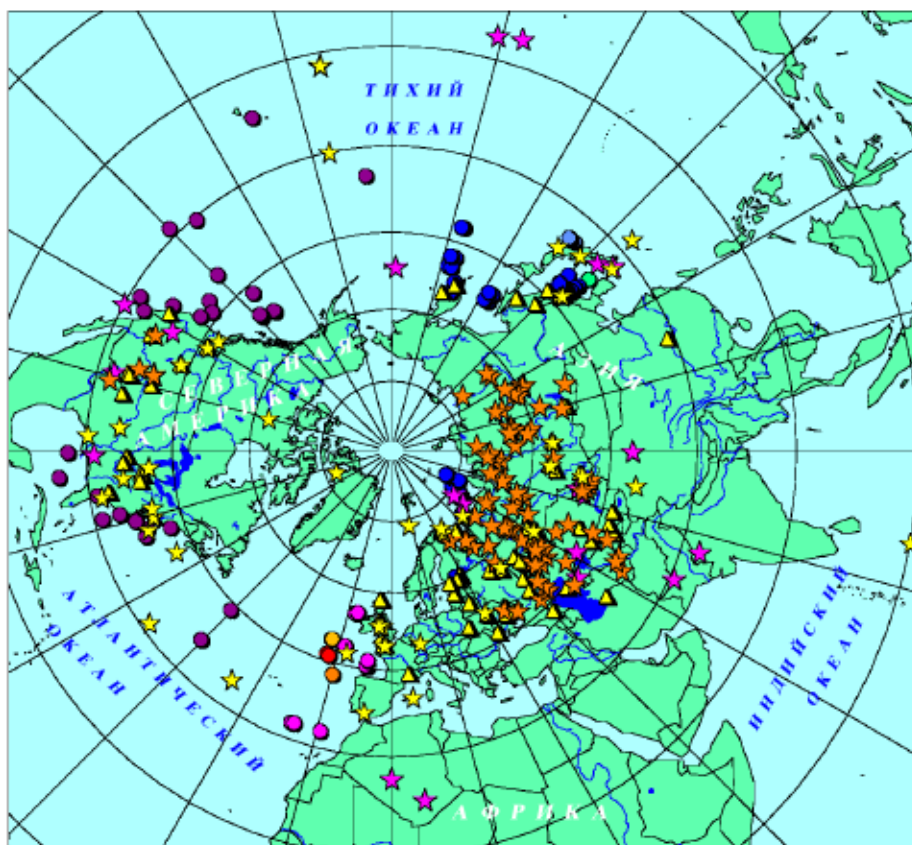


III

РАДИОНУКЛИДЫ



3.1 ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, АВАРИИ И МЕСТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ



ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И АВАРИИ

- ★ Ядерные аварии
- ★ Военные взрывы
- ★ Ядерные взрывы гражданского назначения

МЕСТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

- ▲ На суше
- В акватории
 - Бельгия
 - Бывший Советский Союз
 - Япония
 - Республика Корея
 - Швейцария
 - Великобритания, Бельгия
 - Великобритания, Бельгия, Нидерланды, Франция, Италия, Швеция
 - Великобритания, Бельгия, Нидерланды, Франция, Западная Германия
 - Великобритания, Бельгия, Нидерланды, Швейцария
 - Великобритания
 - США

* Известное событие (такое как авиакатастрофа, кораблекрушение, включая посадку судна на мель; или сбросы предприятий по переработке ядерного топлива), о котором известно, что ядерный материал либо был непреднамеренно выброшен в окружающую среду либо потерян в контейнерах, которые не были впоследствии извлечены. Масштабы радиоактивных выбросов в результате этих аварий изменяются в широких пределах.

III. РАДИОНУКЛИДЫ

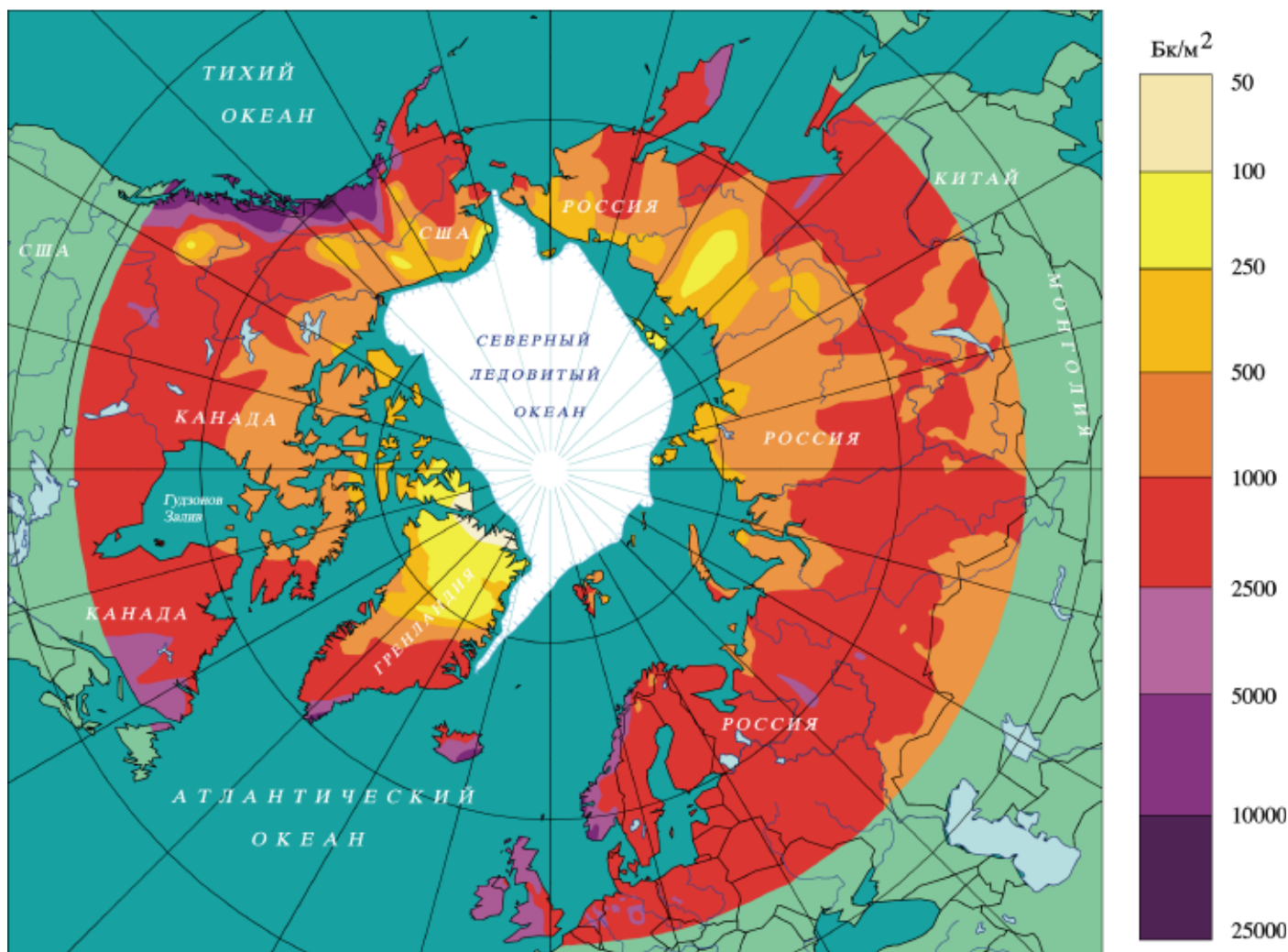
Выпадения радионуклидов

Поступление

радионуклидов в морские бассейны в результате человеческой деятельности началось в конце II Мировой войны во время взрывов ядерного оружия. Начиная с этого времени, США, СССР, Великобритания, Китай, Франция, Индия и Пакистан проводили атмосферные и подземные испытания ядерного оружия. Общее количество поступлений в результате всех атмосферных испытаний составило 547 мегатонн, включая 218 мегатонн с учетом ядерного деления [Eisenbud and Gessell, 1997]. Атмосферные испытания, проводившиеся США и СССР, составляют соответственно 39% и 43% от их общего количества [Eisenbud and Gessell, 1997; Mikhailov et al., 1996].

Загрязнение, возникающее в результате атмосферных испытаний ядерного оружия, поступает от продуктов распада, включая бета- и гамма-излучения, такие как ^{90}Sr и ^{137}Cs ; нейтронной активации материалов, из которых изготовлено оружие, таких как ^{14}C и ^{60}Co из стальных оружейных частей и несущих ферм; от неиспользованного ядерного топлива, такого как уран, плутоний или тритий [ОЕМ, 1997]. В результате испытаний в акваторию попало более 200 различных продуктов распада и изотопов [Eisenbud and Gessell, 1997]. Наиболее распространенными среди этих



3.2 ВЫПАДЕНИЕ ^{137}Cs ИЗ АТМОСФЕРЫ ПО ОЦЕНКАМ АМАР, 1995Г.

радионуклидов были ^{90}Sr и ^{137}Cs с периодом полураспада около 30 лет и $^{239, 240}\text{Pu}$ с периодом полураспада 24 100 лет.

В период между 1946 и 1962 гг. США провели 102 испытания ядерного оружия, многие из которых осуществлялись в атмосфере, в районе Маршалловых островов, островов Джонстона и острове Рождества в Тихом океане [Makhijani et al., 1995]. США также проводили испытания в Южной Атлантике, на о-ве Амчитка, штат Аляска; в Фаллоне, штат Невада; в Райфле, штат Колорадо; в Хэттисбурге, штат Миссиссипи; в Аламогордо, штат Нью-Мексико и в районе Фармингтона и Карлсбада, штат Нью-Мексико [ОЕМ, 1997]. Первым же местом испытаний в США был созданный в 1951 г полигон в Неваде, где было осуществлено 928 взрывов, включая 100

атмосферных. Начиная с 1963 г., все ядерные испытания проводились под землей [ОЕМ, 1997].

В период между 1949 и 1990 гг. Советский Союз осуществил 715 военных ядерных испытаний и взрывов гражданского назначения (преимущественно при разработке месторождений нефти, газа и твердых полезных ископаемых). Большинство из ядерных испытаний проводилось на двух основных испытательных полигонах - в южной части бывшего Советского Союза, в Семипалатинске, расположенном на реке Иртыш, притоке Оби, и на островах Архипелага Новая Земля, разделяющего Баренцево и Карское моря. Из 130 испытаний, проведенных между 1955 и 1990 годами, 85 были атмосферными, 3 - подводными, 2 - на поверхности воды, 1 - на поверхности земли и 39 были

подземными [Mikhailov et al., 1996]. Кроме того, Великобритания, Франция и Китай также проводили испытания ядерного оружия в атмосфере (21, 45 и 22 испытания, соответственно) [Eisenbud and Gessell, 1997].

В результате атмосферных испытаний радионуклиды в виде тонкой пыли распространяются, в основном, в верхней стратосфере, где они огибают земной шар и в конечном итоге выпадают из атмосферы с дождем и снегом. Их концентрации в результате атмосферного выпадения достигли максимума в 1963 г.; после 1980 г. они быстро снижались вплоть до аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. [Davidson et al., 1991; Eisenbud and Gessell, 1997]. В Арктике в результате испытаний на Новой Земле около 12% радиоактивных осадков выпадало в



Ледник близ .Анкориджа

непосредственной близости от испытательного полигона, приблизительно 10% отложились в полосе вдоль той же широты, на которой располагались испытательные полигоны, и



Северный олень, Аляска

оставшиеся 78% пополнили глобальные выпадения [АМАР, 1997]. Модели радиоактивных выпадений для различных испытаний могут различаться в зависимости от направления ветра и его силы во время проведения испытаний. Кроме того, частицы сульфатов, поступившие в атмосферу в результате сгорания углеводородов и металлургической промышленности, могут действовать в качестве механизма переноса радионуклидов и других загрязняющих веществ в Арктику.

Радионуклиды, выпавшие на землю, обычно остаются на месте, но могут повторно образовывать взвеси из грунта и переноситься на небольшие расстояния. Радионуклиды также могут попадать во мхи и лишайники, которые могут переноситься повсюду, служа кормом для мигрирующих животных. Наибольшее загрязнение мхов и лишайников было вызвано радиоактивным выпадением в 60-е годы и в 1986

г., после Чернобыльской аварии [Balonov and Strand, 1997].

Авария на Чернобыльской АЭС

Взрыв, происшедший 26 апреля на Чернобыльской АЭС на Украине, сорвал крышку одного из четырех реакторов. В течение 10 дней пожар, дым и газы, радиоактивный йод, радиоактивный цезий и меньшее количество других радионуклидов были подняты в атмосферу более чем на 1 км. Радиоактивные материалы распространились по площади более чем 140 000 км² на территории Украины, Белоруссии и России. Ветры над Скандинавией распространили радиоактивное облако на территорию прибалтийских государств - Швецию, Норвегию, Финляндию и назад в Россию через Санкт-Петербург и Архангельск. Позже ветры поменяли направление на западное - в Австрию, Германию и Францию и на южное - в Италию, Грецию и Турцию.

Регион, расположенный

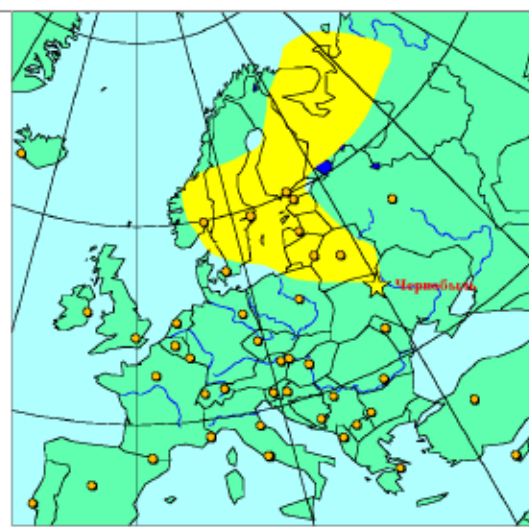
3.3 РАДИОАКТИВНОЕ ОБЛАКО, ВОЗНИКШЕЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС, И ТРАЕКТОРИИ ЕГО ДВИЖЕНИЯ, 1986Г.

