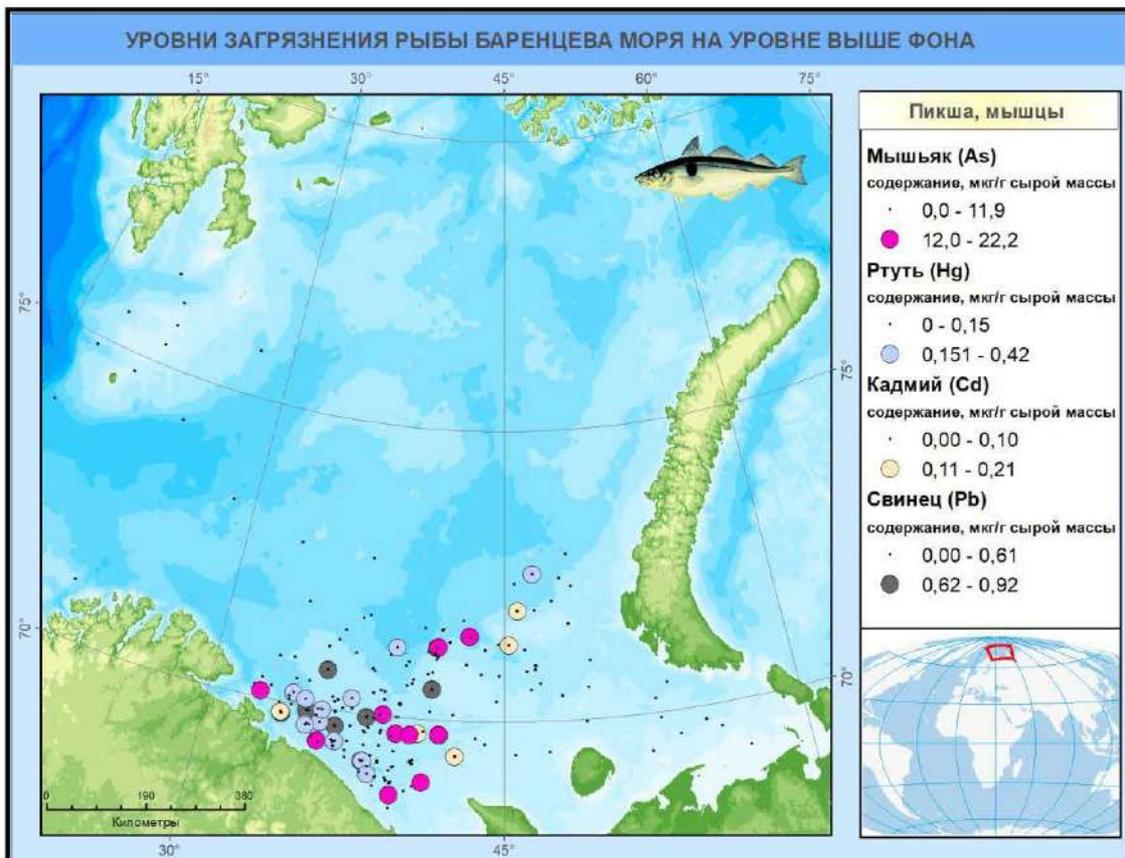
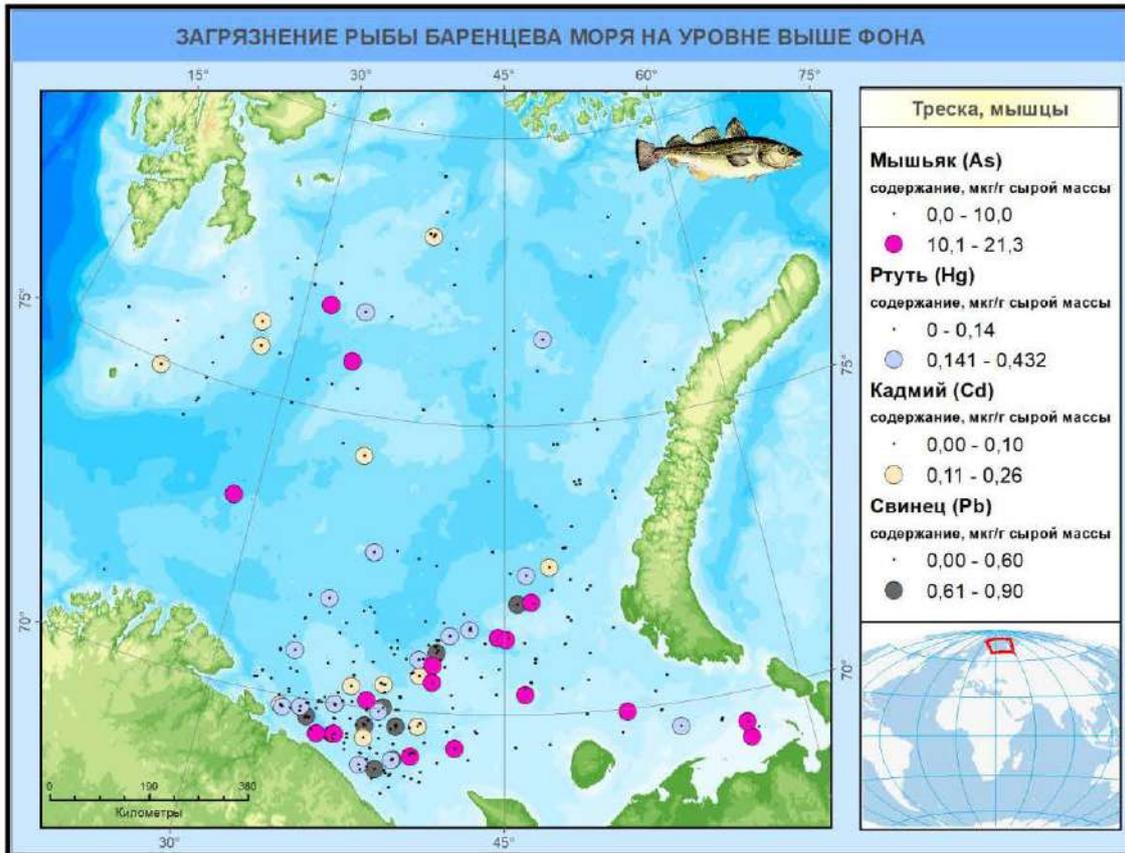
СПЕЦИАЛЬНЫЕ КАРТЫ

