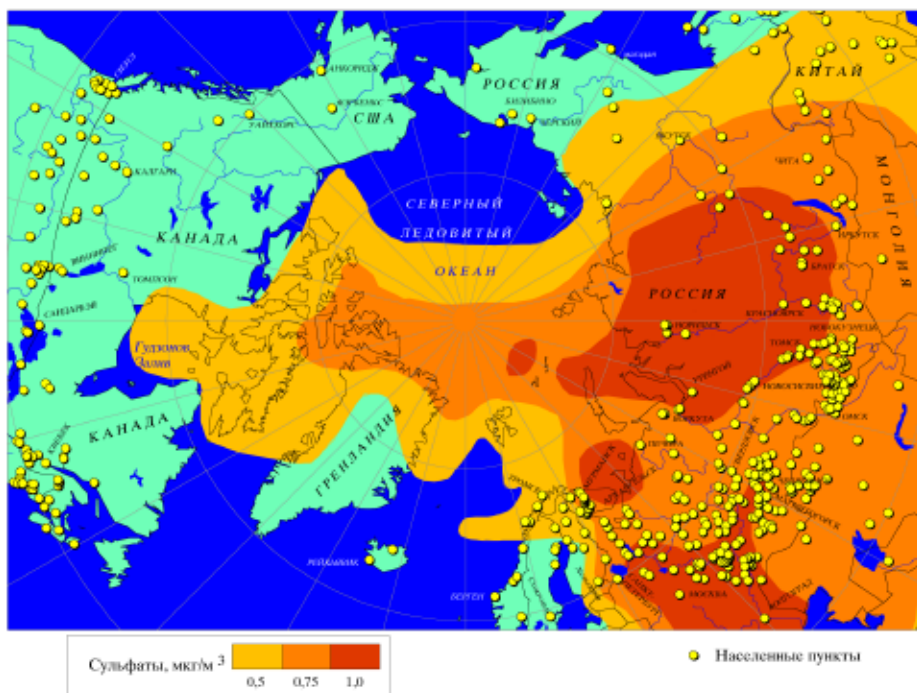


II

ПУТИ ПЕРЕНОСА



2.1 АТМОСФЕРНЫЙ ПЕРЕНОС ЗИМНИХ СУЛЬФАТОВ. 1983 Г.



месяцев, когда облако дымки размером с Африку покрывает большую часть региона. Атмосферные потоки проносят эту дымку через Арктику со стороны Евразии в Гудзонов залив и далее (см. об этом также раздел 3). Большая часть загрязняющих веществ из Северной Америки, напротив, поступает в северную часть Атлантического океана и южную Гренландию.

Частицы сульфатов, поступающие в атмосферу в результате сгорания серосодержащего топлива, сжигания и других промышленных процессов, действуют как средство транспортировки таких загрязнителей, как тяжелые металлы, органические соединения хлора и некоторые радионуклиды. Вследствие экстремально низких арктических температур, осаждение загрязнителей из атмосферы очень мало. Вместо этого, они остаются в воздухе в течение недель и даже месяцев и поэтому могут переноситься на огромные расстояния. Типичная продолжительность атмосферного переноса из Европы в Канаду составляет 2 недели [АМАР, 1997]. Однако некоторое осаждение загрязняющих веществ может происходить во время их переноса над полярным морским ледовым покровом.

II. ПУТИ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Существуют четыре механизма переноса загрязняющих веществ в Северном Ледовитом океане: атмосферный, речной, океанический и биогенный.

Взаимодействия между этими механизмами позволяют загрязняющим веществам преодолевать огромные расстояния.

Атмосферный перенос

Наиболее яркая особенность атмосферного переноса в Арктике проявляется в течение зимних и летних

Речной и океанический пути переноса

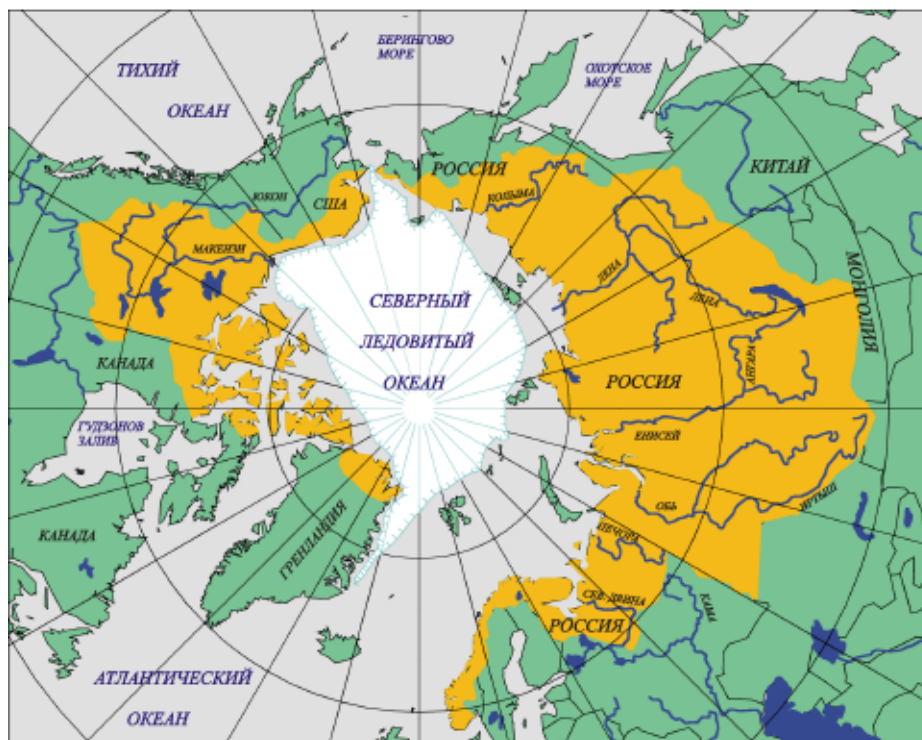
Терригенные загрязнители поступают в обширную сеть арктических рек и переносятся ими в Северный Ледовитый океан. Многие из этих рек (например, Обь, Енисей, Лена и Маккензи) берут свое начало значительно южнее Северного полярного круга и переносят огромные объемы пресной воды и осадков в Северный Ледовитый Океан. Часто наземные пути переноса являются сложными и включают взаимодействие между талым снегом, поверхностными и

2.2 ПУТИ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА В АРКТИКУ



2.3

ВОДОСБОРНЫЙ БАССЕЙН АРКТИКИ



Водосборный бассейн

в замороженном состоянии в арктическом морском льде. Другие относительно малорастворимые соединения адсорбируются частицами взвесей или осадками. Эти соединения часто концентрируются на участках, где развиты осадки с высоким содержанием органического углерода и тонкодисперсных фракций (глинистой и алевритовой).