Давление, гПа	Станция	Период времени	Давление, гПа	Станция	Период времени
→ 500	AES	26 Апреля (полночь)	→ 850	FMI	27 Апреля (полдень)-
→ 700	AES	26 Апреля (полночь)	→ 850	FMI	28 Апреля (полдень)
→ 850	ECMWF	26 Апреля (полночь)-	→ 925	ECMWF	27 Апреля (полночь)-
→ 850	NMI	4 Мая (полночь)	→ 925	NMI	28 Апреля (полночь)-
→ 850	NMI	26 Апреля (полночь)-	→ 925	NMI	26 Апреля (полночь)-
→ 850	NMI	2 Мая (полночь)	→ 925	NMI	4 Мая (полночь)
→ 850	NMI	26 Апреля (полночь)-	→ 925	NMI	26 Апреля (полночь)-
→ 850	NMI	5 Мая (полночь)	→ 925	NMI	5 Мая (полночь)
			→ 925	NMI	26 Апреля (6:00) -
			→ 925	NMI	2 Мая (полночь)

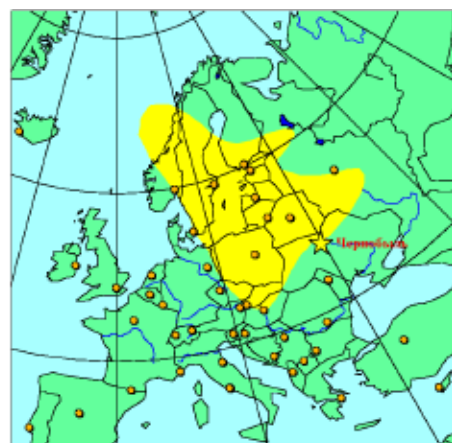
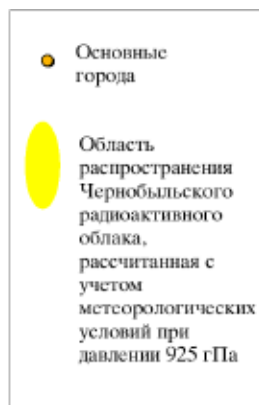
AES : Служба по контролю за состоянием атмосферы
ECMWF : Европейский центр по среднесрочным прогнозам погоды
FMI : Финский метеорологический институт
NMI : Норвежский метеорологический институт



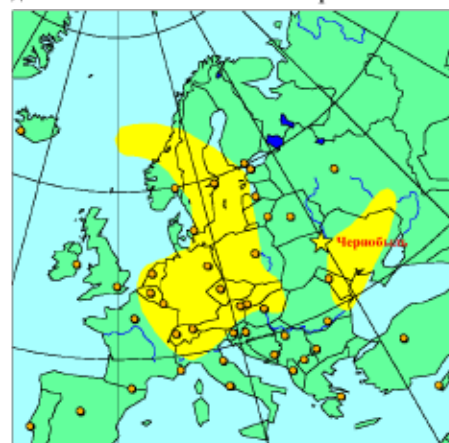
3.3 А. Направления переноса радиоактивных осадков



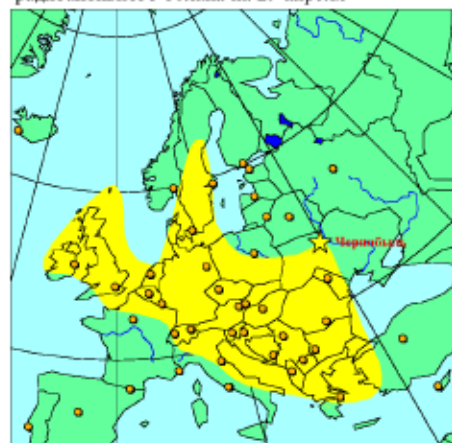
3.3 Б. Область распространения радиоактивного облака на 28 апреля



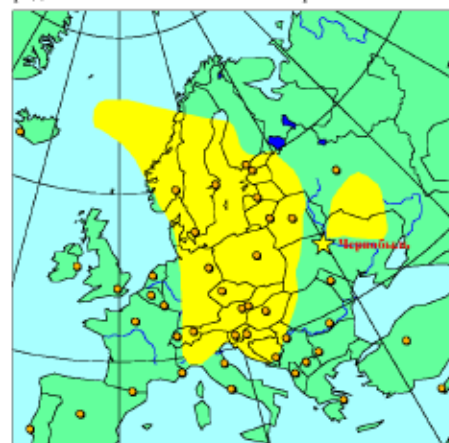
3.3 В. Область распространения радиоактивного облака на 29 апреля



3.3 Г. Область распространения радиоактивного облака на 30 апреля

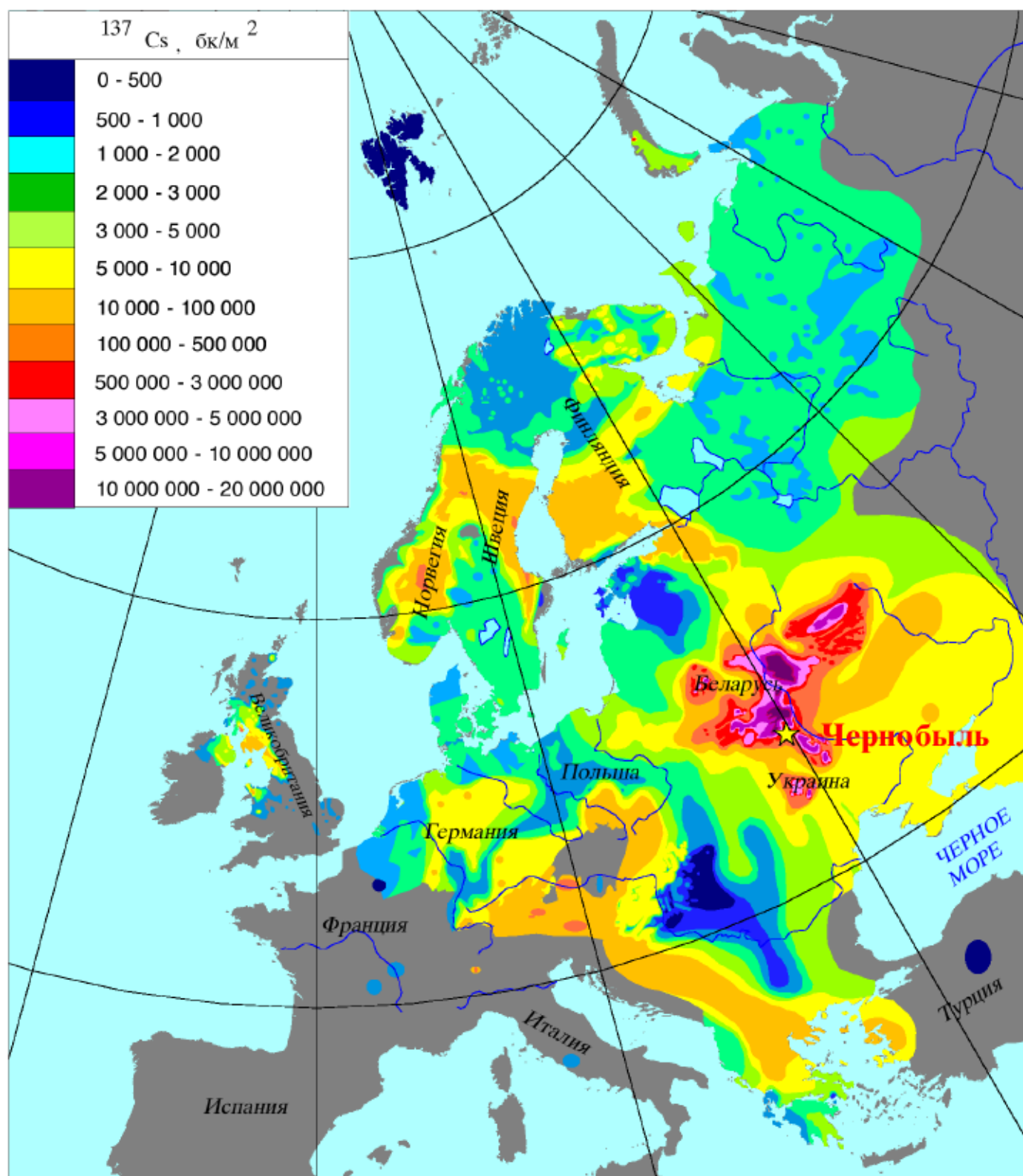


3.3 Д. Область распространения радиоактивного облака на 1 мая



3.3 Е. Область распространения радиоактивного облака на 3 мая

3.4 ВЫПАДЕНИЕ ^{137}Cs ИЗ РАДИОАКТИВНЫХ ОСАДКОВ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС, 1986Г.



вокруг места аварии и вдоль пути осаждения осадков из радиоактивного облака, был сильно загрязнен. После аварии значительно увеличилась радиоактивность у коренных

Арктическая растительность, рисунок ненецкого школьника, Россия



жителей Арктики. Например, содержание радиоактивного цезия в организмах финляндских саамов удвоилось и достигло 9000 Бк сразу после Чернобыльской аварии, по сравнению с 4000 Бк в предшествующие годы и через 10 лет после аварии. В Норвегии и Швеции уровни радиоактивного цезия в организмах саами достигали 40 000 Бк, по сравнению с 3 000 и 5 000 Бк, соответственно, до и через 10 лет после аварии. В отличие от этого, содержания радиоактивного цезия в организмах коренного населения Кольского полуострова уже до аварии составляло 20000

и другими жидкими отходами, сбрасываемыми наземными ядерными реакторами и заводами по переработке ядерных отходов. Около 40×10^{15} Бк ^{137}Cs было сброшено заводом Селлафилд в Ирландское море, начиная с 1952 г.; дополнительно 1×10^{15} Бк поступило в Английский канал от перерабатывающего завода в Гааге [Holm, 1994]. Так как это радионуклидное загрязнение переносилось в Северный Ледовитый океан системой Гольфстрим, а затем Норвежским течением, перерабатывающие заводы в Европе стали основным источником цезия в Баренцевом

море. Значительно меньшие количества радиоактивности вызваны операционными сбросами реакторов атомных судов и подводных лодок, непосредственным захоронением жидких низкоактивных и твердых радиоактивных отходов, а также медицинской аппаратуры.

Захоронение твердых радиоактивных отходов в океане осуществлялось в период с 1946 по 1972 год, когда Лондонская Конвенция по дампингу регулировала эту практику. Первоначально Конвенция запрещала захоронение высокоактивных радиоактивных отходов (в которых содержание трития превышает 37×10^{15} Бк, бета- и гамма-излучений - 37×10^{12} Бк, ^{90}Sr и ^{137}Cs - 37×10^{12}), а в 1994 году запретила все захоронения в акватории [ARCEL, 1998]. В период с 1946 по 1994 год 13 стран, расположенные в северном полушарии, сбрасывали



Рис.2 Система прогноза полярного льда (PIPS) 2.0 моделирует радиоактивность для верхнего 30м слоя океана в течение 6-го модельного года, используя в качестве источника загрязнения сбросы перерабатывающего предприятия Селлафилда. Цветной логарифмический масштаб в единицах Бк/м³. Цифры обозначают основные пути, по которым распространялись загрязняющие вещества: 1-Норвежское течение, 2-Баренцево море/Карское море, Сибирское течение, циркуляция Бофорта, 3-в южном направлении через пролив Фрама [Preller and Posey, 1997]

- 30 000 Бк, а к 1991 году оно поднялось до 33 000 Бк [Balonov and Strand, 1997].