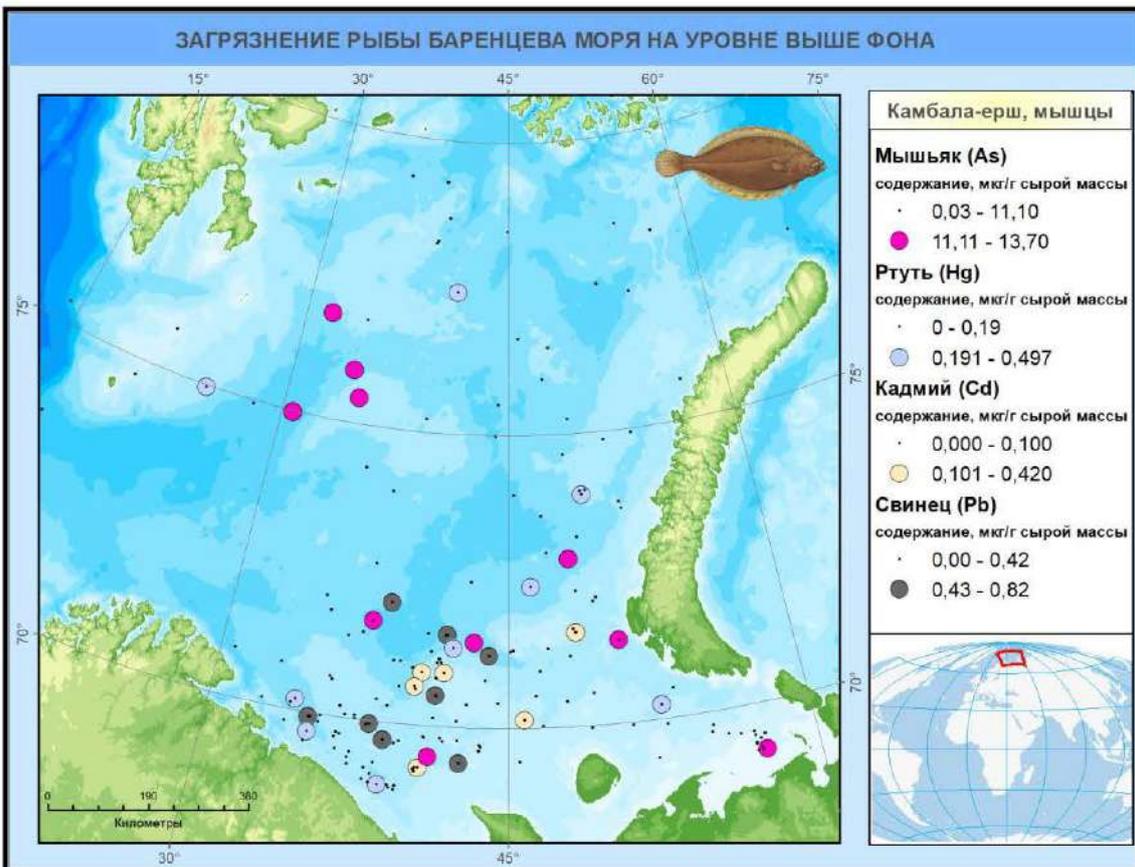
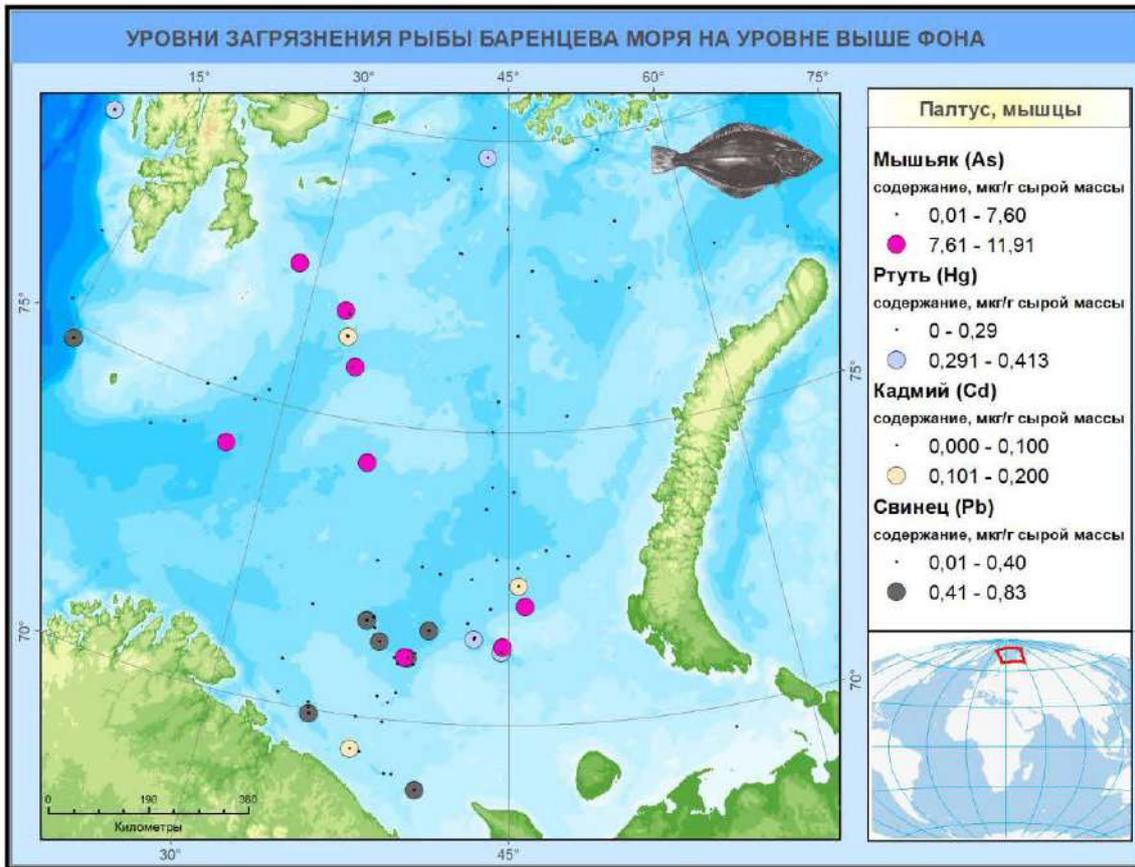
Карты превышения фоновых уровней содержания нормируемых элементов