Весеннее и летнее таяние

Физические явления, которые в Арктике управляют переносом загрязняющих веществ с суши в акваторию, в значительной степени зависят от времени года. Обширные речные потоки, вызванные быстрым таянием снегов и льда, усиливают наиболее драматическое событие года, наступление весны и лета, когда температура в большей части Арктики устанавливается выше точки замерзания. Переносимые по воздуху загрязняющие вещества, которые накопились в снежном

подземными водами, реками и осадочным материалом.

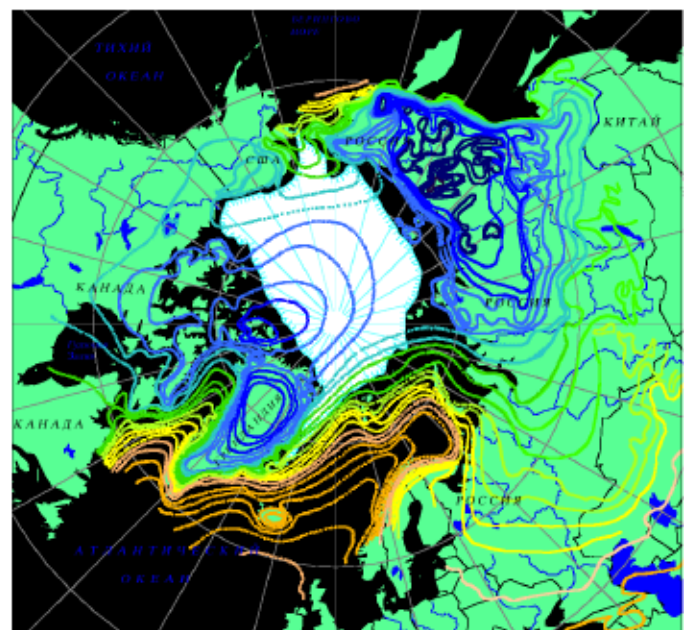
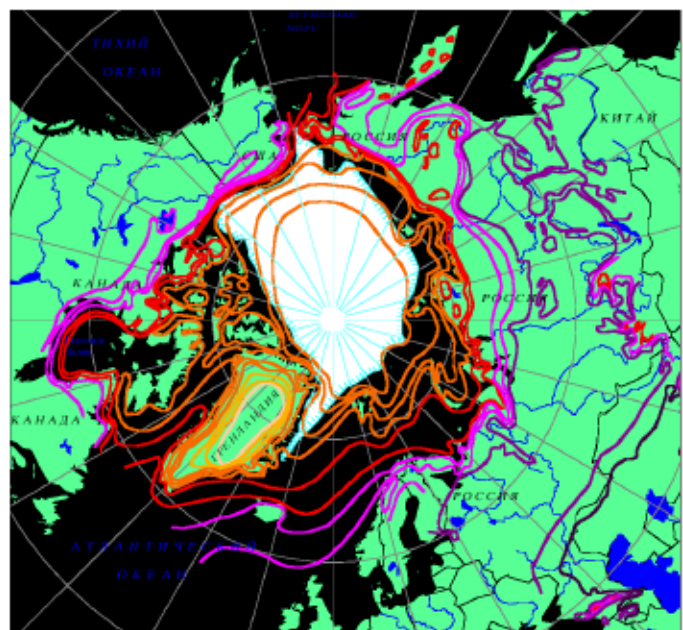
В среднем, арктические реки поставляют в Северный Ледовитый Океан более 4 200 км³ пресной воды в год, причем большая часть поступает из российских рек. Кроме этого, туда ежегодно поступает около 221 млн. т осадков, из которых более 73 млн. т приходится на

6 российских рек, 60 млн. т поступает из реки Юкон, США, и 42 млн. т приносят реки Маккензи и Нельсон, Канада [АМАР, 1997].

Водорастворимые соединения, такие как соли стронция, кадмия, никеля и цинка могут переноситься далеко в акваторию или в течение некоторого времени сохраняться

2.4

СРЕДНЯЯ ТЕМПЕРАТУРА В АРКТИКЕ



5А. ЛЕТНЯЯ

Температура, °С

5Б. ЗИМНЯЯ



2.5

МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА В АРКТИКЕ



покрове в течение зимы, могут попасть в талую воду и местную речную систему. Скванные льдом реки могут вызвать наводнения, которые затопляют огромные пойменные площади, где осаждаются различные химические компоненты. Время от времени гигантские потоки могут эродировать десятилетиями накопленный материал пойм, перемещая его в океаны.

Заболоченные территории (ветланды) также представляют собой важный источник загрязнения для талой воды, поступающей в речные природные среды. Высокие концентрации торфа в заболоченных землях способствуют накоплению загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферы. Некоторые из этих веществ связываются с органическим веществом ветландов и во время

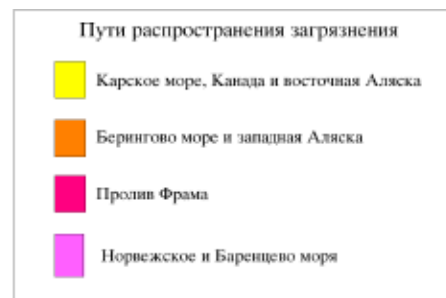
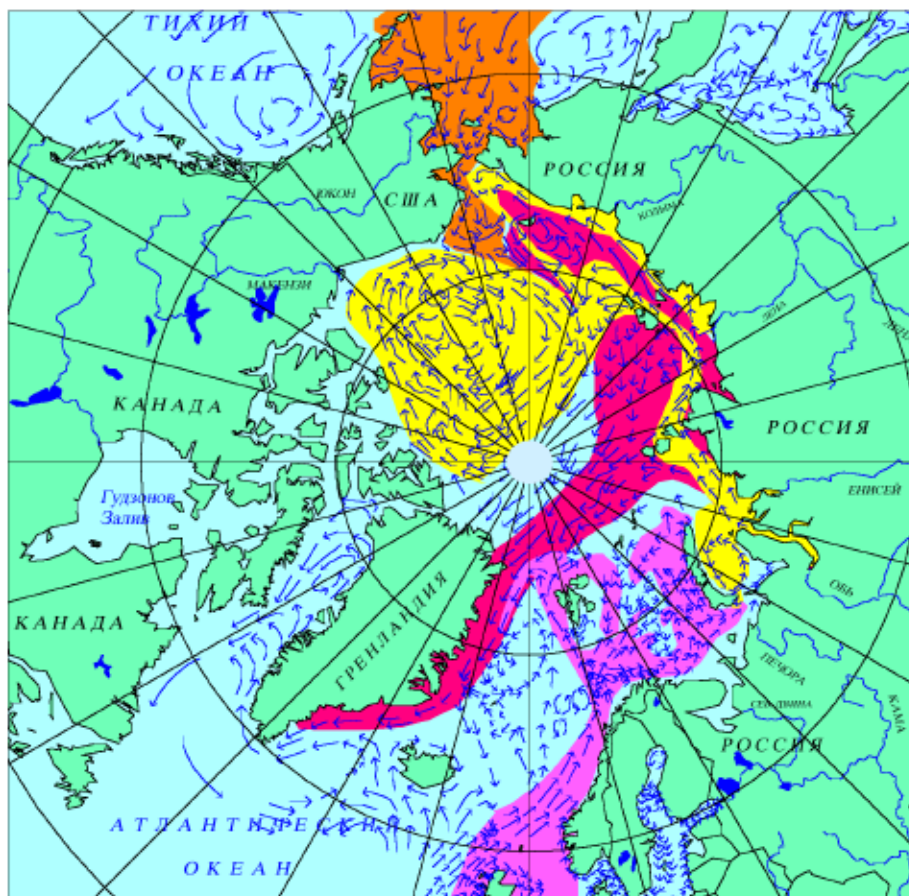
паводков поступают в водотоки [Skotvold and Wartena, 1997].