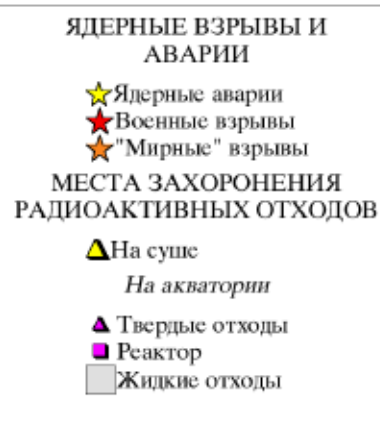
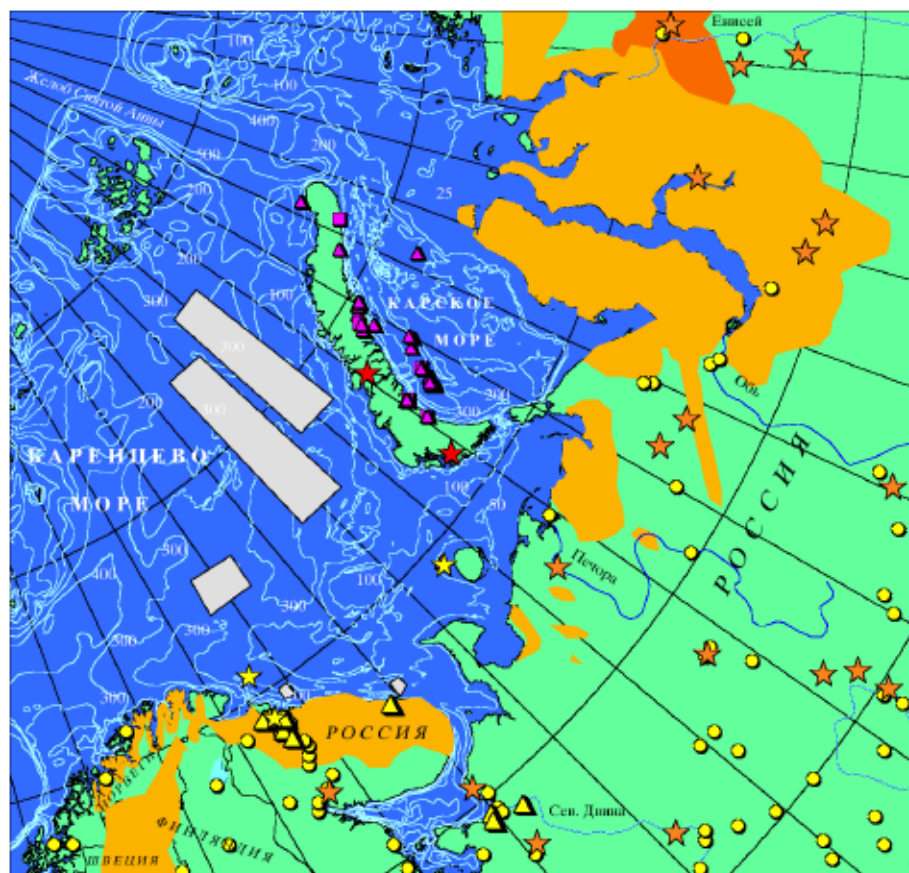
Сбросы радионуклидов в реки и океан

Радионуклиды также поступали в северный океан вместе с охлаждающими водами

Рис.3 Система прогноза полярного льда (PIPS) 2.0 моделирует радиоактивность для верхнего 30м слоя океана в течение 7-го модельного года, используя в качестве источника загрязнения сбросы производимые реками Обь и Енисей. Цветной логарифмический масштаб в единицах Бк/м³. Цифры обозначают основные пути, по которым распространялись загрязняющие вещества: 1-в южном направлении через пролив Фрама, 2-Сибирское течение, 3-Баренцевоморское течение [Preller and Posey, 1997]



3.5 ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ, АВАРИИ И МЕСТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В БАРЕНЦЕВО-КАРСКОМ РЕГИОНЕ



реактора. Это продолжалось до 1992 г., когда реакторы были взорваны [Vakulovsky et al., 1995].

Загрязнение поверхностных вод

Цезий-137 в бассейнах северного полушария

Из-за технологических ограничений регулярные измерения содержания ^{137}Cs в океанах не проводились вплоть до 70-х годов. В это время концентрации в поверхностных водах северной части Тихого океана обычно составляли 5-10 Бк/м³ (в два раза превышая

радиоактивные отходы в океан. Эти отходы, включающие загрязненные трубопроводы, бетон, строительный материал, стекло и защитную одежду, поступали из атомных электростанций, атомных исследовательских центров и реакторов, использовавшихся в промышленности. Кроме того, в 1992 году было установлено, что Советский Союз затопил 6 ядерных реакторов, некоторые из них вместе с топливными стержнями, в Карском море и фьордах Новой Земли [Yablokov et al., 1993]. Захоронение обычно производилось с применением бетонированных стальных контейнеров, помещенных в смолу или битум [Yablokov et al., 1993; Dyer, 1994; ОТА, 1995]. Также сообщалось, что ядерная авария во Владивостоке повысила уровень радионуклидов и что Советский Союз сбросил радиоактивные отходы в Японское море.

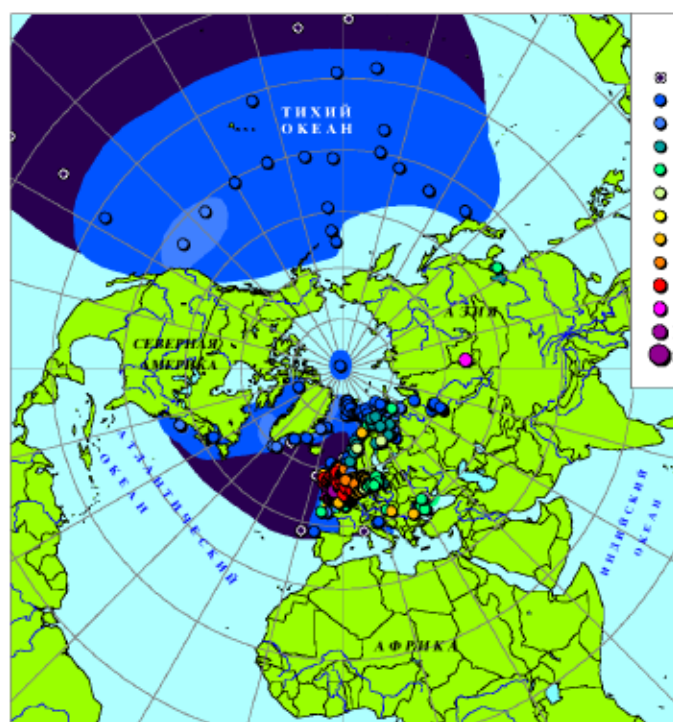
В 40-е и 50-е годы расположенные на территории бывшего Советского Союза

заводы по переработке ядерного топлива сбрасывали высокоуровневые радиоактивные отходы непосредственно в водные потоки Южного Урала [Nikipelov et al., 1990]. До 1952 г. р. Теча (приток Оби) получила около 25×10^{15} Бк ^{90}Sr и ^{137}Cs [Trabalka et al., 1980]. Кроме того, в 1957 г. на ПО "Маяк" в Челябинской области произошла крупная авария в результате взрыва, произошедшего на складе, где хранились радиоактивные отходы. Это привело к радиоактивному заражению обширных площадей. Большая часть этого загрязнения была впоследствии вынесена дождями в реку [Avramenko et al., 1998].

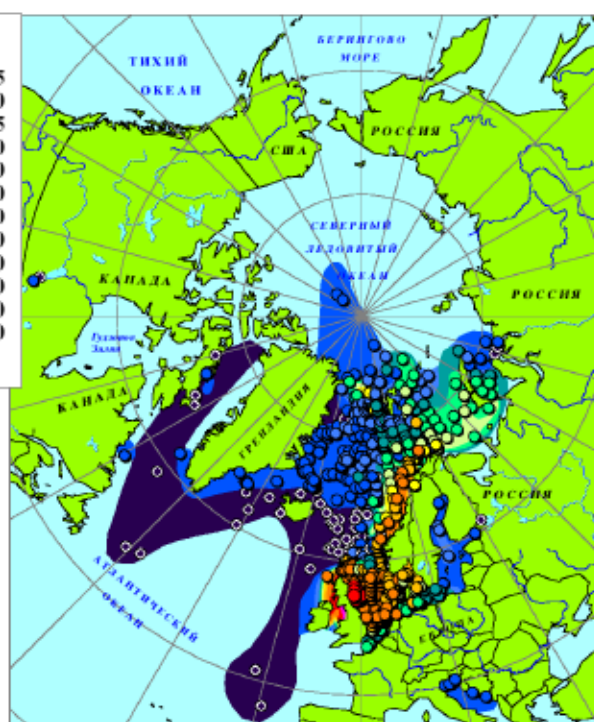
На предприятии по производству плутония, расположенном на р. Енисей около Красноярска, для охлаждения стержней двух ядерных реакторов использовались речные воды, которые затем сбрасывались обратно в реку, загрязняя ее большим количеством продуктов



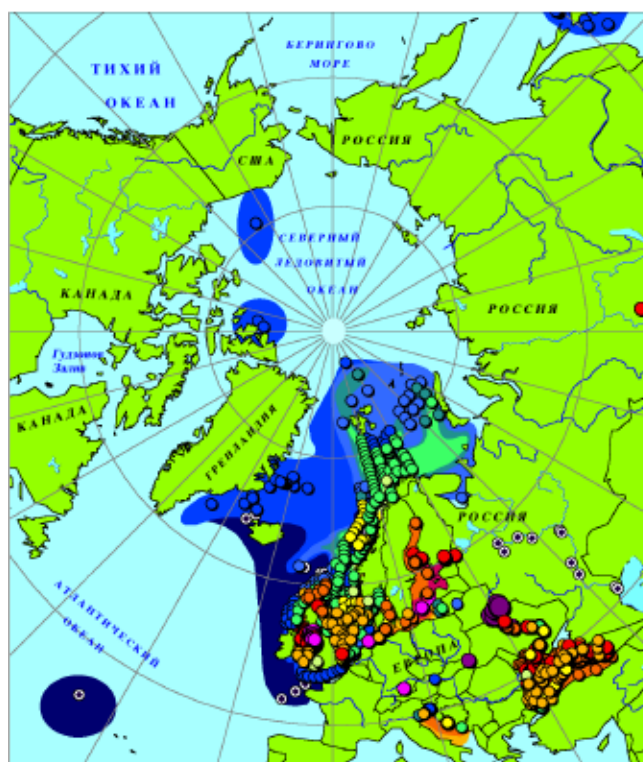
Ловля оленя, рисунок ненецкого школьника, Россия

3.6 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ, 1970-1995 ГГ.

3.6 А. 1970 - 1979 гг.



3.6 Б. 1980 - 1984 гг.

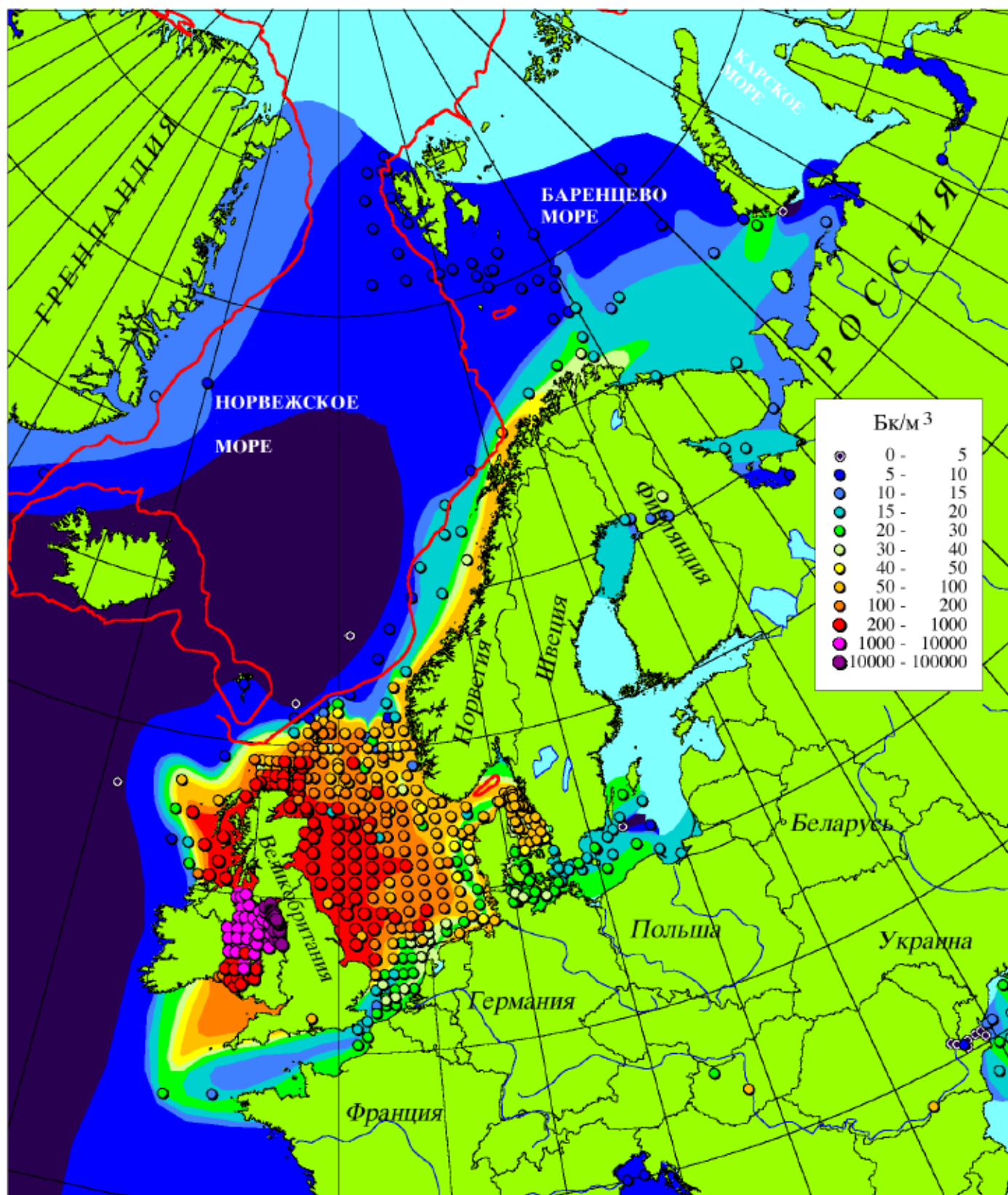


3.6 В. 1985 - 1989 гг.



3.6 Г. 1990 - 1995 гг.

3.7 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ, 1970-1979 ГГ.