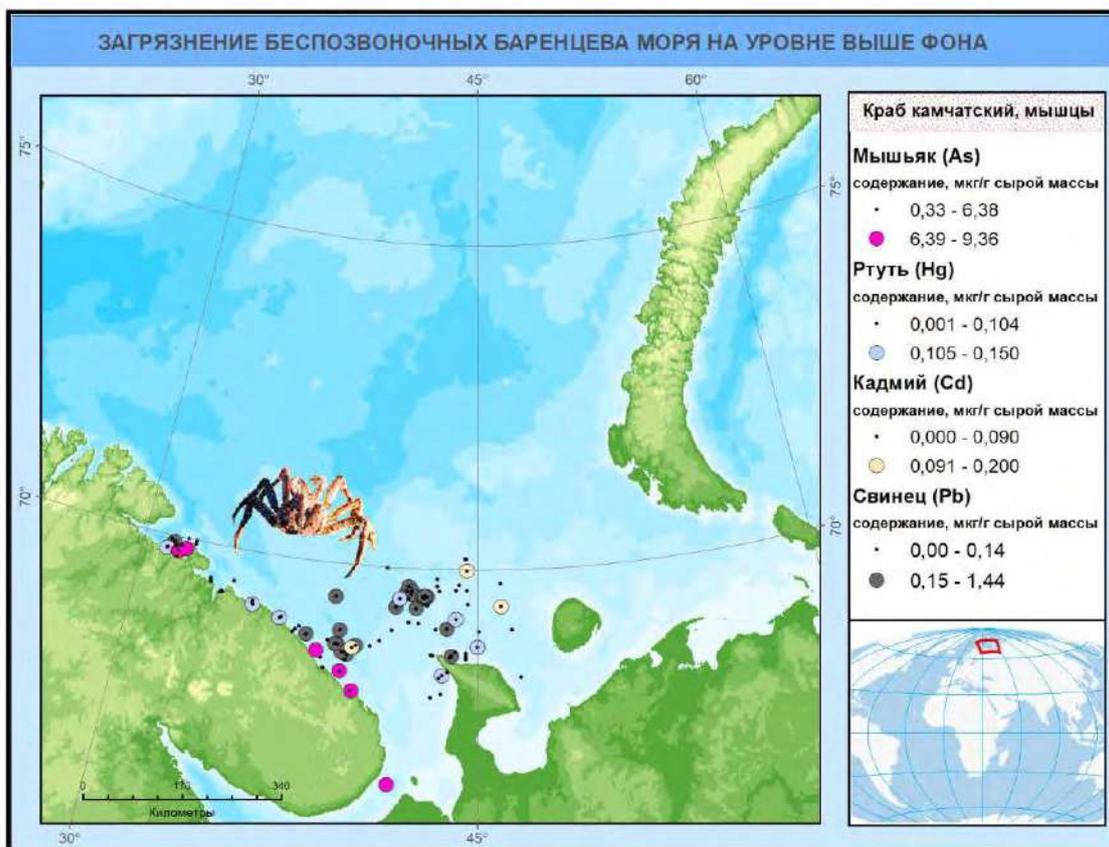
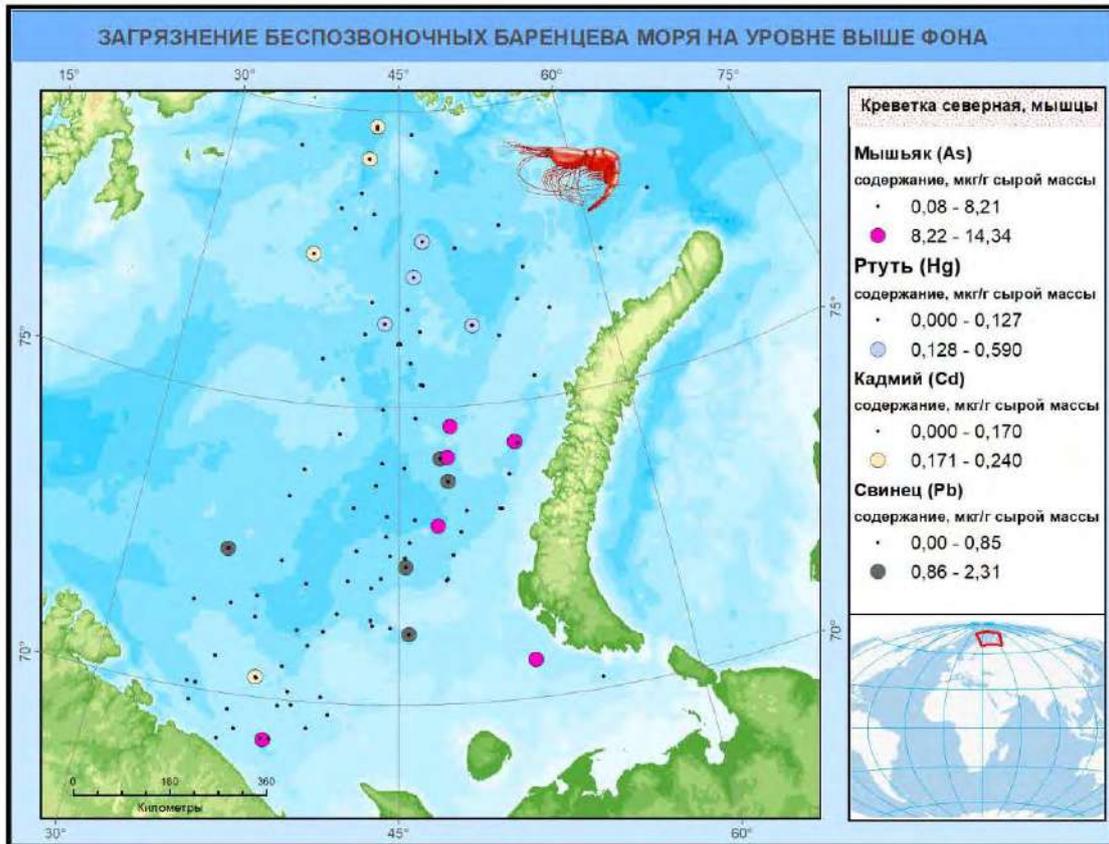
Безопасный уровень содержания ряда высокотоксичных микроэлементов, таких как мышьяк, ртуть, кадмий и свинец в промысловой рыбе (мышцы и печень) определяется нормативом ТР ТС 021/2011 (Технический регламент Таможенного..., 2011), однако практика измерения содержания перечисленных элементов в гидробионтах из различных регионов России показывает периодическое превышение нормативов у представителей местной ихтиофауны. Учеными и специалистами, работающими в регионах, например в Баренцевом море, это превышение, как правило, не увязывается с опасным для потребителей рыбы антропогенным влиянием, что порождает противоречия, связанные с трактовкой этого явления. Наиболее часто «копья ломаются» из-за общего мышьяка, для которого превышение установленного норматива в 5 мг/кг, например в рыбе из Баренцева и Норвежского морей, отмечается регулярно (Новиков, Горбачева, Лаптева, 2021; Norwegian monitoring programme..., 2004; Total and inorganic arsenic..., 2012). В отношении As проблему можно решить через понимание низкой токсичности органического мышьяка, содержание которого в печени рыб достигает 95-99 % от общего (Comparative contribution of..., 2016). Ситуация с содержанием ртути в гидробионтах складывается гораздо лучше, однако и здесь российскими и норвежскими учеными неоднократно отмечалось превышение установленного норматива для общей Hg в 0,5 мг/кг сырой массы (Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 191; Norwegian monitoring programme ..., 2004; Concentrations of mercury..., 2011; Ervik, Lierhagen, Asimakopulos, 2020). По свинцу и кадмию проблемы как таковой пока не наблюдаются.