Большая часть арктической суши и некоторых районов континентального шельфа

остается замороженной в течение всего года. Известное как многолетняя мерзлота, это явление затрудняет передвижение воды через грунт и вместо этого



Замёрзшее озеро близ Анкориджа, Аляска



лед соединится с морским паковым льдом, то поверхностные течения внутри и вокруг Арктики могут вынести осадки вместе с дрейфующим льдом.

При смешивании пресной и соленой воды происходит образование коллоидных частиц и их осаждение. Определенные растворенные вещества также могут подвергаться флокуляции в условиях, когда кислотность и соленость воды меняются, например, при смешивании морских и речных вод. В этом случае органическое вещество и минеральные компоненты могут соединяться, образуя взвешенные частицы, которые выпадают из водной толщи в осадок [Skotwold and Wartena, 1997]. В центральной Арктике взвеси немного, и поллютанты могут дольше оставаться в растворенном состоянии. С наступлением зимы морская вода замерзает, формируя морской лед и рапу (концентрированный раствор солей) в его нижней части. Водорастворимые вещества остаются с рапой и погружаются

вызывает ее быстрый сток в местные потоки, озера и реки. Кроме того, талая вода размывает осадки грунта. Взвешенные частицы представляют собой активные поверхности, с которыми могут связываться загрязняющие вещества. Так как арктические реки в течение короткого летнего сезона поставляют в Северный Ледовитый океан огромные количества пресной воды, радионуклиды и химические вещества, которые поступают в Арктику с помощью речных путей переноса, по-видимому, так и ведут себя в потоках вод, которые распространяются на сотни миль в океан [Pavlov and Pfirman, 1995].

Осадочный перенос из рек в океан

В течение весеннего таяния поллютанты поступают в реки, дельты, эстуарии и близрасположенный океан вместе с волнами пресной воды, несущей осадки. Дельты и эстуарии часто служат ловушками

для частиц, содержащихся в речной воде. Самые мощные отложения осадков в Арктике находятся в дельтах рек Лена в России и Маккензи в Канаде. Только около 10% осадочного вещества, переносимого реками Обь и Енисей, попадает за пределы Карского шельфа в Северный Ледовитый океан [Karcher et al., 1997].

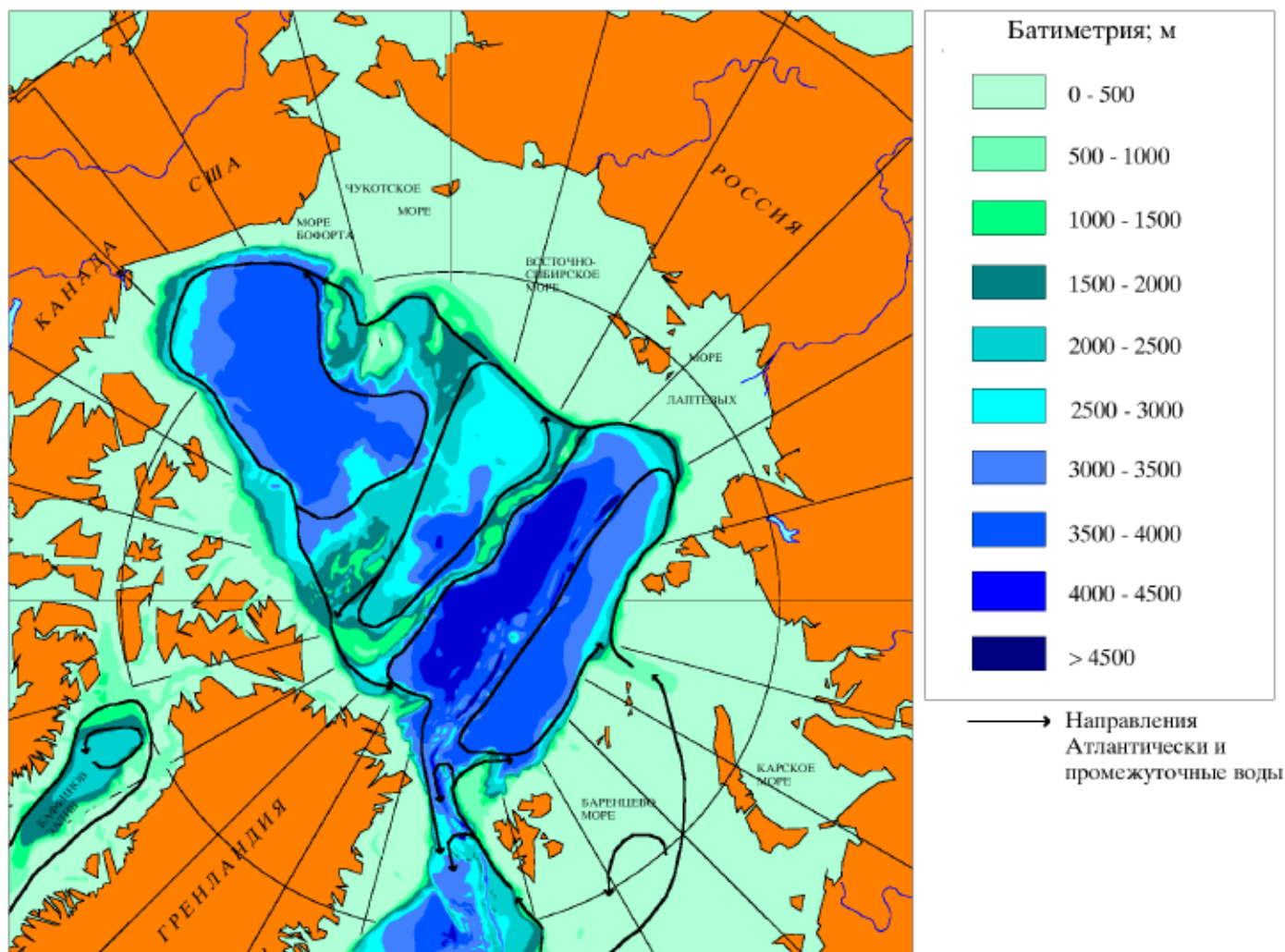
Если реки разгружаются на обширные окраинные льды, примерзшие к морскому дну, то часто слой темных осадков, сохранившийся на льду, поглощает тепло, тем самым ускоряя весеннее взламывание льда, и осадки оседают на дно вблизи береговой линии. Если река разгружается на плавучий морской лед, загрязняющие вещества могут оказаться включенными в его состав и будут перенесены в Северный Ледовитый океан. Если же лед “заякорен” на мелководном континентальном шельфе, он может собирать осадки, включая их в придонную часть ледового покрова. Если этот шельфовый



рисунок ненецкого ребенка

вместе с ней. Если водная толща не стратифицирована, рапа смешивается с окружающей водой и погружается на морское дно.