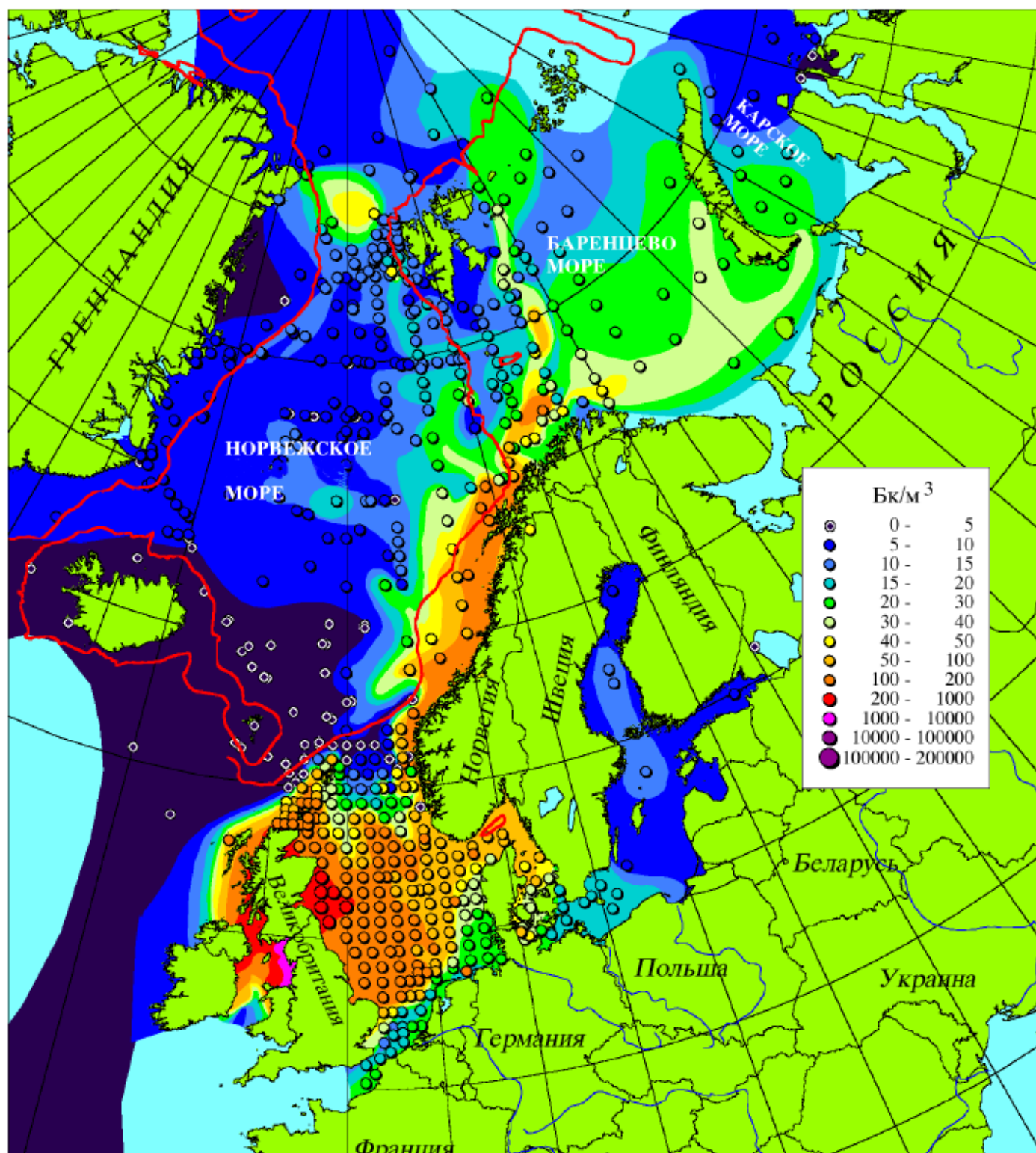
Сечение изобат - 500 м

концентрации в южной части Тихого океана) [Bowen et al., 1980]. В районе береговой линии США на широте 32° с.ш.

концентрация достигала 10-15 Бк/м³ [Bowen et al., 1980]. Уровни содержания в северной части Атлантического океана, в

Ирландском море, достигали величин более 10 000 Бк/м³ [Jefferies et al., 1982]. Это был след Селлафилда, который

3.8 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ, 1980-1984 ГГ.



Сечение изобат - 500 м

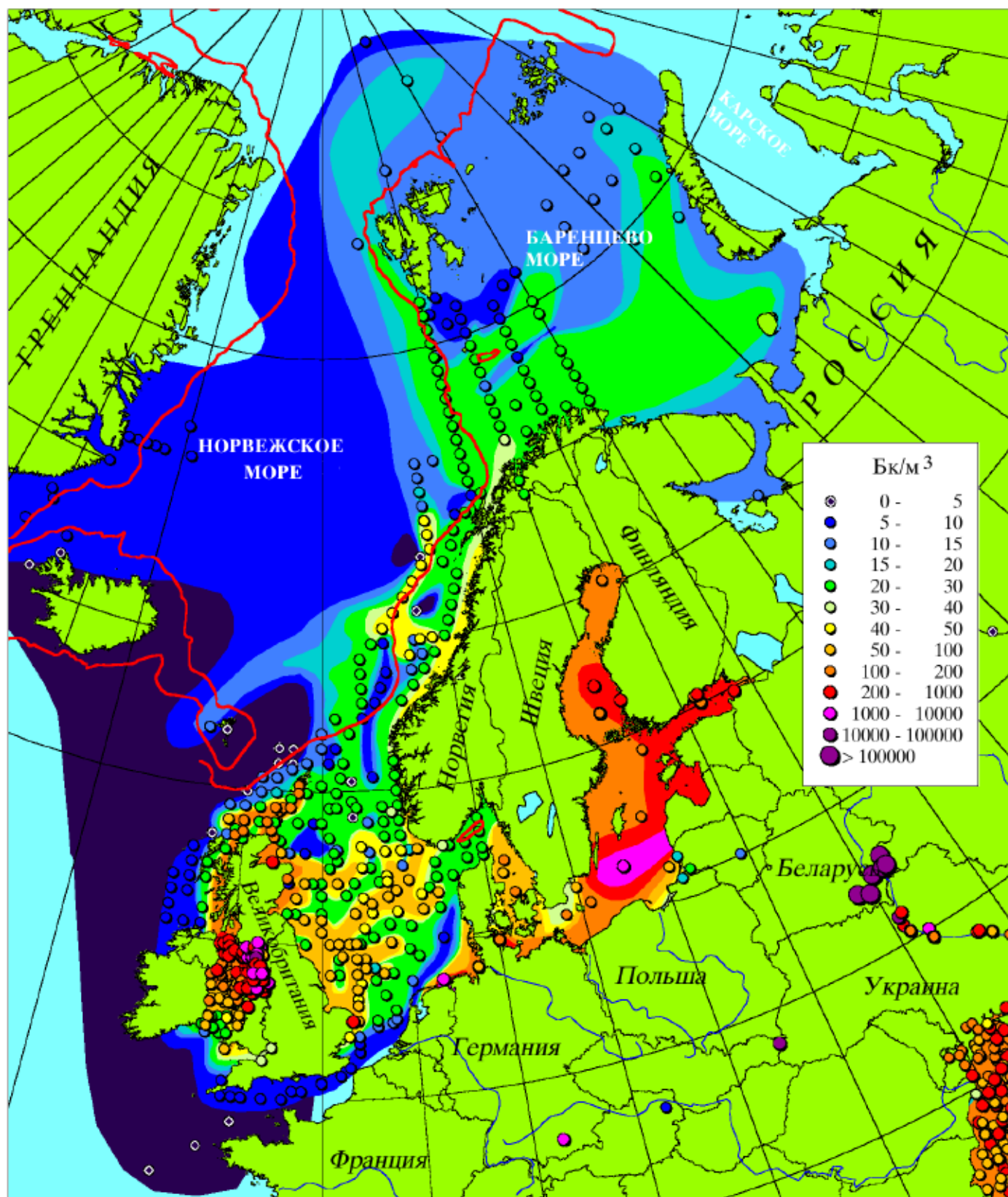
прослеживался к северу вдоль Норвежского течения в Баренцево море, где концентрации на границе Баренцева моря и Норвежско-Гренландского бассейна достигали 60 Бк/м³

[Kershaw and Baxter, 1995].

До начала 80-х гг. сигнал Селлафилда в Карском море составлял 30 Бк/м³ [Vakulovsky et al., 1993]. Наибольшая концентрация ^{137}Cs в конце 80-х гг. явилась результатом



3.9 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ, 1985-1989 ГГ.



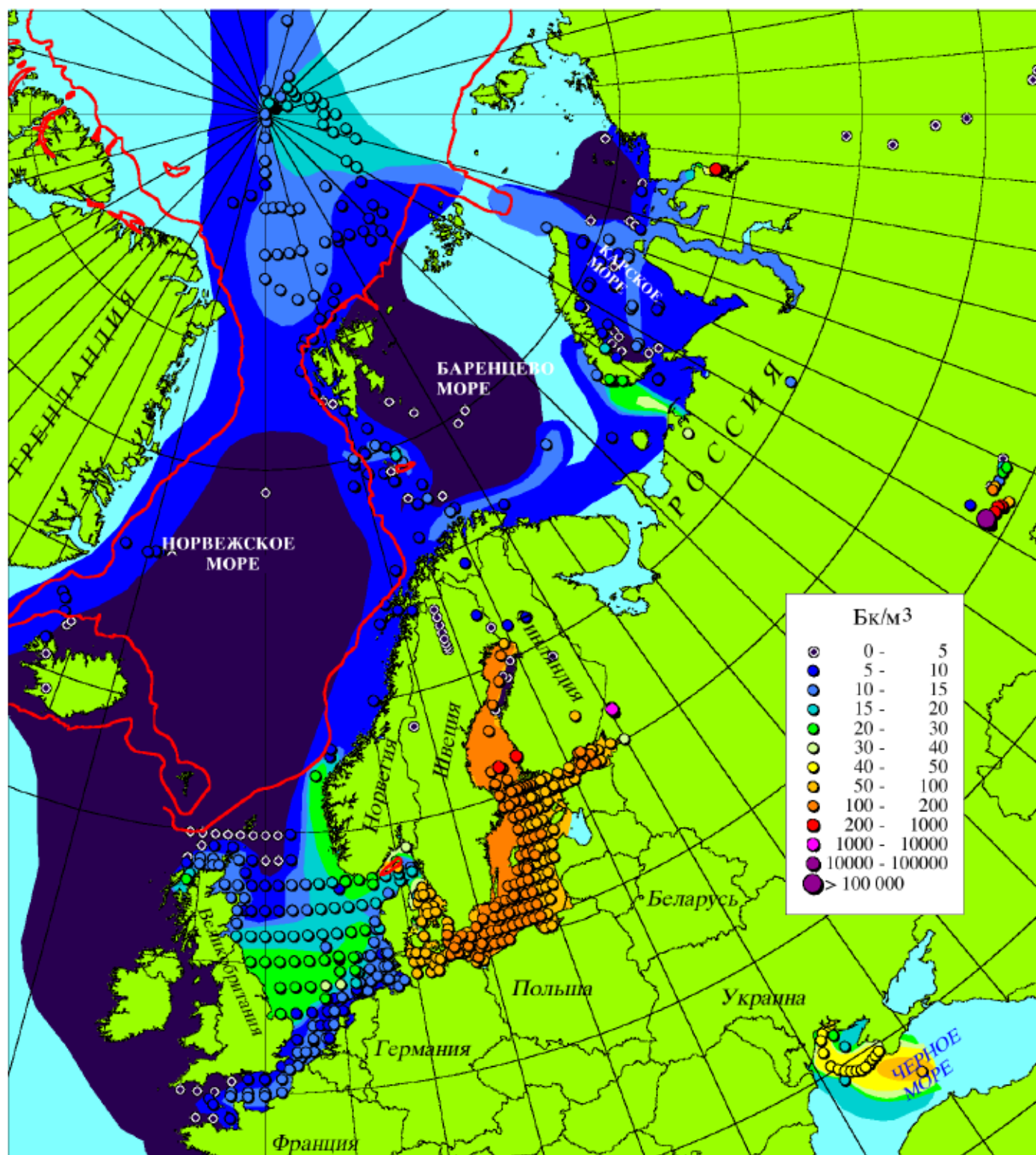
Чернобыльской аварии, которая привела к загрязнению Балтийского моря. В настоящее время считается, что

максимальные концентрации ^{137}Cs в Норвежском течении являются следствием дренирования Балтийского загрязнения в

Северное море.

Уменьшение сбросов Селлафилда привело к тому, что в начале 90-х гг. уровни ^{137}Cs

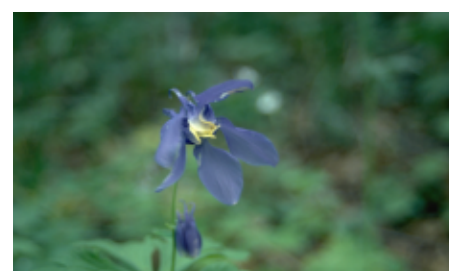
3.10 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ, 1990-1994 ГГ.