Для преодоления противоречий в отношении фактического содержания токсичных элементов нами введено понятие фоновый уровень – верхней границы нормального содержания нормируемых микроэлементов в организме рыб. Мы считаем, что содержание элементов в пределах фоновый уровень характерно для данного региона и зависит от его природных особенностей. Превышение фоновый уровень также не следует напрямую связывать с антропогенным загрязнением среды обитания ихтиофауны. Это могут быть отклонения в рамках ошибок при измерении или статистической погрешности. Для проверки гипотезы о возможном антропогенном загрязнении целесообразно использовать географический анализ в среде ГИС.

На представленных ниже картах показано содержание нормируемых элементов в мышцах пяти видов промысловых гидробионтов: трески, пикши, черного палтуса, камбалы-ерша и северной креветки на уровне выше региональных фоновый значений. Фоновый уровни содержания As и Hg в мышцах рыб, Hg в мясе креветки и камчатского краба приведены на основе опубликованных нами данных (Новиков, Горбачева, Лаптева, 2021; Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 191; Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 194), а для Cd и Pb – предварительной оценки, выполненной на основе аналогичного подхода. Для каждого вида рыб установлены фоновый уровни: содержания As в креветке и крабе даны в качестве предварительной оценки. Фоновый уровень на представленных ниже картах показан как пограничное значение между двумя классами: ниже фона (точки) и выше фона (крупные значки – пунсоны).







На картах видно, что частота встречаемости особей атлантической трески, имеющих высокий уровень содержания нормируемых элементов в мышцах, почти не зависит от района ее поимки. Максимальное количество станций отбора проб приходится на южную часть Баренцева моря. Здесь же сконцентрированы случаи встречи рыбы с повышенным содержанием As, Hg, Cd и Pb (цветные пунсоны).