2.7 РЕЖИМЫ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД

**Циркуляция в Северном Ледовитом океане**

Перемещение поверхностных вод и льда в Арктику и из нее ограничивается двумя основными проходами: проливом Фрама (и Баренцевым морем) и Беринговым проливом. Норвежское течение переносит промышленные сбросы и загрязняющие вещества из Северной Атлантики и Северного и Балтийского морей в Баренцево и Карское моря, а также в Северный Ледовитый океан. Загрязняющие вещества из северной части Тихого океана могут поступать в Арктику через мелководный Берингов пролив.

Движение воды в Северном Ледовитом океане определяется Трансарктическим течением, которое переносит поверхностные воды от шельфов Сибири через Евразийский бассейн в пролив Фрама, и циркуляцией Бофорта, которая

вращает поверхностные воды и лед вокруг берегов Канады и Аляски, сезонно получая воду и лед из Трансарктического течения. Считается, что этот сезонный “захват” представляет собой основной путь переноса к северным берегам Аляски из Евразии. Кроме того, обширное сибирское прибрежное течение переносит стоки сибирских рек на восток, по направлению к Берингову проливу. Переменные ветры вызывают сезонный обмен между этими тремя основными путями переноса Арктических поверхностных вод, но обычно перенос поверхностных вод и льда от континентальных шельфов восточной Арктики, Аляски и Канады в пролив Фрама между Гренландией и Шпицбергенем занимает 5 - 6 лет [АМАР, 1997].

Под поверхностным слоем залегает полярный смешанный слой, за которым следует галоклин (глубина 50-200 м).

Галоклин - это переходная зона в водной толще, где плотность морской воды значительно увеличивается с глубиной. Над галоклином расположен смешанный слой, где зимой образуется рапа (рассол), а летом туда поступает пресная речная вода и талая вода из морского льда. Загрязняющие вещества, отложившиеся из атмосферы и рек, могут переноситься в смешанном слое в глубоководную часть океана. Этот слой может накапливать и водорастворимые поллютанты, а затем переносить их через континентальные шельфы и по глубоководным каньонам в Арктические котловины. Осенью и зимой, когда поверхностные воды охлаждаются и образуется лед, (и, соответственно, рассол), этот стратифицированный по плотности слой может распасться, в результате чего поверхностные воды опустятся на большую глубину, а придонные



Шведская YMER экспедиция пробивает путь через льды Арктики



Группа геофизиков готовится к работе на морском льду

воды поднимутся к поверхности, т.е. произойдет перемешивание поверхностных и придонных вод [Pfirman et al., 1997].

Вертикальная циркуляция Северного Ледовитого Океана определяется его плотностной структурой. В течение лета имеющие низкую плотность пресная речная вода и талая вода, образовавшаяся в результате таяния льда, поступают в поверхностный смешанный слой (глубина 0-50 м). Расположенный под ним переходный галоклин (глубина 50-200 м) претерпевает значительное увеличение плотности с глубиной. Именно галоклин препятствует вертикальному перемешиванию с более глубокими водами и накапливает загрязняющие вещества, отложенные из атмосферы и рек [Macdonald et al., 1997]. Вдоль континентальных шельфов перемешивание между стратифицированными слоями происходит осенью и зимой, когда поверхностные воды

охлаждаются, образуя лед и рапу. Эта высоко плотностная рапа погружается, замещаясь придонными водами, которые поднимаются к поверхности, таким образом перемешивая поверхностные и придонные воды. В центральной части Северного Ледовитого океана стратификация имеет интенсивный характер, изолируя каждый слой за исключением погружающегося дисперсного вещества, которое опускается через водную толщу [Aagaard and Carmack, 1994].

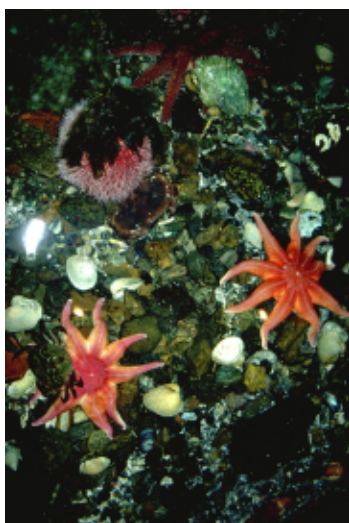
Ниже 800 м залегают глубинные воды Северного Ледовитого океана, которые заключены, в основном, в Канадском и Евразийском бассейнах. Глубинные воды поступают в эти бассейны из Атлантического океана только через пролив Фрама. Плотные воды с континентальных шельфов могут периодически поступать в бассейны, объединяясь с движущейся по

часовой стрелке водной массой [Rudels et al., 1994]. Воды в глубоких бассейнах имеют тенденцию к продолжительному времени пребывания (до 250-300 лет) по сравнению с поверхностными водами (1-5 лет) и водами галоклина (10 лет) [Schlosser et al., 1995].

Биота

Живые организмы могут переносить загрязняющие вещества в Арктику, внутри нее и из нее. Загрязняющие вещества могут попадать в организмы животных вместе с водой и пищей, а также в процессе дыхания. Оказываясь в организме, одни загрязняющие вещества могут быстро выйти из него, в то время как другие задерживаются в организме на продолжительный срок и накапливаются в тканях, особенно в жировых. Некоторые химические вещества демонстрируют наивысшую биоаккумуляцию. Эти вещества

АРКТИЧЕСКАЯ ПИЩЕВАЯ ЦЕПОЧКА



- ▲ Хищники третьего уровня
- ▲ Хищники второго уровня
- ▲ Хищники первого уровня
- Растительноядные
- Первичные продуценты

НАЗЕМНЫЕ, ОЗЕРНЫЕ И ТУНДРОВЫЕ ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ