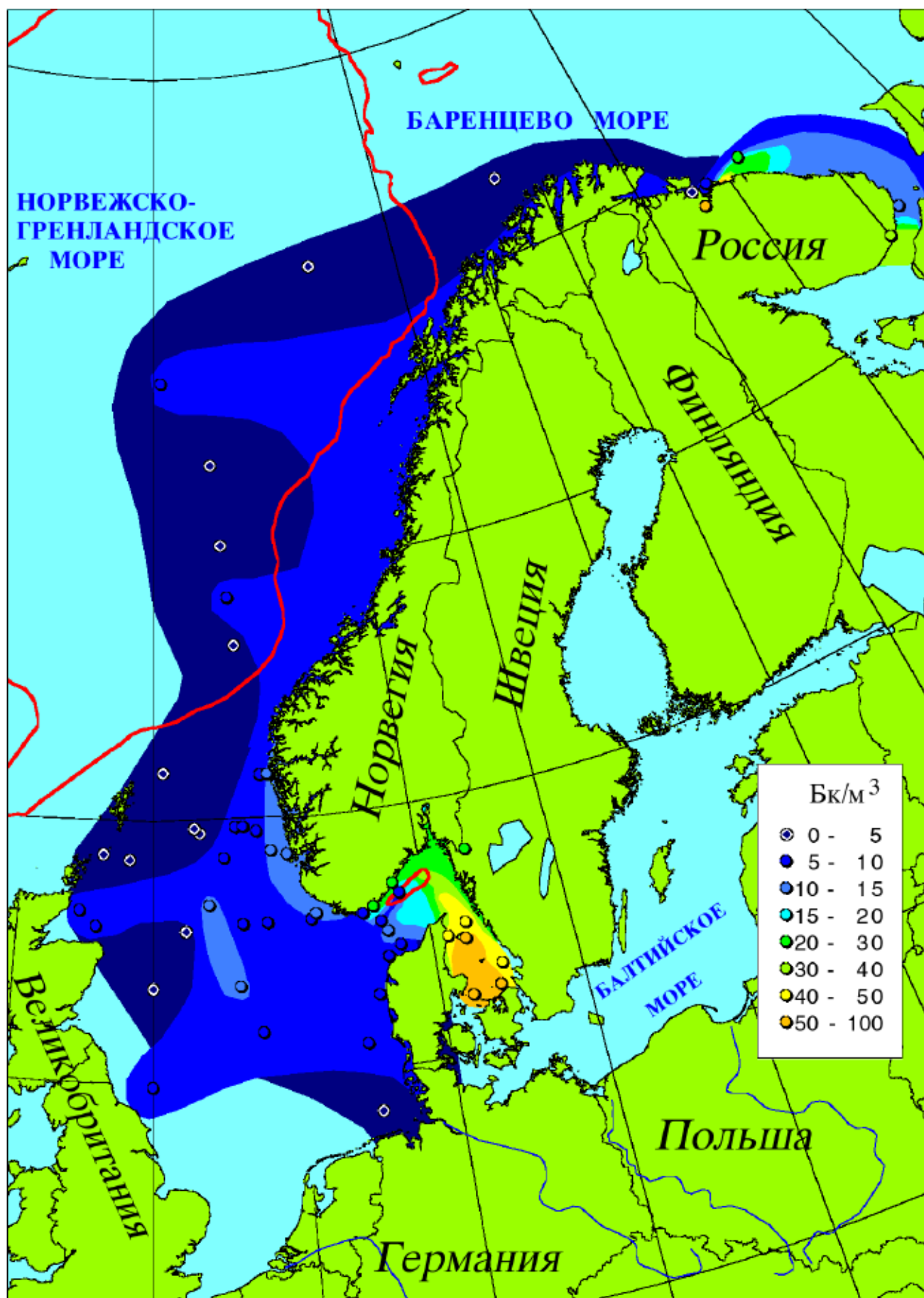
Сечение изобат - 500 м

упали до 5-30 Бк/м³ в Северном море и вдоль береговой линии Норвегии, но существенно увеличились в Балтийском море (от 5 до 20 Бк/м³ в начале 80-х гг. до 260 Бк/м³ в 1990 г. [Plus et al., 1993]). Найс и др. [1993] объясняли это увеличение

радиоактивным выпадением и дренажем рек, загрязненных в результате Чернобыльской аварии 1986 г., которая вызвала поступление в атмосферу 1×10^{17} Бк/м³ [Aakrog, 1993]. Рус и Холм [1993] подсчитали, что только от 1 до 2 % общей концентрации

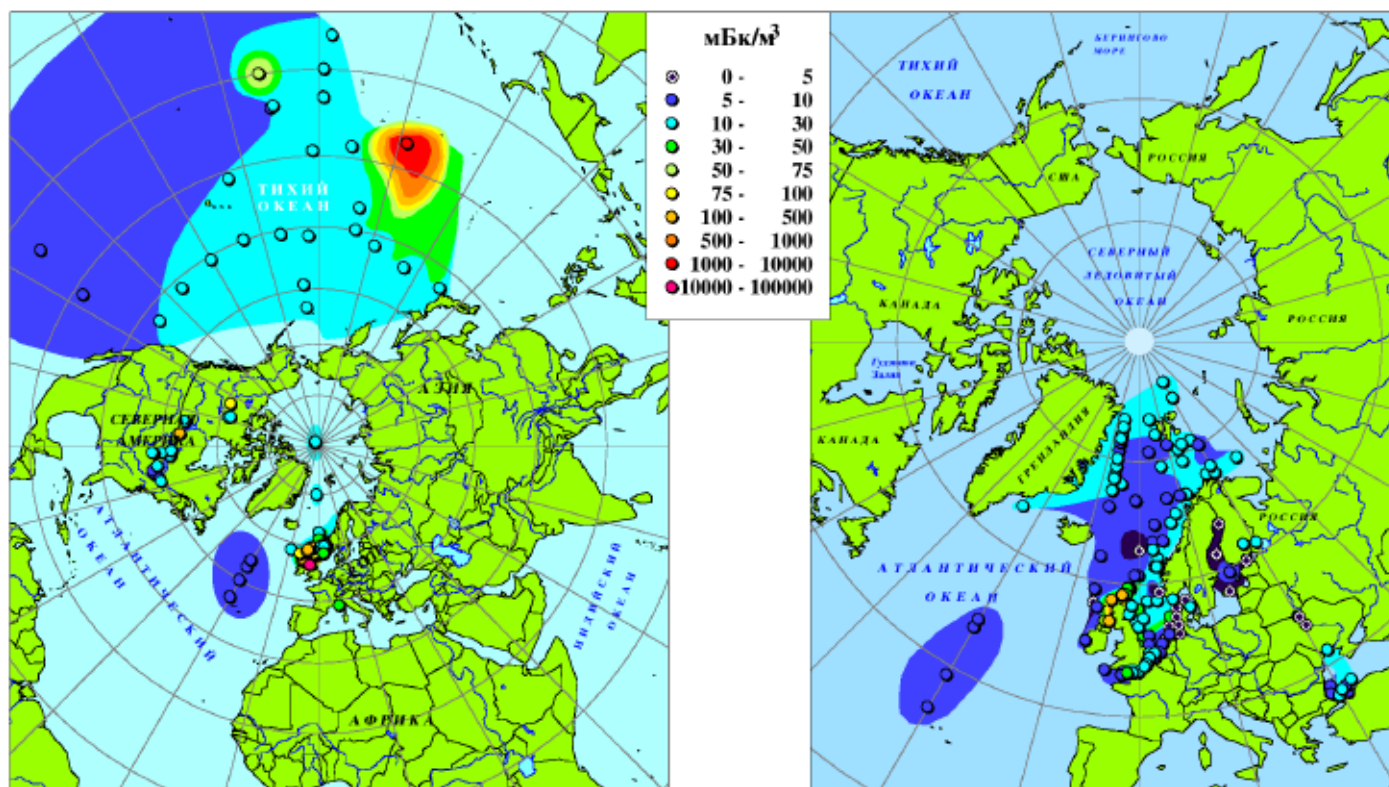


Флора Сибири

3.11 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И НОРВЕЖСКОГО МОРЕЙ, 1995-1999 ГГ.

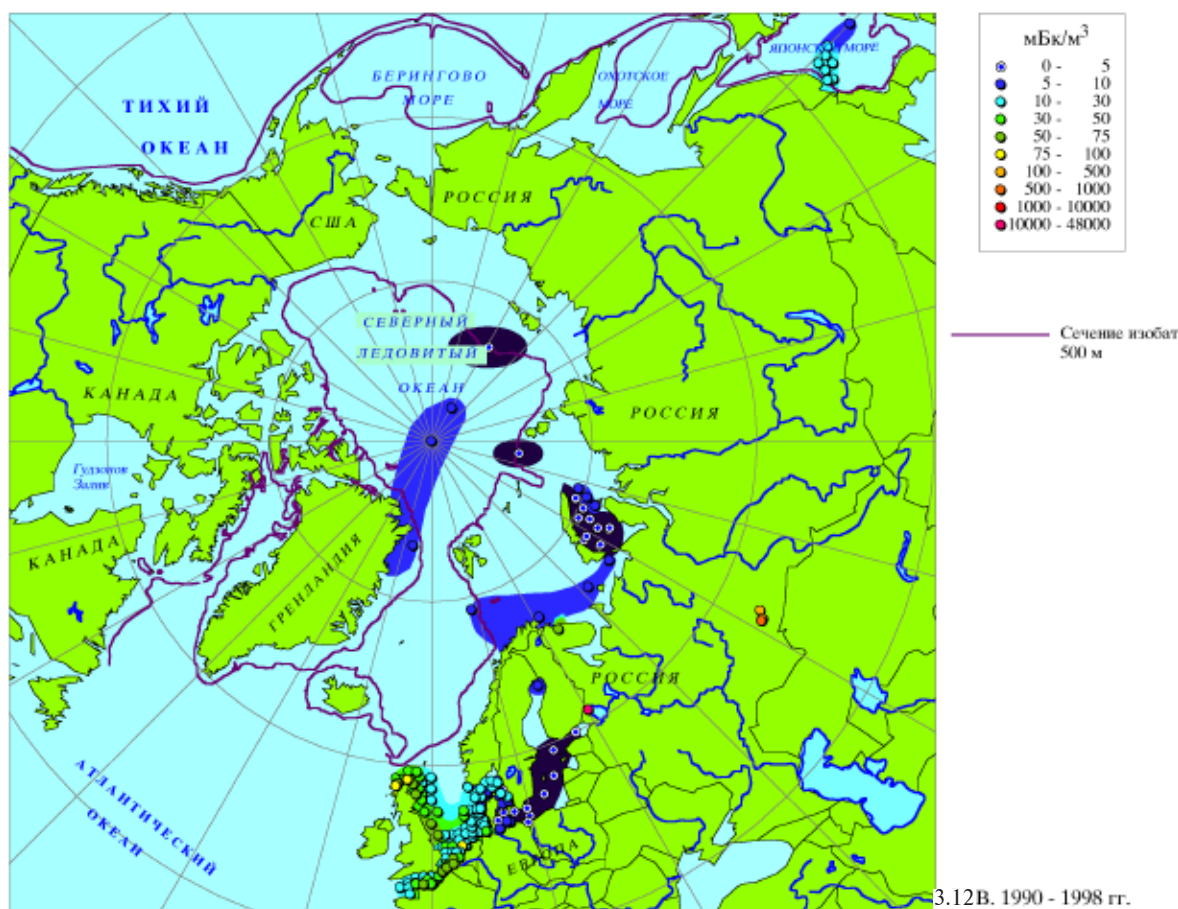
Сечение изобат - 500 м

3.12

 $^{239,240}\text{Pu}$ Pu В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

3.12А. 1970 - 1979 гг.

3.12 Б. 1980 - 1989 гг.



3.12В. 1990 - 1998 гг.

^{137}Cs в Арктике может относиться к Чернобыльской аварии. В начале 90-х гг. высокие уровни ^{137}Cs , изменяющиеся от 50 до 650 Бк/м³, были также получены

в водах р. Теча недалеко от места аварии на ПО "Маяк" в Челябинской области России [Трапезников et al., 1993]. В начале 90-х гг.

концентрации в Карском море были, в основном, низкими (от 0 до 20 Бк/м³) [Strand et al., 1993]. Максимальные значения были отмечены в районе эстуария

р. Обь и Печорского моря [Ivanov et al., 1993; Smith et al., 1993]. Значения концентраций в р. Енисей были, в основном, низкими (0-10 Бк/м³), за исключением значения 930 Бк/м³, полученном у истока реки [Bradley and Jenquin, 1995].

Концентрации ¹³⁷Cs в центральной части Северного Ледовитого океана, измеренные в период между 1990 и 1993 г., обычно были выше, чем в Баренцевом море и Норвежско-Гренландском бассейнах (10-20 Бк/м³, по сравнению с 0-10 Бк/м³) [Roos and Holm, 1993].

Плутоний-239,240 в бассейнах Северного полушария

Концентрации ^{239,240}Pu в поверхностных водах Тихого океана (до 1 849 мБк/м³ на атолле Бикини [Edington et al., 1996]) отражают его суммарное выпадение в течение 70-х гг.

возникшие в результате выпадения его на поверхность Тихого океана и последующего переноса поверхностными течениями, были обнаружены непосредственно к югу от Алеутских о-вов [Bowen et al., 1980]. Поверхностные воды в центральной части Северного Ледовитого океана имеют концентрации до 14.2 мБк/м³ [Livingston et al., 1985].

Повышенные концентрации были также обнаружены в Норвежском течении, как результат сбросов в Ирландское море завода по переработке ядерного топлива в Селлафилде, Великобритания. В отличие от высоких значений в северной части Тихого океана и в районе Селлафилда, остальная часть Северной Атлантики имеет относительно низкие концентрации Pu.

Данные по содержанию ^{239,240}Pu в Тихом океане в течение 80-х гг. являются редкими.