Известно, что треска активно перемещается по морю в процессе нагульных и нерестовых миграций. Внутри популяции трески в Баренцевом море выделяют две экологические группы: мигрирующая океаническая треска и более оседлая прибрежная, обе разделены на несколько стад. Северо-восточная арктическая треска – это океаническая популяция в Баренцевом море, а норвежская прибрежная треска – группа из нескольких оседлых стад (популяций) во фьордах и прибрежных районах. Значительное количество арктической трески встречается осенью вдоль Полярного фронта на теплой стороне (Atlas of the Barents..., 2011). Треска выходит и за пределы Баренцева моря, стаи ее в теплые годы проникают даже в Карское море. На основе сказанного можно отметить, что прибрежная норвежская треска, вероятно, содержит меньше мышьяка, чем треска северо-восточной арктической популяции, причем чем восточнее и севернее, тем чаще встречается высокое содержание As в мышцах трески. Аналогичная ситуация, отмеченная для камбалы-ерша и черного палтуса в северо-западном районе моря, может свидетельствовать в пользу высокого его содержания в среде обитания, а именно в районе желоба Персея (см. батиметрическую карту на с. 171).

Можно отметить, что повышенное содержание As отмечено в основном в области влияния атлантических вод. В области влияния арктических вод, расположенных севернее и восточнее области распространения атлантических вод, рыба с повышенным уровнем содержания всех рассматриваемых элементов практически не встречается (единичные случаи).

Встречаемость особей черного палтуса с содержанием изучаемых элементов выше уровня фона в целом близко к таковому у камбалы-ерша и трески с той разницей, что черный палтус практически не встречается в юго-восточной части Баренцева моря.

У пикши особи с повышенным содержанием нормируемых элементов были пойманы только в прибрежной зоне, на Мурманской банке и единично в районе Северо-Канинской и Гусиной банок, т.е. в зоне влияния атлантических вод, приносимых Нордкапским и Норвежским прибрежным течениями. Похожая ситуация наблюдается с содержанием As в камчатском крабе и северной креветке. Как видно из карты, повышенное содержание общего As в мышцах краба отмечено только в узкой прибрежной зоне, омываемой водами Мурманского прибрежного течения, являющегося продолжением Норвежского прибрежного течения (Oziel, Sirven, Gascard, 2016). Повышенное содержание As также отмечено в креветке, выловленной в области влияния атлантических вод – в струях Мурманского, Новоземельского и Колгуево-Печорского течений (см. карту-схему основных течений на с. 173).

Как видно из представленных выше карт, распределение содержания Hg, Cd и Pb в мышцах камчатского краба по его ареалу в Баренцевом море относительно равномерное. Географические районы пониженного или, наоборот, повышенного содержания этих металлов не выявлены. Для креветки можно отметить, что содержание Hg в мышцах кажется выше в северной части изученного ареала, а точнее к северу от 75° широты. В то же время выполненный статистический анализ (корреляция по Спирмену) не обнаружил связь уровней содержания Hg в креветке с широтой или

долготой расположения станций отбора проб (Новиков, Горбачева, Харламова, 2023, т. 194).

Поскольку никакого стойкого загрязнения атлантических вод, входящих в Баренцево море с запада, рассмотренными нами элементами в предшествующих исследованиях не обнаружено, говорить о загрязнении рыб, встреченных на обширной акватории, не приходится. Показано, что атлантические воды в Баренцевом море в среднем имеют более высокие концентрации Cd, Hg и Pb и, вероятно, мышьяка, чем арктические (Новиков, Драганов, 2017, вып. 34; Новиков, Драганов, 2018, вып. 37). В результате этого откармливающиеся и растущие в них гидробионты могут содержать в своем теле более высокое естественное содержание рассматриваемых микроэлементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеева, Т.Н. Гранулометрический состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря // Т.Н. Алексеева, Н.В. Политова, Н.В. Козина. – Океанология. – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 915-929.

Альберт, А. Избирательная токсичность: В 2 т. / А. Альберт; под. ред. В.А. Филова. – М.: Медицина, 1989. – Т. 2. – 427 с.

Андрияшев, А.П. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод / А.П. Андрияшев, Н.В. Чернова // Вопросы ихтиологии. – 1994. – Т. 34, № 4. – С. 435-456.

Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий / Захаров Д.В., Стрелкова Н.А., Манушин И.Е. [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2018. – 534 с.

Атлас океанов. Северный Ледовитый океан / Отв. ред. С.Г. Горшков. – ВМФ СССР, 1980. – 184 с.

Баканев, С.В. Современные проблемы оценки запаса северной креветки в Баренцевом море / С.В. Баканев // Вопросы рыболовства. – 2020. – Т. 21, № 2. – С. 218-234.

Батиметрическая карта Баренцева и западной части Карского морей / сост. Г.Г. Матишов. – 1:2 500 000 (по широте 72° N). – Апатиты: КНЦ РАН, 1997. – 1 л.

Батурин, Г.Н. О геохимии планктона и взвеси Балтийского моря / Г.Н. Батурин, Е.М. Емельянов, Л.В. Стрюк // Океанология. – 1993. – Т. 33, № 1. – С. 126-132.

Беренбойм, Б.И. Северная креветка (*Pandalus borealis*) Баренцева моря (биология и промысел) / Б.И. Беренбойм. – Мурманск: ПИНРО, 1992. – 136 с.

Буруковский, Р.Н. Питание и пищевые взаимоотношения креветок / Р.Н. Буруковский. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. – 409 с.

Васильков, Г.В. Болезни рыб. Справочник / Г.В. Васильков, Л.И. Грищенко, В.Г. Енгашев; под ред. В.С. Осетрова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 288 с.