МОРСКИЕ ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ



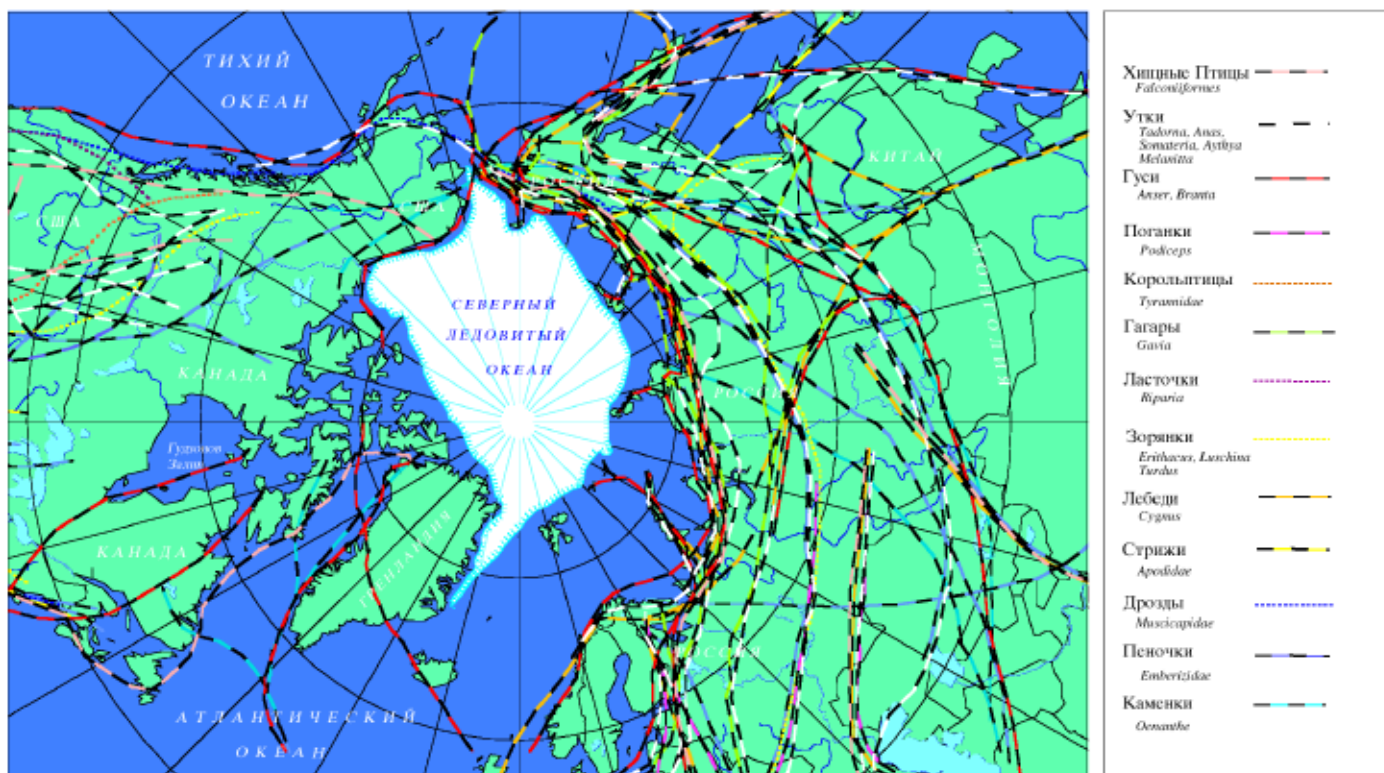
(например, ртуть и ПХБ) не растворяются в воде, но вместо этого растворяются в жирах и маслах. В некоторых случаях накопление загрязняющих веществ усиливается у хищников, находящихся на высоких уровнях пищевой цепи, - от хищных птиц до человека.

Из 10 млн. птиц, населяющих Арктику, только около 10 видов живет там в течение всего года [Bguemmer, 1986]. Остальные птицы являются перелетными, и они прилетают в Арктику только на время выведения потомства в течение

короткого летнего сезона. Некоторые из них преодолевают во время таких ежегодных перелетов огромные расстояния. Например, Антарктическая крачка ежегодно пролетает путь от высокоширотной Арктики до Антарктики и назад (40 000 км) [National Geographic Society, 1979]. Многие из этих птиц (например, крачки, гагары, тупики и чайки) являются хищными и питаются, в основном, рыбой [National Geographic Society, 1987; Sage, 1986]. В течение зимних месяцев они могут накапливать

Вверху: белый медведь, Шпицберген
 В центре: куропатка, Аляска
 Внизу: бентосные морские организмы, северное побережье Норвегии

2.8 ПУТИ МИГРАЦИИ НАЗЕМНЫХ, ОЗЕРНЫХ И БОЛОТНЫХ ПТИЦ.



загрязняющие вещества в промышленных районах далеко на юге и затем, когда они сами станут добычей хищников, переносить загрязнители в организмы арктических животных [Gabrielsen et al., 1997].



В центре: Жизнь ненцев; рисунок школьника, Россия. Внизу: резба по моржовой кости, птица, тюлень, заяц, Аляска.



Пути загрязнения морских сред

Распространение некоторых загрязнителей в арктической среде начинается с загрязненной морской воды, которая потребляется содержащимися во льду водорослями (мелкими растениями, прикрепленные ко

2.9 ПУТИ МИГРАЦИИ МОРСКИХ, БЕРЕГОВЫХ И БОЛОТНЫХ ПТИЦ



льду) или фитопланктоном [Muir et al., 1992b]. Когда зоопланктон, такой как копеподы, и придонные беспозвоночные, такие как моллюски, потребляют водоросли, поллютанты попадают в пищевую цепь. Зоопланктон является основной источником пищи для многих ракообразных, которые затем поедаются различными рыбами, птицами и китами [Sage, 1986].