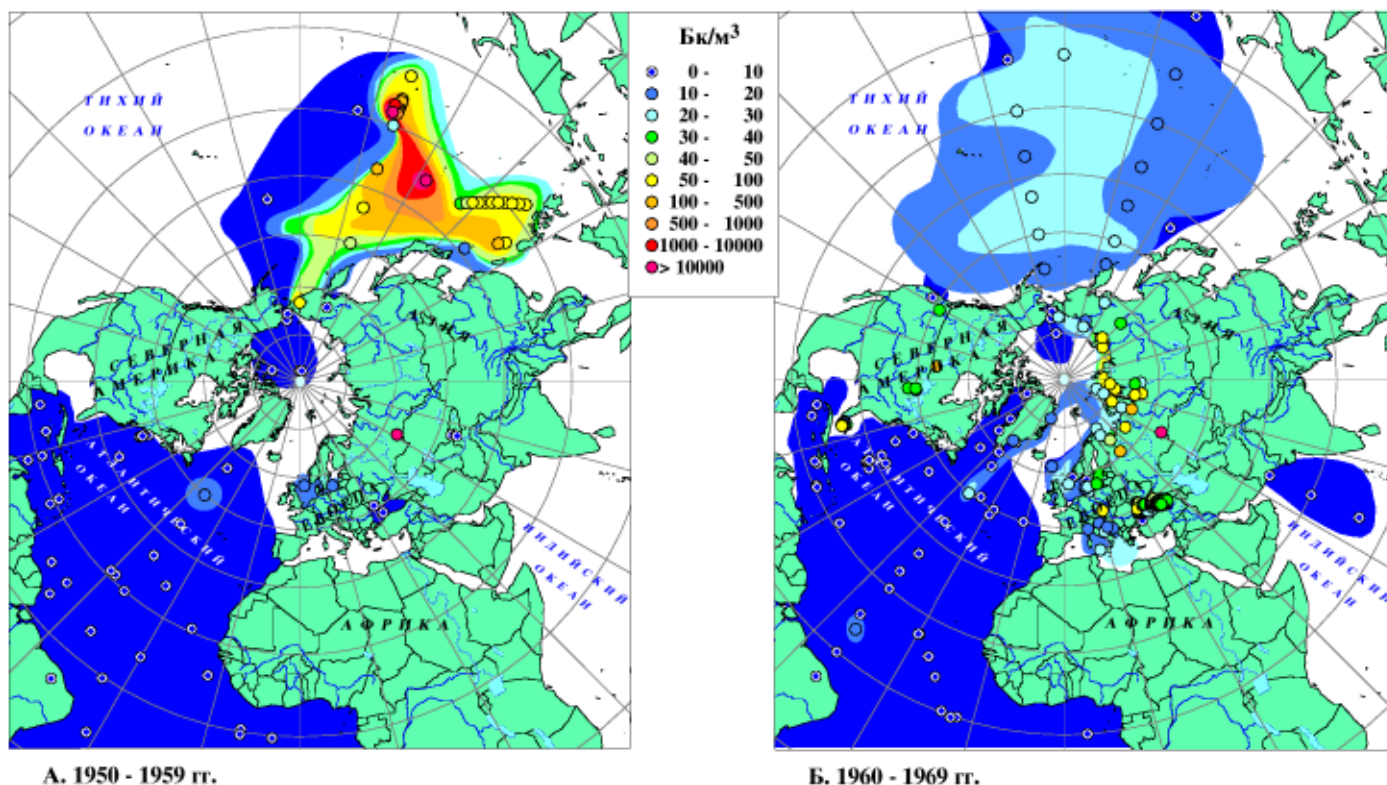
Ледовитого океана в Восточно-Гренландское береговое течение.

В северном полушарии в целом в 90-х гг. было получено небольшое количество данных. Тем не менее, детальная информация по отдельным районам Арктики указывает, в частности, на уменьшающийся след Селлафилда, заметный в Северном море (от 50 до 100 мБк/м³) [Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 1993; Nies, 1994], остаточные высокие значения ^{239,240}Pu в районе ПО "Маяк" в России [Трапезников et al., 1993] и низкие значения (0-10 мБк/м³) в поверхностных водах Карского и Баренцева морей [Strand et al., 1993, 1994].

Стронций-90 в бассейнах Северного полушария

3.13

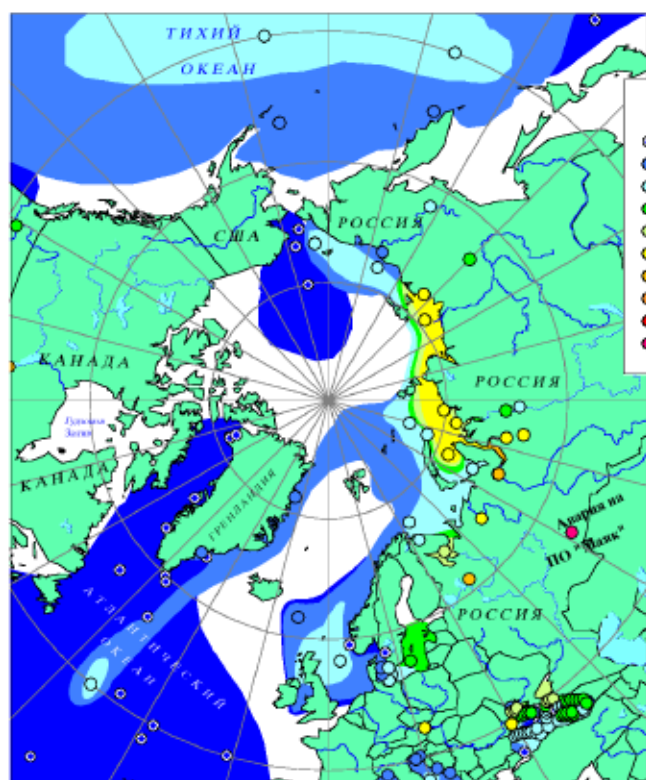
⁹⁰Sr В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ.



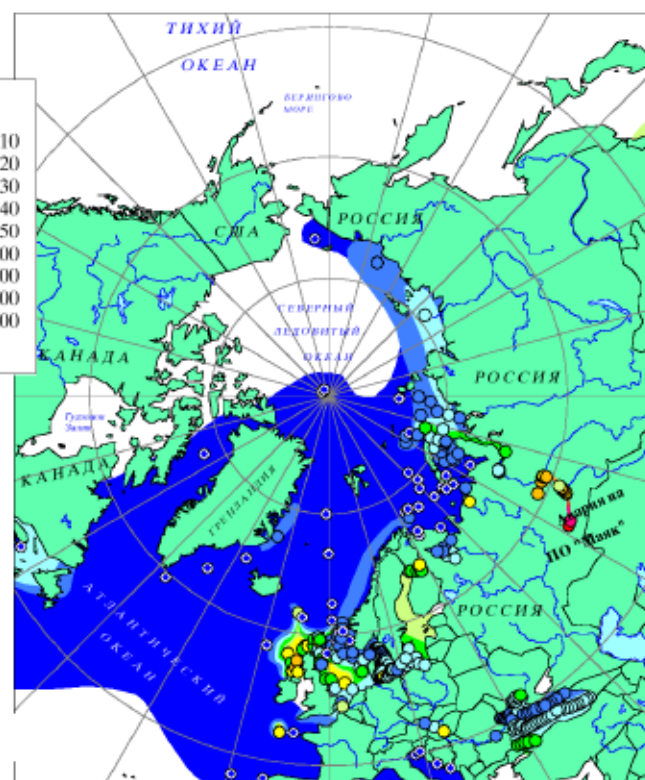
в результате ядерных испытаний в атмосфере, проводившихся на о-ве Рождества и Маршалловых островах. Области повышенных значений ^{239,240}Pu (до 20.5 мБк/м³),

Однако, существующие данные для Северной Атлантики демонстрируют распространение вод, обогащенных ^{239,240}Pu, поступающих из Северного

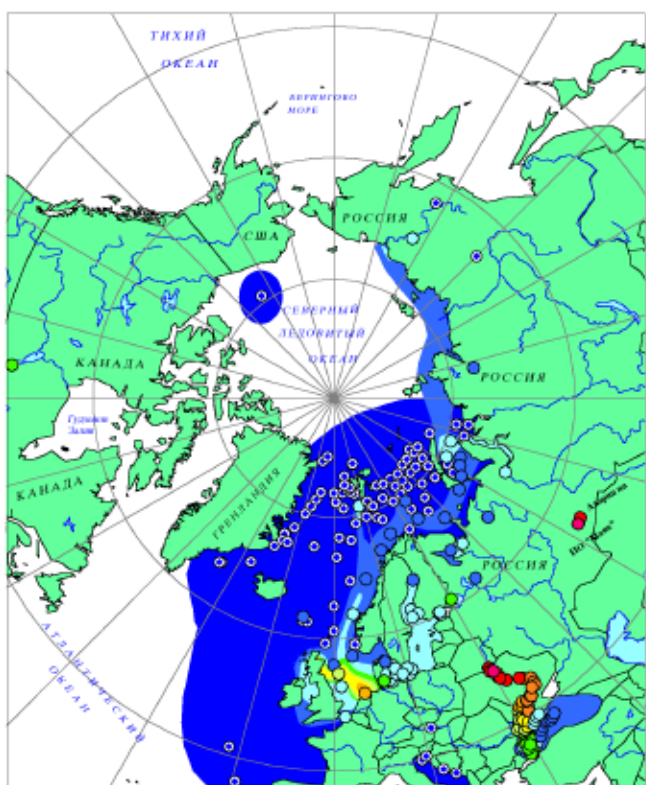
В результате проведенных в 50-х гг. региональных съемок накоплен значительный объем данных по содержанию ⁹⁰Sr в поверхностных и глубинных

3.14 ^{90}Sr В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА. 1960-1998ГГ.

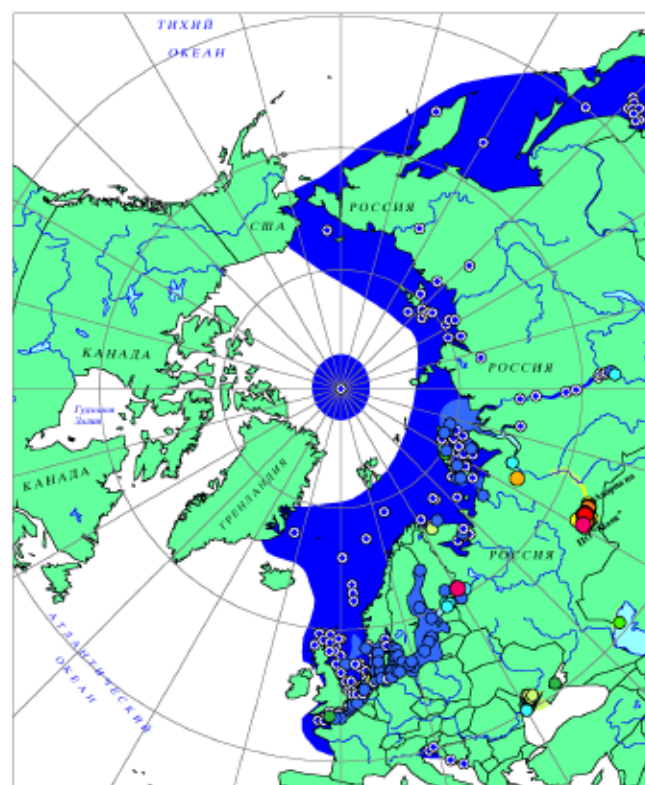
3.14 А. 1960 - 1969 гг.



3.14 Б. 1970 - 1979 гг.

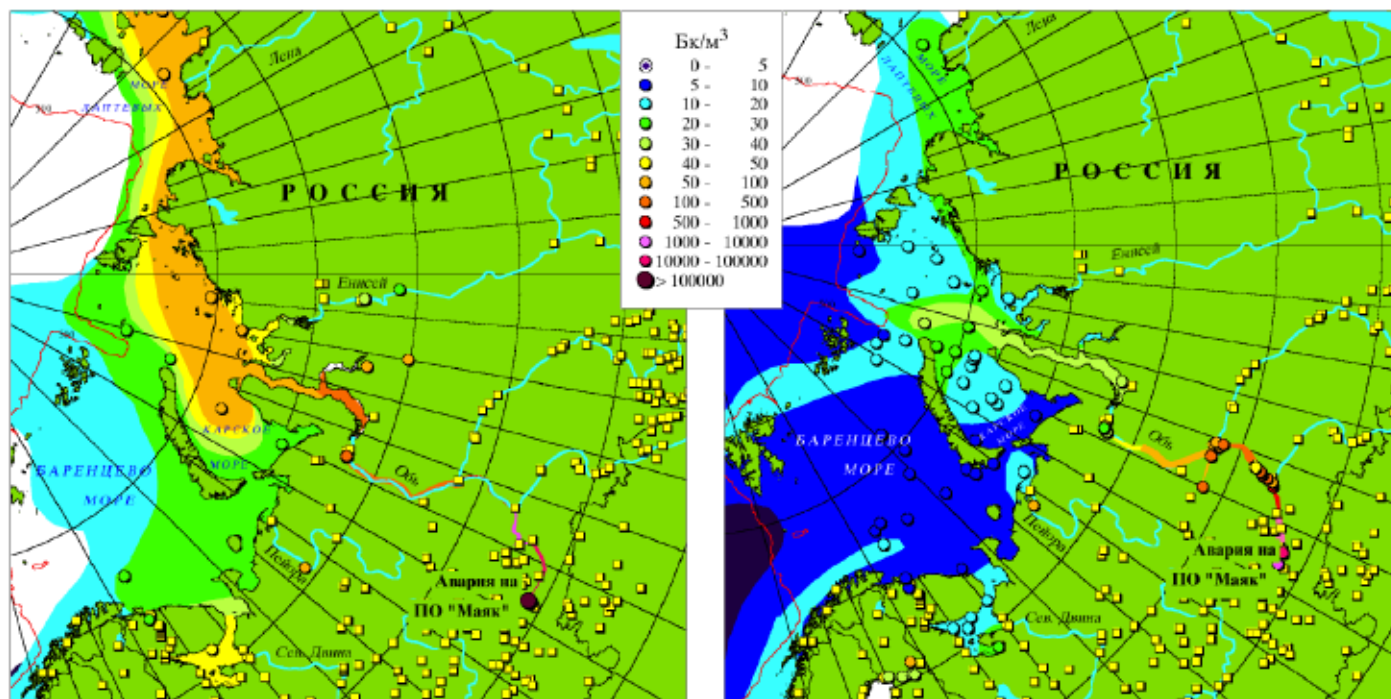


3.14 В. 1980 - 1989 гг.