Вилер, А. Определитель рыб морских и пресных вод Северо-Европейского бассейна / А. Вилер. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 430 с.

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2016. – 260 с.

Войнар, А.О. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека / А.О. Войнар. – М.: Советская наука, 1953. – 494 с.

Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей: В 3 т. Т. 1. Органические вещества / под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – 7-е изд. перераб. и доп. – Л.: Химия, 1976. – 592 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.1. Баренцево море. – Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 280 с.

Глобальная цифровая модель рельефа ETOPO2. – Текст: электронный // GIS-LAB: Географические информационные системы и дистанционное зондирование. 2005. – URL: <http://gis-lab.info/qa/etopo2.html> (дата обращения: 07.03.2020).

Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (Расширенное резюме) / отв. ред. Б.А. Моргунов. – М.: Научный мир, 2011. – 200 с.

Добровольский, В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

Добровольский, А.Д. Моря СССР (природа, хозяйство) / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. – М.: Мысль, 1965. – 351 с.

Долгов, А.В. Атлас-определитель рыб Баренцева моря / А.В. Долгов; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2012. – 188 с.

Драганов, Д.М. Атлас загрязнения водных масс Баренцева моря / Д.М. Драганов, М.А. Новиков; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ПИНРО им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2020. – 276 с.

Другов, Ю.С. Анализ загрязненной воды: практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 678 с.

Емельянов, Е.М. О причинах повышенных содержаний мышьяка в Балтийском море и Вислинском залива / Е.М. Емельянов, В.А. Кравцов // Геохимия. – 2007. – № 8. – С. 871-888.

Жилин, А.Ю. Данные государственного мониторинга водных биоресурсов Баренцева моря по химическим показателям / А.Ю. Жилин, Н.Ф. Плотицына // Производство рыбной продукции: проблемы, новые технологии, качество: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. (Светлогорск, 6-9 сент. 2011 г.). – АтлантНИРО, 2011. – Ч. 1: Актуал. проблемы развития рыбоперераб. комплекса РФ. – С. 1-10.

Занавескин, Л.Н. Полихлорбифенилы: проблемы загрязнения окружающей среды и технологические методы обезвреживания / Л.Н. Занавескин, В.А. Аверьянов // Успехи химии. – 1998. – Т. 67, № 8. – С. 788-800.

Запевалов, М.А. Мониторинг стойких органических загрязнителей – объективный и независимый инструмент оценки эффективности Стокгольмской конвенции о СОЗ (2001) / М.А. Запевалов // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 295-307.

Зинченко, А.Г. Геоморфологическая основа комплексных ландшафтно-геоэкологических исследований Баренцева моря / А.Г. Зинченко // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. – М.: Научный мир, 2001. – С. 476-481.

Иванов, В.С. Роль промышленных предприятий в формировании загрязнения почвенного покрова кобальтом, медью, свинцом / В.С. Иванов, О.А. Черкасова // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2011. – Т. 10, № 3. – С. 143-150.

Ившин, В.А. Изменчивость термических фронтальных зон Баренцева моря за период 1960-2018 гг. / В.А. Ившин, А.Г. Трофимов, О.В. Титов // Труды ВНИРО. – 2020. – Т. 180. – С. 60-71.

Израэль, Ю.А. Антропогенная экология океана / Ю.А. Израэль, А.В. Цыбань. – М.: Флинта, 2009. – 532 с.

Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки / Госкомрыболовство России. – 2004. – Вып. 1: Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики / ПИНРО; сост. М.С. Шевелев, Ю.И. Бакай, С.М. Готовцев [и др.]. – 2004. – 299 с.

Камчатский краб в Баренцевом море / ПИНРО; отв. ред. Б.И. Беренбойм. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 383 с.

Клюев, Н.А. Определение полихлорированных бифенилов в окружающей среде и биоте / Н.А. Клюев, Е.С. Бродский // Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. – Инф. выпуск № 5 ВИНТИ. – Москва, 2000. – С. 31-63.

Кольский залив: освоение и рациональное использование / отв. ред. Г.Г. Матишов; ММБИ КНЦ РАН. – М.: Наука, 2009. – 381 с.

Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / К.М. Соколов, В.А. Павлов, Н.А. Стрелкова [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 242 с.

Лукьяненко, В.И. Токсикология рыб / В.И. Лукьяненко. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 139 с.

Лурье, Ю.Ю. Химический анализ производственных сточных вод / Ю.Ю. Лурье, А.И. Рыбникова. – М.: Химия, 1974. – 335 с.

Матишов, Г.Г. Рельеф, морфотектоника и основные черты развития шельфа Баренцева моря / Г.Г. Матишов // Океанология. – 1977. – Т. 17, вып. 3. – С. 490-496.

Мельников, Н.Н. Химия и технология пестицидов / Н.Н. Мельников. – М.: Химия, 1974. – 768 с.

Метелев, В.В. Водная токсикология / В.В. Метелев, А.И. Канаев, Н.Г. Дзасохова. – М.: Колос, 1971. – 247 с.

Мур, Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния / Дж. В. Мур, С. Рамаурти; пер. с англ. Д.В. Гричука [и др.]; под ред. Ю.Е. Саета. – М.: Мир, 1987. – 288 с.

Новиков, М.А. Пространственное распределение показателей загрязнения водных масс Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 5. – С.583-589.

Новиков, М.А. Комплексный методический подход к определению фоновых значений уровней содержания микроэлементов в водных массах Баренцева моря на примере Cd, Co, Cu и Ni / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Вестник КРАУНЦ. Сер.: Науки о Земле. – 2017. – Вып. 34, № 2. – С.37-48.