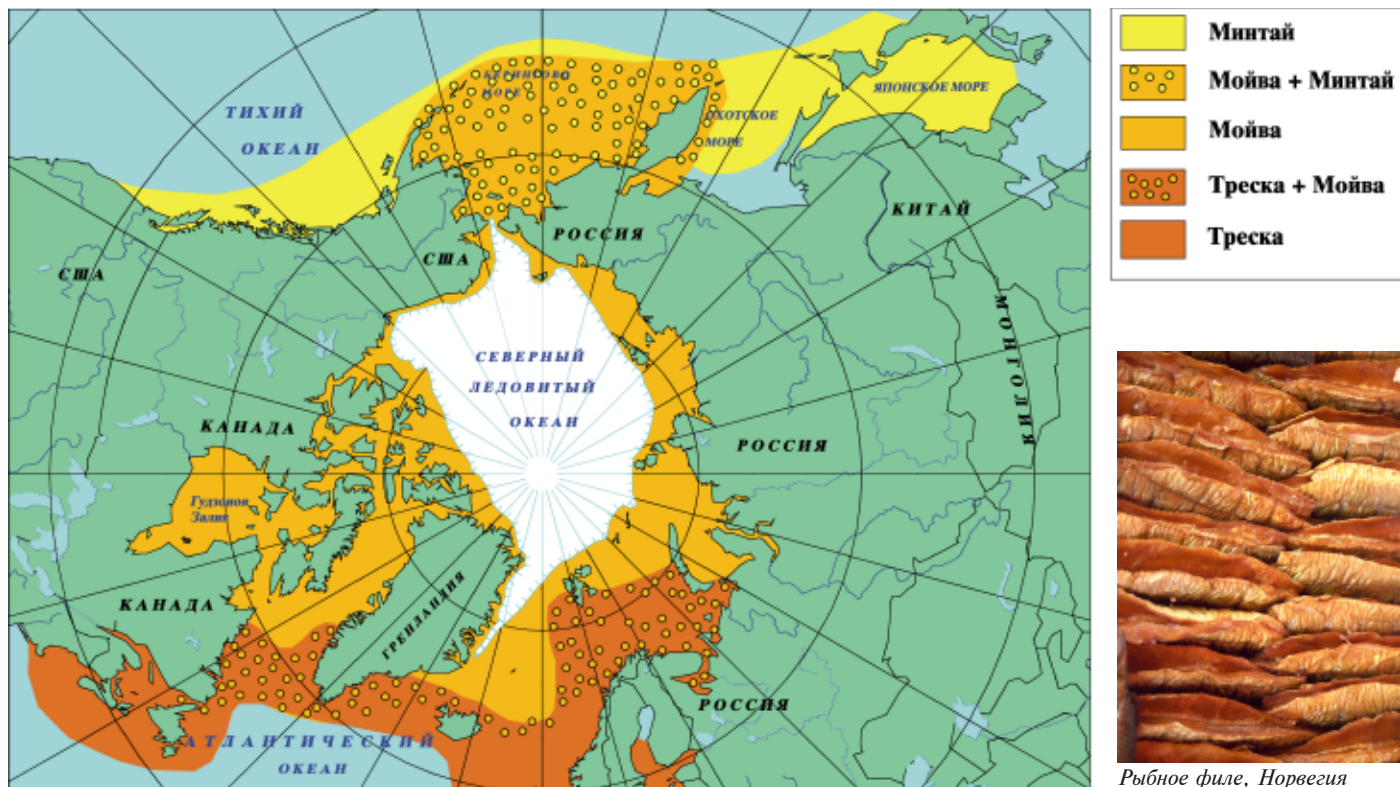
Основным путем загрязняющих веществ по пищевой цепи до белых медведей является арктическая треска. Треска, которая питается копеподами, является основной пищей кольчатой нерпы, белухи и нарвала в течение летних месяцев. Кольчатая нерпа, в свою очередь, является основной

добычей белого медведя. Отдельный, но также важный путь переноса - через моржа, который питается бентосными организмами, такими как моллюски. Наконец, человек потребляет белого медведя, тюленя, белуху, нарвала, моржа, треску и палтуса [Muir and Norstrom, 1994].

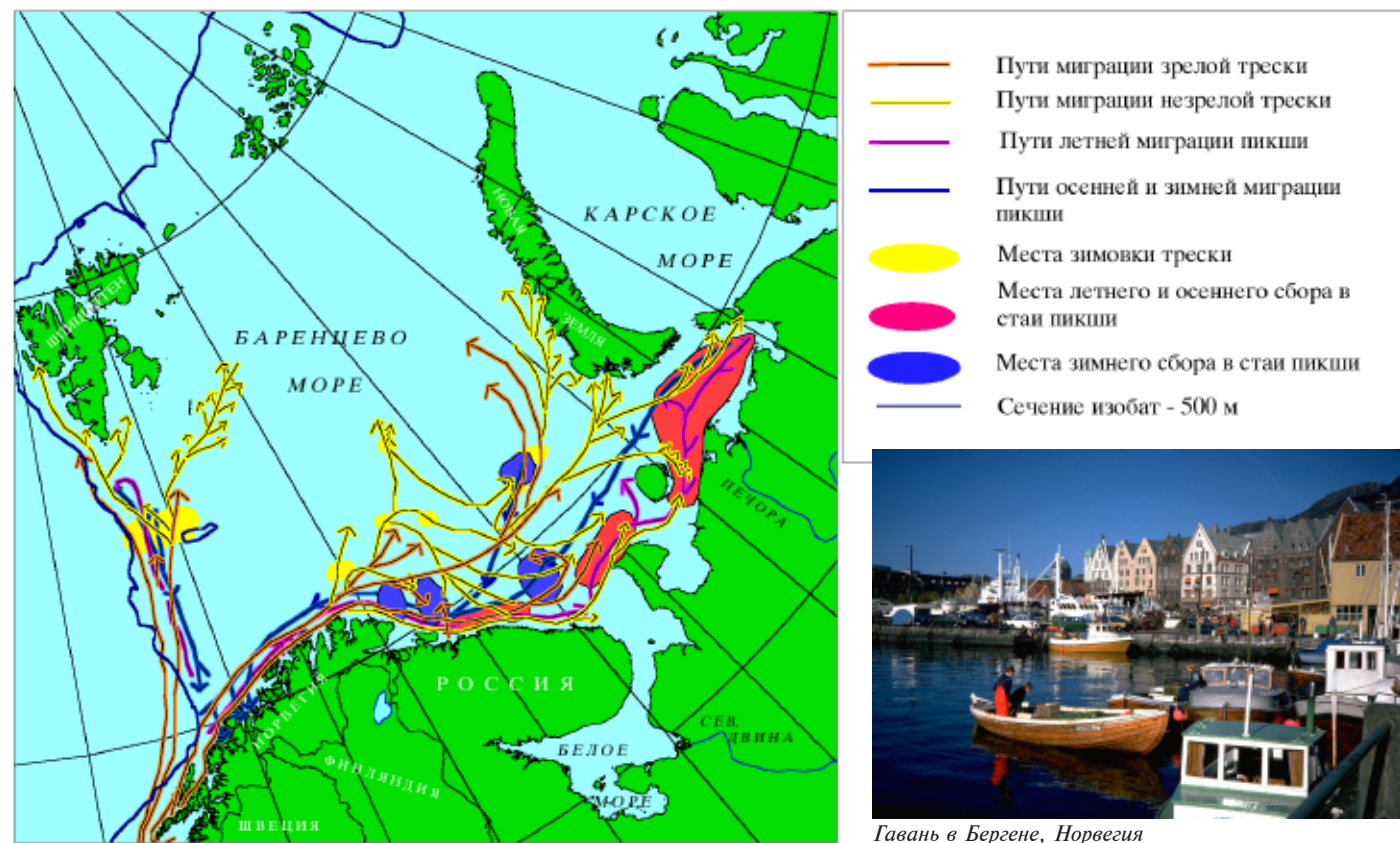


Чайка, Шпицберген

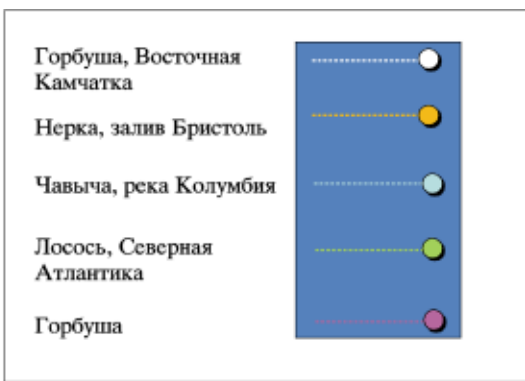
2.10 ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕСКИ, МОЙВЫ И МИНТАЯ.