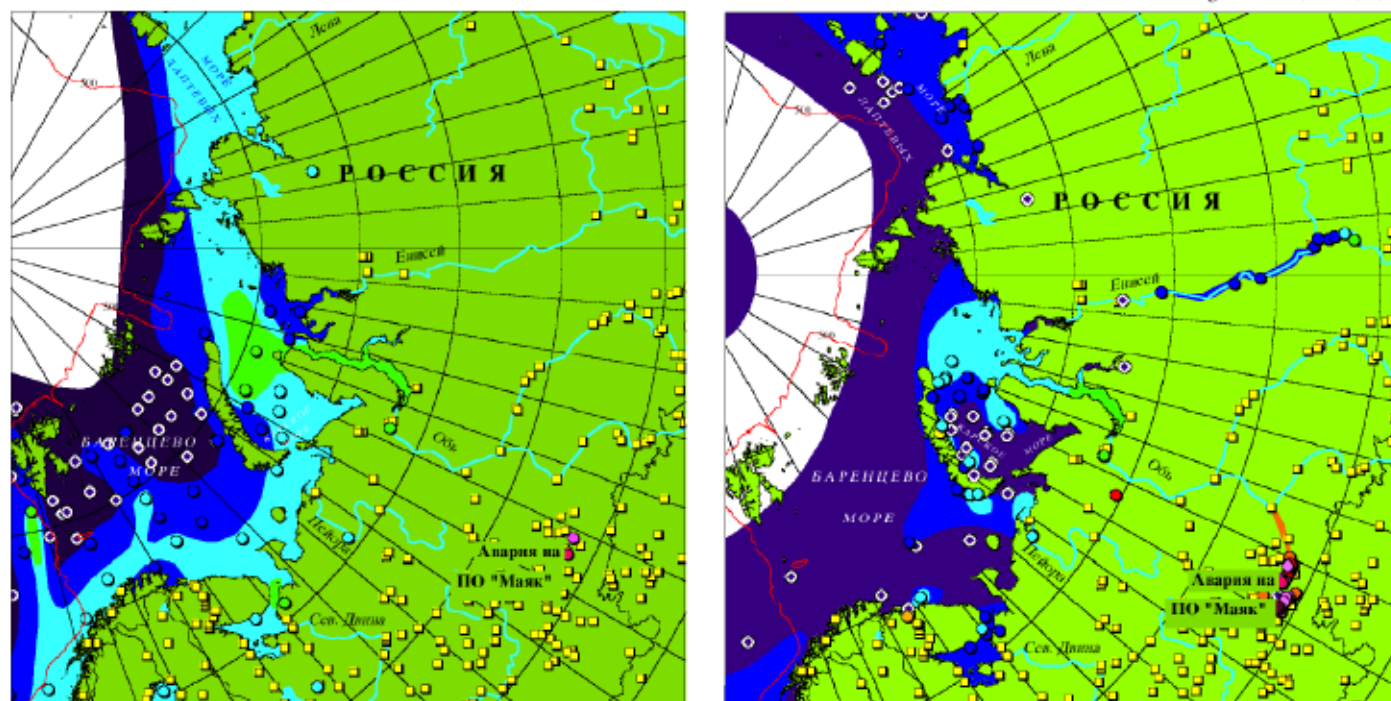
3.14 Г. 1990 - 1998 гг.

3.15 ПОСТУПЛЕНИЕ ^{90}Sr ИЗ РЕКИ ОБЬ В СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН, 1960-1998ГГ.



3.15 а. 1960-1969

3.15 б. 1970-1979



3.15 в. 1980-1989

3.15 г. 1990-1998

— Сечение изобат - 500 м
 ■ Населенные пункты

3.16 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ



водах северной части Тихого и Атлантического океанов. Японские исследователи обнаружили высокие уровни концентраций ^{90}Sr на обширных территориях в Тихом океане [Miyake and Saruhashi, 1958]. Кроме того, очень высокие значения, достигающие 1560000 Бк/м^3 были получены в районе аварии на ПО "Маяк" в Советском Союзе в 1957 г. [Cochran et al., 1993]. К 60-м гг. повышенные

значения были отмечены во многих областях Тихого океана (до 28.3 Бк/м^3) [Volchok et al., 1971], а также отчетливо выраженное распространение загрязненных вод из р. Обь в Карское море и на юг вдоль



Замерзшее озеро, Аляска

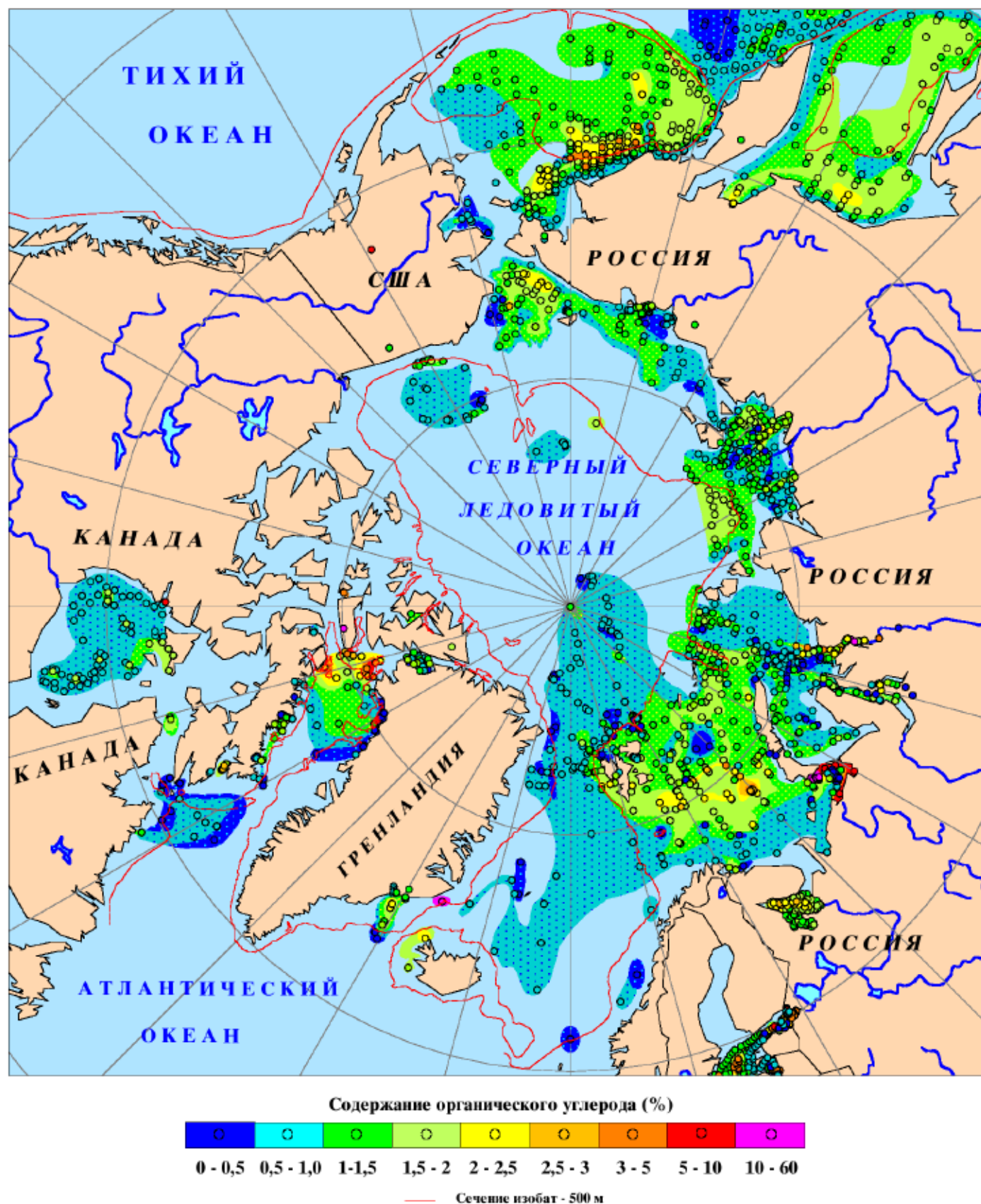
Гренландского течения в Северную Атлантику. К 70-м гг. след Селлафида достиг Баренцева моря, где к 80-м г. он соединился с водами, поступившими из р. Обь. Измерения, проведенные в Арктике в 90-х гг., показали относительно низкие значения и только в некоторых местах несколько остаточных высоких величин.

Концентраций стронция-90, измеренные в Российской Арктике с 1960 по 1969 г., свидетельствует о том, что в течение этого периода радионуклиды поступали в Карское море через реку Обь. Основным источником загрязнения было место аварии на ПО "Маяк", где уровни загрязнения в речной воде достигали $44\,400 \text{ Бк/м}^3$ (снизившись от первоначального уровня $1\,560\,000 \text{ Бк/м}^3$, измеренного сразу после аварии в 1957 г.) [Cochran et al., 1993]. В течение 70-х гг. концентрации ^{90}Sr в водах р. Обь на расстоянии более нескольких сотен километров от источника оставались на уровне $1\,000 \text{ Бк/м}^3$ [Kuznetsov et al., 1994]. Концентрации ^{90}Sr в реке Обь в районе г. Салехард, в пределах эстуария реки Обь, и северной части Карского моря достигали уровней $22 - 89 \text{ Бк/м}^3$ (в 5-10 раз выше, чем в соседнем Баренцевом море) [Chumichev and Demyanchenko, 1993]. Несмотря на то, что физико-океанографические данные в местах отбора проб очень бедны, они указывают на приуроченность повышенных уровней ^{90}Sr в поверхностных водах морей к участкам поступления пресных вод из рек Обь и Енисей.

Радионуклидное загрязнение в осадках

Обычно считается, что уровень концентрации поллютантов в донных осадках отражает степень заражения этими компонентами придонных вод в соответствующий период осадконакопления: т.е. состав поверхностных осадков отражает

3.17 СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ



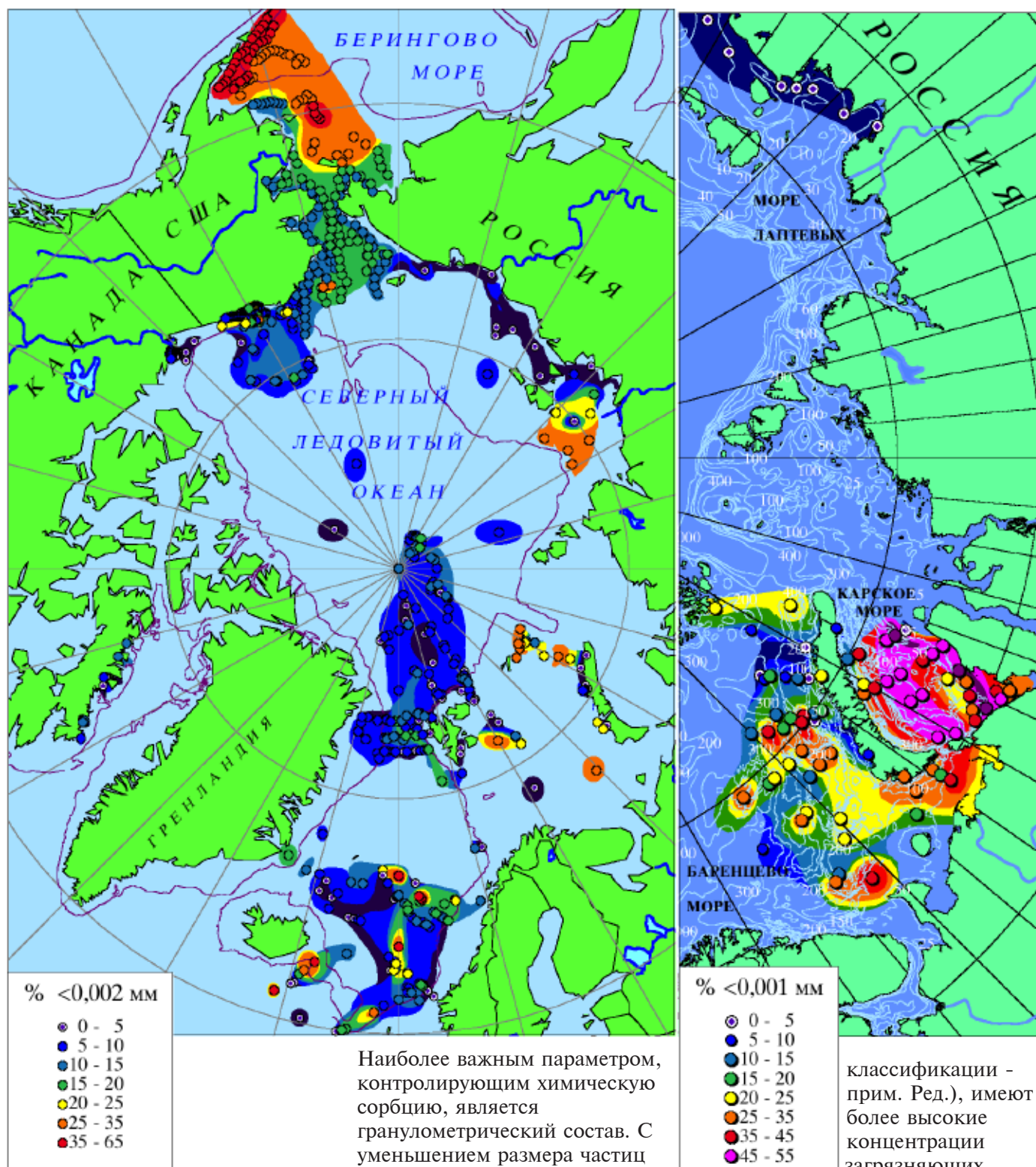
современные концентрации, а содержания загрязняющих веществ в осадочном разрезе соответствуют концентрациям поллютантов в придонных водах,

существовавшим в соответствующий по времени период седиментации. Загрязняющие вещества могут сорбироваться донными осадками

или соосаждаться со взвесью из водной толщи. Физические и химические характеристики осадков влияют на их сорбционную способность.