Новиков, М.А. Загрязнение воды и донных отложений области Полярного фронта Баренцева моря тяжелыми металлами / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Вестник МГТУ. – 2018. – Т. 21, № 1. – С. 150-159.

Новиков, М.А. Определение фоновых значений содержания Hg, Zn, Pb и Cr в водных массах Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Вестник КРАУНЦ. Сер.: Науки о Земле. – 2018. – Вып. 37, № 1. – С.72-83.

Новиков, М.А. Атлас загрязнения донных отложений Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ПИНРО им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. – 183 с.

Новиков, М.А. Изменчивость содержания тяжелых металлов в промысловых рыбах Баренцева моря за последнее десятилетие / М.А. Новиков, А.Ю. Жилин // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Владивосток, 20-21 мая 2021 г.). – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2021. – С. 106-110.

Новиков, М.А. Хлорорганические пестициды в промысловых рыбах Баренцева моря в 2020 г. // М.А. Новиков, А.Ю. Жилин // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: матер. XII Национальной (всерос.) научно-практ. конф. (28-29 апреля 2021 г.): в 2 ч. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2021. – Ч. 2. – С. 15-19.

Новиков, М.А. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) / М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, А.М. Лаптева // Известия ТИНРО. – 2021. – Т. 201, вып. 4. – С. 833-844.

Новиков, М.А. Содержание ртути в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) / М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, М.Н. Харламова // Труды ВНИРО. – 2023. – Т. 191. – С.112-123.

Новиков, М.А. Содержание ртути в промысловых ракообразных Баренцева моря / М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, М.Н. Харламова // Труды ВНИРО. – 2023. – Т. 194. – С. 189-201.

Обмен химических элементов в организме карпа при использовании наночастиц кобальта и железа в корме / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Н.Н. Глущенко, С.П. Василевская // Вестник ОГУ. – 2012. – № 6 (142). – С.170-175.

Ожигин, В.К. Водные массы Баренцева моря / В.К. Ожигин, В.А. Ившин. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. – 48 с.

Посохов, Е.В. Гидрохимия / Е.В. Посохов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского гос. ун-та, 1965. – С. 138.

Резников, А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов. – М.: Недра, 1970. – 488 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.

Слизкин, А.Г. Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России / А.Г. Слизкин. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2006. – С. 216-218.

Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева и Белого морей и Северной Атлантики в 2018 г. / А.Л. Карсаков, О.В. Титов, Г.Г. Балякин [и др.]; отв. ред. Е.А. Шамрай: ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2018. – 128 с.

Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2021 г. / Д.И. Александров, А.В. Амелькин, А.С. Амелькина [и др.]: Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. – 146 с.

Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2022 г. / А.С. Амелькина, М.Ю. Анциферов, Ю.И. Бакай [и др.]: Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2022. – 161 с.

Сперанская, А.А. Пограничные слои в геофизической гидродинамике: специальность 01.04.12: автореферат диссертации на соискание степени доктора физико-математических наук / А.А. Сперанская. – Москва, 1982. – 45 с.

Танцюра, А.И. О течениях Баренцева моря / А.И. Танцюра // Тр. / ПИНРО. – 1959. – Вып. 11. – С. 35-53.

Технохимические свойства промысловых рыб Северной Атлантики и прилегающих морей Северного Ледовитого океана / Л.Л. Константинова, Ю.Ф. Двинин, Т.К. Лебская, В.И. Кузьмина. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. – 183 с.

Треска Баренцева моря: биология и промысел / В.Д. Бойцов, Н.И. Лебедь, В.П. Пономаренко [и др.]; ПИНРО. – 2-е изд. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 296 с.

Технический регламент таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011). – М.: Росстандарт, 2011. – 242 с. [https://Действующие_технические_регламенты_\(rst.gov.ru\)](https://Действующие_технические_регламенты_(rst.gov.ru)).

Федоров, К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов / К.Н. Федоров. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 96 с.

Филенко, О.Ф. Основы водной токсикологии / О.Ф. Филенко, И.В. Михеева – М.: Колос, 2007. – 144 с.

Характеристика кормовой базы и питание краба-стригуна опилио в Баренцевом море // Д.В. Захаров, И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова [и др.] – Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 172. – С. 70-90.

Химия окружающей среды / под ред. Дж. О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – 672 с.

Химический состав и биохимические свойства гидробионтов прибрежной зоны Баренцева и Белого морей / Т.К. Лебская, Ю.Ф. Двинин, Л.Л. Константинова [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1998. – 150 с.

Чертко, Н.К. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.

Чибисова, Н.В. Экологическая химия: Учебное пособие / Н.В. Чибисова, Е.К. Долгань. – Калининград: Калининградский университет, 1998. – 113 с.

Яценко, И.Г. Тяжелые нефти России, обогащенные токсоопасными металлами / И.Г. Яценко // Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных проблем и прикладных научных задач. Сессия ИВТН-2011 (Сборник материалов). – М.: НВК «ВИСТ», 2011. – С. 41.

AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme. – Oslo, Norway, 2004. – 310 p.

AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2005. – 265 p.

Anke, M.K. Trace elements intake and balance of adults in Central Europe / M.K. Anke // ТЕМА – 10P. Evian. 3-7 of May, 1999. – Evian, 1999. – P. 33.

Atlas of the Barents Sea Fishes / R. Wienerroither, E. Johannesen, A. Dolgov [et al.] // IMR/PINRO Joint Report Series. – 2011. – Is. 1-2011, ISSN 1502-8828. – 272 p.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological profile for chlordane. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. – May 1994 (CAS#: 12789-03-6). – 6 p.