2.11 ПУТИ МИГРАЦИИ ТРЕСКИ И ПИКШИ

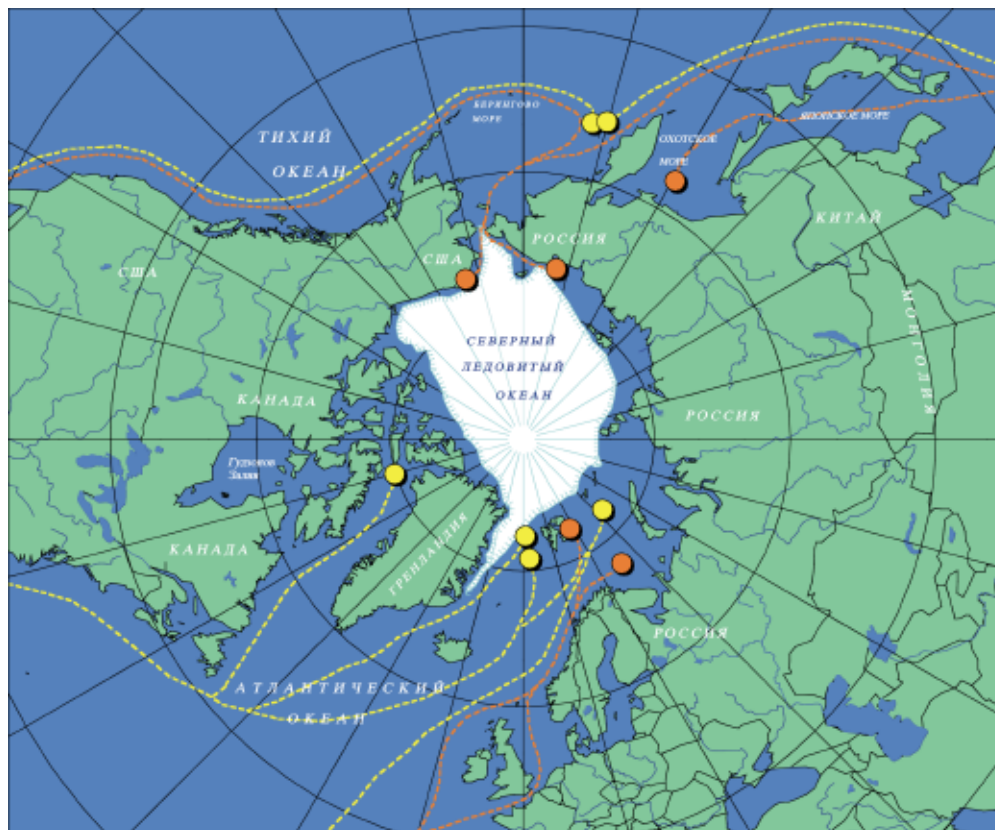


2.12 ПУТИ МИГРАЦИИ ЛОСОСЕВЫХ



Свежая макрель, Тромсе, Норвегия

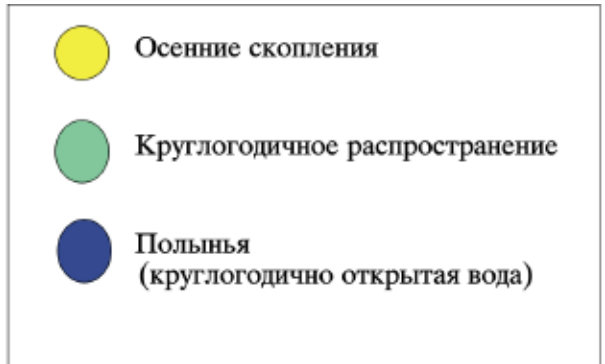
2.13 ПУТИ МИГРАЦИИ КИТОВ



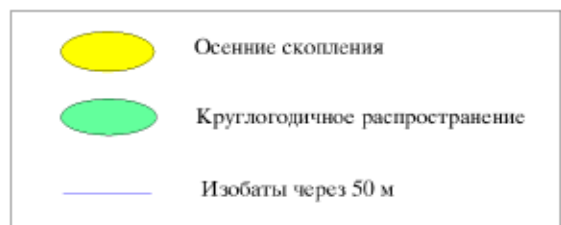
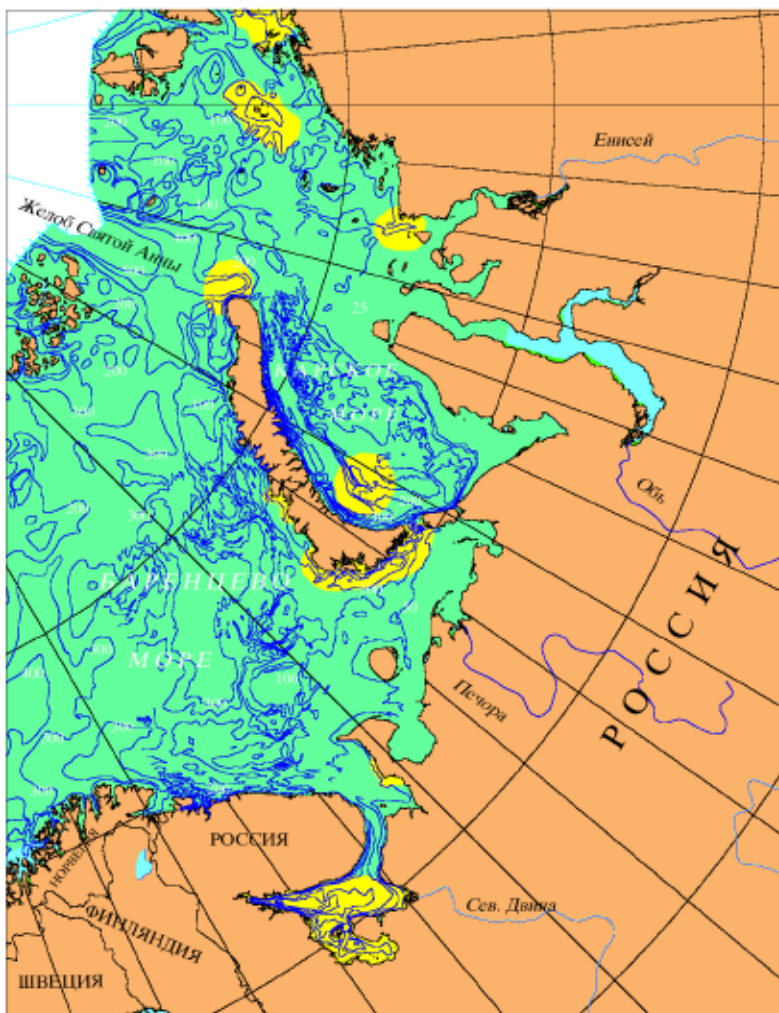
Креветки

2.14

ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЕЛУХИ В АРКТИКЕ



2.15 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БЕЛУХИ В КАРСКОМ И БАРЕНЦЕВОМ МОРЯХ



Лодка во фиорде, Норвегия

2.16 ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
КОЛЬЧАТОЙ НЕРПЫ
(Phoca hispida)



максимальная область распространения

— места выведения потомства



Нерпа, Норвегия



Белый медведь, Шпицберген

2.17 ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
АТЛАНТИЧЕСКИХ И ТИХООКЕАНСКИХ
МОРЖЕЙ
(Odobenus rosmarus rosmarus and O.r. divergens)



область распространения моржей в XX веке

область распространения моржей в XVII веке

2.18 ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
БЕЛОГО МЕДВЕДЯ.
(Ursus maritimus)



— Низкая плотность — Высокая плотность — Места выведения потомства

2.19

АРКТИЧЕСКАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ



Пути загрязнения наземных сред

Наземная пищевая цепь является менее сложной, чем морская, и основывается на низших растениях, особенно травах, лишайниках, мхах и карликовых кустарниках. Лишайники и мхи получают

питательные вещества только в результате выпадения осадков и осаждения частиц из воздуха и поэтому являются хорошими индикаторами отложения загрязняющих веществ из атмосферы [Ruhling et al., 1992]. Многие наземные животные Арктики (например, овцебык, карибу -северный олень,

лемминги и полярные зайцы) являются травоядными, питающимися низшими растениями. Затем эти животные становятся источником пищи хищных млекопитающих, включая волков, песцов и куниц [Sage, 1986].



Растительность Сибири




Дом в тайге, Сибирь

2.20

ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ
(Rangifer Tarandus)



 Области распространения северных оленей

Вверху: ель, сибирская тайга

В центре: северные олени, Аляска

Внизу слева: болотная трава, Норвегия

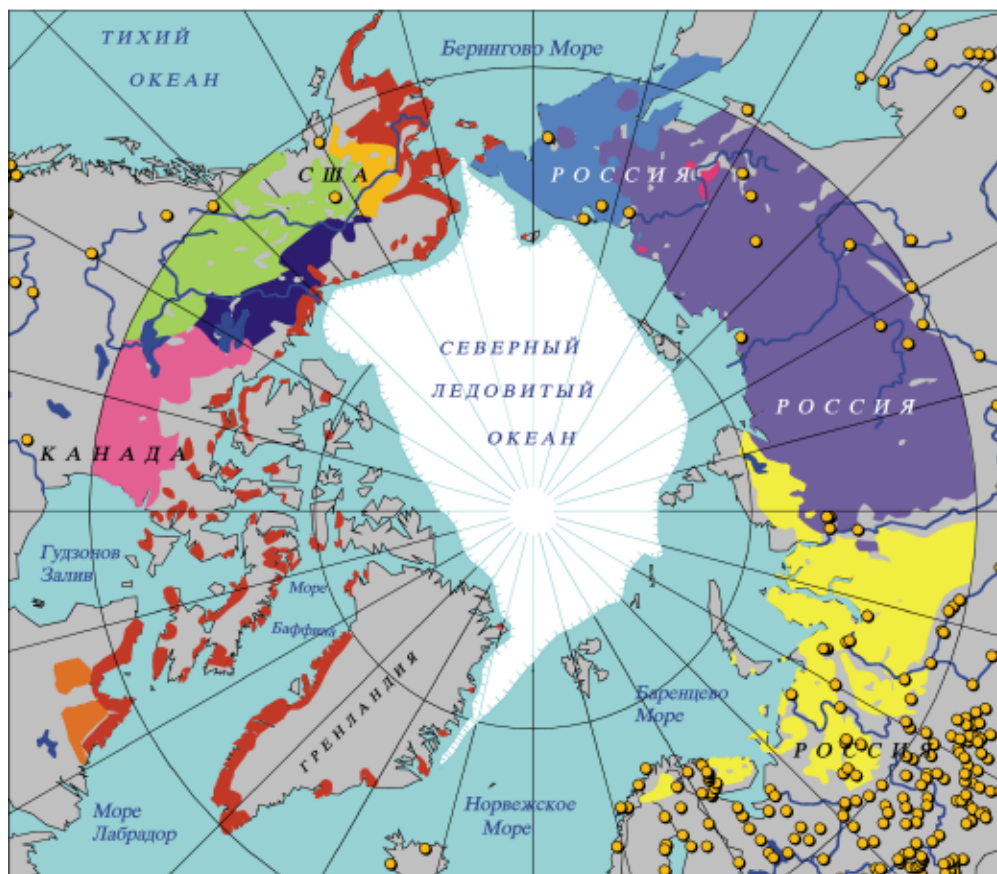
Внизу в центре: Норвежское побережье

*Внизу справа: черника и сосны
Норвежский лес*



2.21

НАСЕЛЕНИЕ АРКТИКИ



Население Арктики

Местное население

Арктики составляет примерно 645000 человек. Из них 8% проживает в Канаде, 11% - в Гренландии, 14% - в Норвегии, Швеции и Финляндии, 21% - на Аляске и 46% - на севере России [Beach, 1994; Creegy, 1994; Korsmo, 1994; Nuttal, 1994 and Vakhtin, 1994].

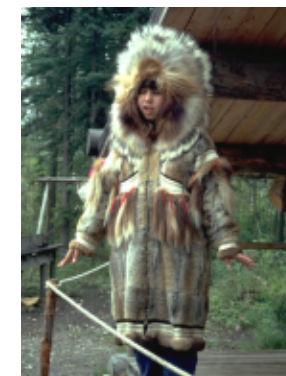
Опираясь на традиции и специфичную экономику, арктическое население обычно сохраняет многолетний уклад и привычный рацион питания своих предков. Способ их существования определяется тем, где они живут. Например, прибрежные группы населения зависят от морского рыболовства и охоты и потребляют различную рыбу и морских млекопитающих, включая китов, тюленей, моржей, в то время как удаленные от побережья народности занимаются разведением северных оленей, речным и озерным рыболовством и в некоторых местах даже фермерством [Brody, 1987]. Обе группы могут дополнять свой

рацион, включая в него птиц, ягоды, других наземных животных и разнообразные продукты, получаемые в результате торговли.

Несмотря на то, что продолжительность жизни национальных меньшинств Арктики увеличивается, они подвержены большему риску, чем остальное население Арктики по ряду причин. В частности, они подвергаются воздействию поллютантов через пищу; на них оказывает отрицательное влияние высокий уровень курения, низкий уровень медицинского обслуживания, бедность и разрушение охотничьих земель и пастбищ [Krupnik, 1995; Dallmann, 1997; Gilman et al., 1997a; Huntington, 1997].



Житель Сибири



Коренная жительница Аляски



Коренный житель Аляски (Михаил Тихонов, 1817г.)