Biotransformation of inorganic arsenic in a marine herbivorous fish *Siganus fuscescens* after diet borne exposure // W. Zhang, L. Chen, Y. Zhou [et al.] // Chemosphere. – 2016. – Vol. 147. – P. 297-304.

Clark, R.B. Marine pollution. Fifth edition / R.B. Clark. – Oxford University Press, USA, 2011. – 230 p.

Comparative contribution of trophic transfer and biotransformation on arsenobetaine bioaccumulation in two marine fish / W. Zhang, Z. Guo, Y. Zhou [et al.] // Aquat. Toxicol. – 2016. – Vol. 179. – P. 65-71.

Concentrations of mercury, arsenic, cadmium and lead in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) caught off the coast of northern Norway / K. Julshamn, S. Frantzen, S. Valdersnes [et al.] // Mar. Biol. Res. – 2011. – Vol.7 (8). – P. 733-745.

Ervik, H. Elemental content of brown crab (*Cancer pagurus*) – Is it safe for human consumption? A recent case study from Mausund, Norway / H. Ervik, S. Lierhagen, A.G. Asimakopoulos // Sci. Total Environ. – 2020. – Vol. 716: 135175.

Isolation, crystal structure and synthesis of arsenobetaine, the arsenical constituents of the western rock lobster *Panurillus longipes cygnus* George / J.S. Edmonds,

K.A. Francesconi, J.R. Cannon, C.L. Raston [et al.] // *Tetrahedron Lett.* – 1977. – Vol. 18(18). – P. 1543-1546.

Jmol colors Текст: электронный. – Режим доступа: <http://jmol.sourceforge.net/jscolors/#JavaScript%20colors>. – Англ. (дата обращения: 07.03.2020).

Norwegian monitoring programme on the inorganic and organic contaminants in fish caught in the Barents Sea, Norwegian Sea and North Sea, 1994-2001 / K. Julshamn, A.K. Lundebye, K. Heggstad [et al.] // *Food Additives and Contam.* – 2004. – Vol. 21. – P. 365-376.

Ozhigin, V.K. The Eastern Basin Water and currents in the Barents Sea / V.K. Ozhigin, A.G. Trofimov, V.A. Ivshin // *ICES CM 2000/L:14.* – 19 p.

Oziel, L. The Barents Sea frontal zones and water masses variability (1980-2011) / L. Oziel, J. Sirven, J.-C. Gascard // *Ocean Sci.* – 2016. – Vol. 12. – P. 169-184.

Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters / K. Julshamn, B.M. Nilsen, S. Frantzen et al. // *Food Additives and Contam.: Part B: Surveillance.* – 2012. – Vol. 5, Is .4. – P. 229-235.

Regionally based assessment of persistent toxic substances: Central and North East Asia regional report / United Nations Environment Programme. Chemicals. – Geneva: UNEP, 2002. – 115 p.

Zhang, W. Biotransformation and detoxification of inorganic arsenic in a marine juvenile fish *Terapon jarbua* after waterborne and dietborne exposure / W. Zhang, L. Huang, X. Wang // *Journal of Hazardous Materials.* – 2012. – Vol. 221-222. – P. 162-169.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность и благодарность настоящим и бывшим сотрудникам лаборатории химико-аналитических исследований, ранее рыбохозяйственной экологии ПИНРО Т.А. Зимовой, У.П. Багрянцевой, В.П. Разинкову, И.П. Косаревич за огромную работу по химическому анализу проб промысловых гидробионтов, результаты которой положены в основу атласа.

Большое спасибо всем сотрудникам, принимавшим участие в многочисленных научно-исследовательских экспедициях в Баренцевом и Карском морях, начальникам рейсов А.В. Амелькину, П.В. Кривошее, Н.Н. Лукину, Д.В. Прозоркевичу, А.А. Русских, М.О. Рыбакову, Е.В. Сентябову, А.М. Соколову, А.В. Стецько и другим, благодаря самоотверженному труду которых были отобраны пробы рыбы и промысловых ракообразных для химико-аналитических исследований.

Авторы также выражают признательность начальнику центра экологического мониторинга Полярного филиала А.Ю. Жилину за моральную и консультативную поддержку, создание условий, необходимых для успешной подготовки настоящего атласа к печати.

СОДЕРЖАНИЕ

Об атласе.....	5
Краткая характеристика исследованных поллютантов.....	7
Загрязняющие вещества в промысловых рыбах.....	19
Треска.....	19
Пикша.....	34
Палтус синекорый (черный).....	49
Камбала-ерш.....	64
Камбала морская.....	79
Зубатка пестрая, или пятнистая.....	94
Зубатка полосатая.....	109
Мойва.....	124
Загрязняющие вещества в промысловых ракообразных... ..	132
Камчатский краб.....	132
Краб-стригун опилио.....	147
Креветка северная	162
Справочные карты.....	170
Батиметрическая карта.....	170
Водные массы и течения	172
Специальные карты.....	174
Карты превышения фоновых уровней содержания нормируемых элементов.....	174
Список использованной литературы.....	180
Благодарности.....	186

М.А. Новиков, А.М. Лаптева, М.Н. Харламова

**АТЛАС ЗАГРЯЗНЕНИЯ
промысловых гидробионтов
БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

Редактор Е.Н. Кривошеева
Техническое редактирование Е.Н. Кривошеевой
Обложка О.С. Морозовой

Подписано в печать 22.05.2024 г.

Уч.-изд. л. 18,8.

Заказ 8.

Усл. печ. л. 21,9.

Формат 60x84/8.

Тираж 25 экз.

183038, Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО».
«ПИНРО» им. Н.М. Книповича.