3.18

ПРОЦЕНТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ СМЕКТИТОВОЙ ФРАКЦИИ

А) ДЛЯ ВСЕЙ АРКТИКИ $<0.002\text{ мм}$ Б) ДЛЯ РОССИИ $<0.001\text{ мм}$ 

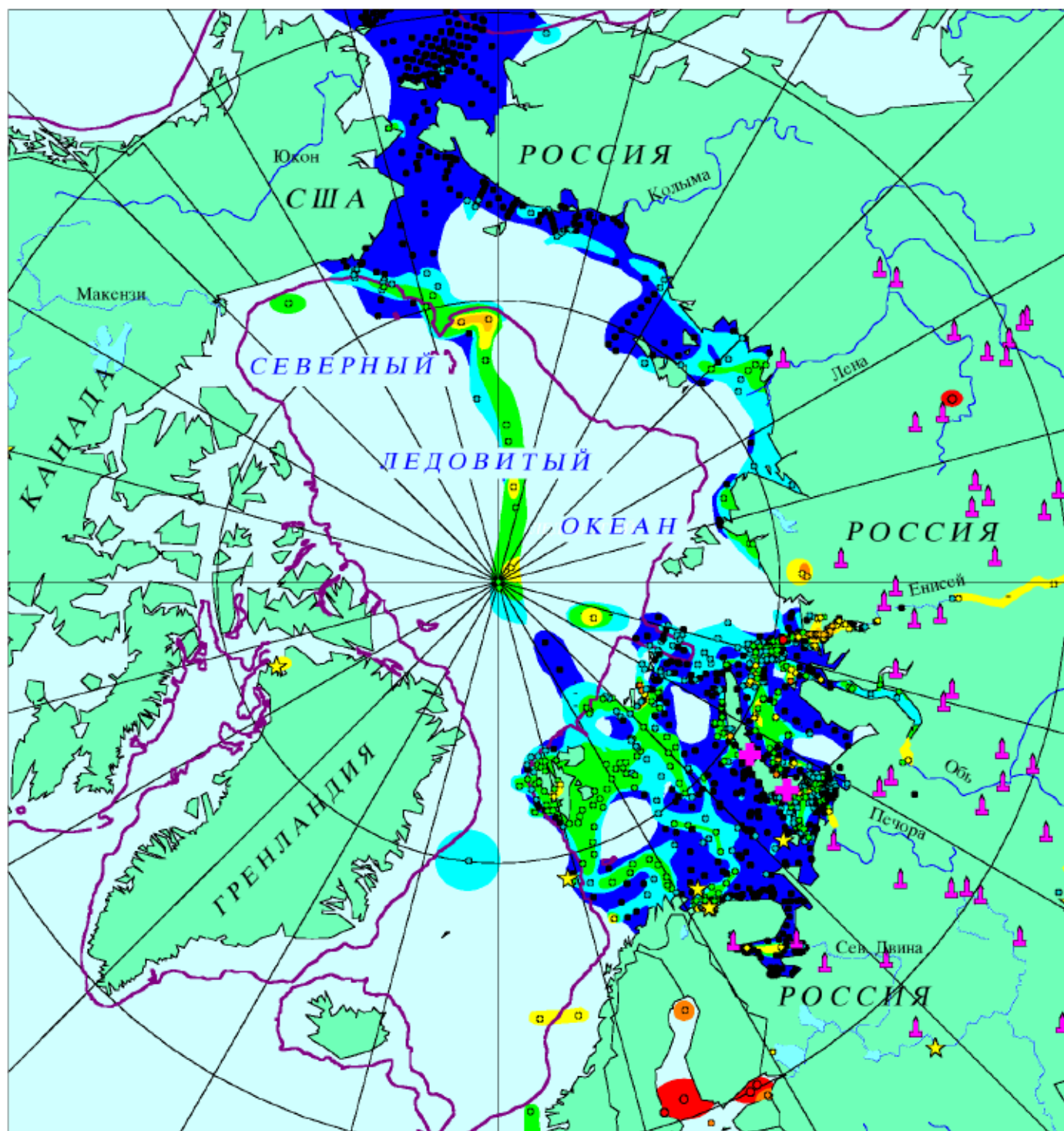
Характеристики осадков

Гранулометрический состав, минералогия глин и содержание органического углерода в осадках влияют на их способность захватывать (сорбировать) и удерживать загрязняющие вещества.

Наиболее важным параметром, контролирующим химическую сорбцию, является гранулометрический состав. С уменьшением размера частиц площадь поверхности на единицу объема увеличивается логарифмически, и соответственно увеличивается их способность сорбировать химические вещества. Поэтому наиболее тонкие фракции, такие как глинистая ($< 0.002\text{ мм}$) и алевритистая ($< 0.002 - 0.063\text{ мм}$) (по американской

классификации - прим. Ред.), имеют более высокие концентрации загрязняющих веществ, чем осадки, в которых преобладают песчаная и гравийная фракции. Так как тонкозернистый материал может откладываться только в районах слабых течений, то зоны преимущественного развития глин и алевритов обычно

3.19

 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ

Бк/кг, сухой вес



Сечение изобат - 500 м

Ядерные взрывы и аварии

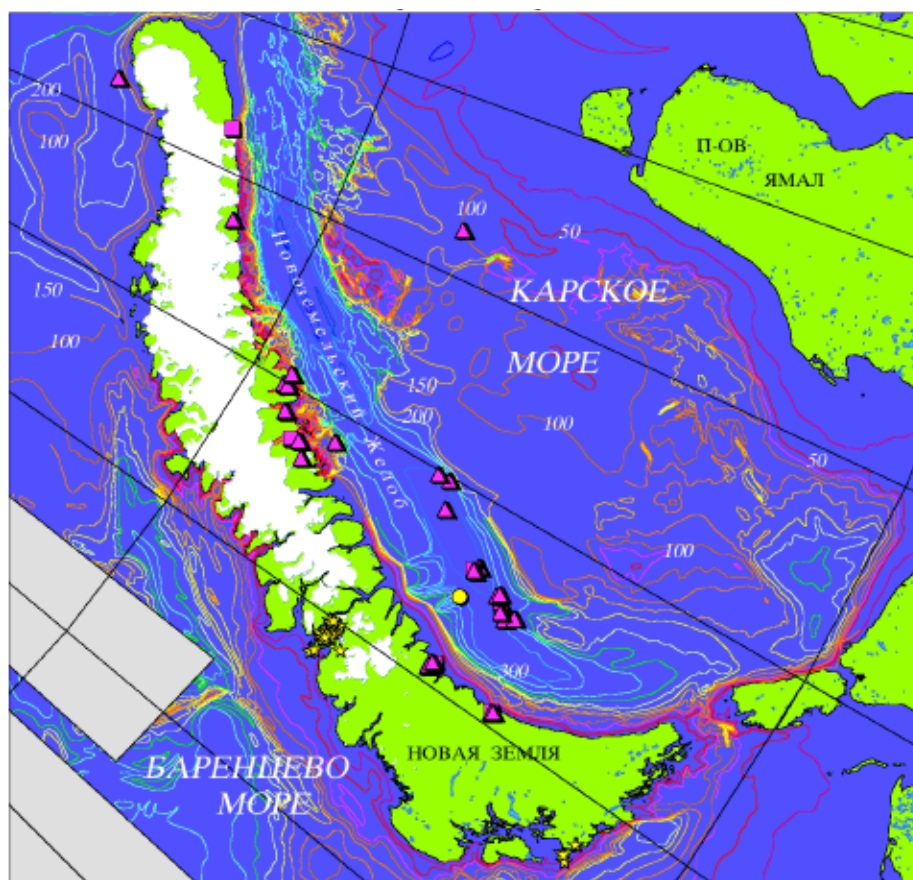
- ✚ Военные взрывы
- ✚ Ядерные взрывы гражданского назначения
- ★ Ядерные аварии

расположены в наиболее глубоководных и/или изолированных участках бассейнов. На приведенных в этой главе картах распределения радионуклидов в осадках обычно показано также процентное

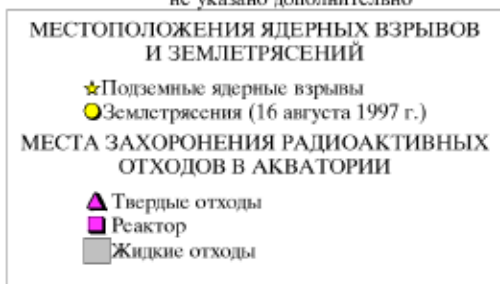
содержание глинистой составляющей в поверхностных осадках. Это сделано для того, чтобы помочь читателю в выявлении участков дна с потенциально высокой сорбционной способностью.

Содержание органического углерода в осадках также влияет на уровни загрязнения. Органическое вещество в осадках и взвешенном материале стимулирует флуккуляцию и соединение с металлами.

3.20 МЕСТА ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОСАДКОВ И ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В КАРСКОМ МОРЕ



Сечение изобат - 25 м, если не указано дополнительно



Анализ донных осадков Норвежского моря

Двухвалентные ионы тяжелых металлов, таких как ртуть и свинец, являются более восприимчивыми к этому типу сорбции, чем одновалентные ионы [Forstner, 1979]. Многие



Полуночное солнце, пролив Фрама

филлосиликатные минералы также легко связывают органический углерод.

Глинистые минералы (иллит, хлорит, каолинит и смектит) сорбируют загрязняющие вещества несколькими способами. В ряду сорбционной способности глинистые минералы располагаются следующим образом (в порядке убывания): смектит > хлорит > иллит > каолинит [Arnfolk et al., 1996; Molinaroli, 1994]. Смектит (монтмориллонит) характеризуется наивысшей способностью к сорбции, так как он имеет наибольшую площадь поверхности. Помимо глинистых минералов, значительную часть тонкозернистых фракций арктических осадков составляют кварц и полевой шпат. Их накопление связано с высокой степенью ледниковой эрозии. Эти минералы обладают низким сорбционным потенциалом.

Радионуклидное загрязнение в морских, озерных и речных осадках (1990-1996)

Концентрации ^{137}Cs в осадках превышают фоновые уровни в реках Ангара, Енисей, Обь, Карском и Баренцевом морях, желобах Анны и Св. Виктории, а также на континентальных шельфах Чукотского моря и моря Бофорта в районе Аляски. Концентрации вблизи северного берега Аляски хотя и превышают фоновые, но являются низкими.

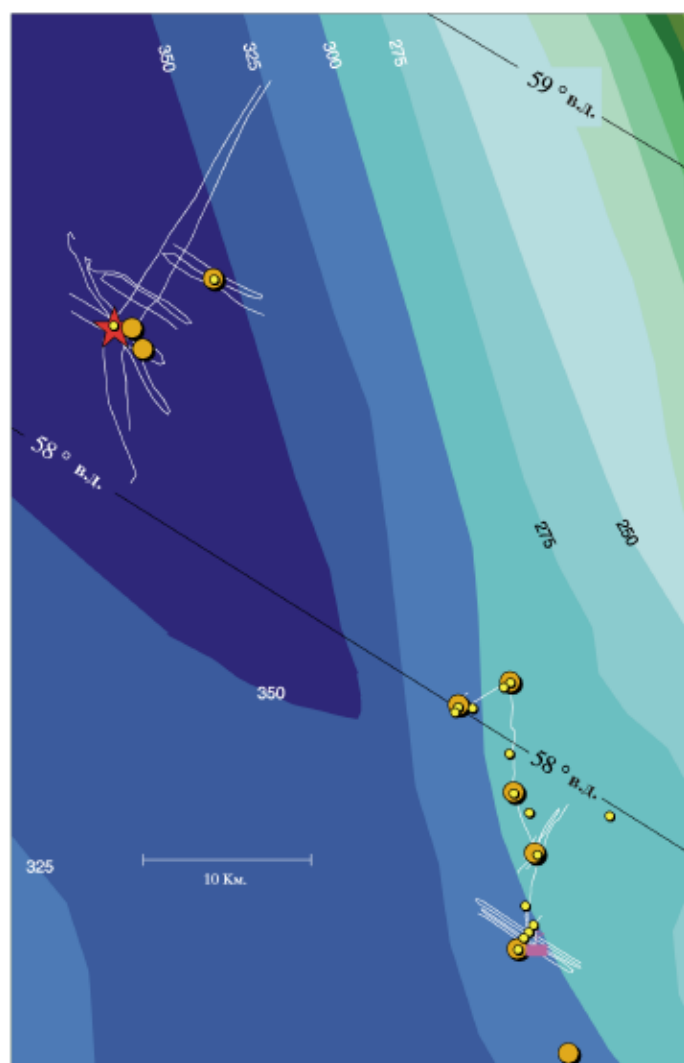
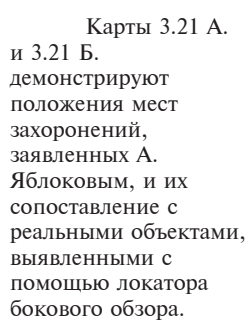
Максимальное значение ^{137}Cs , измеренное в



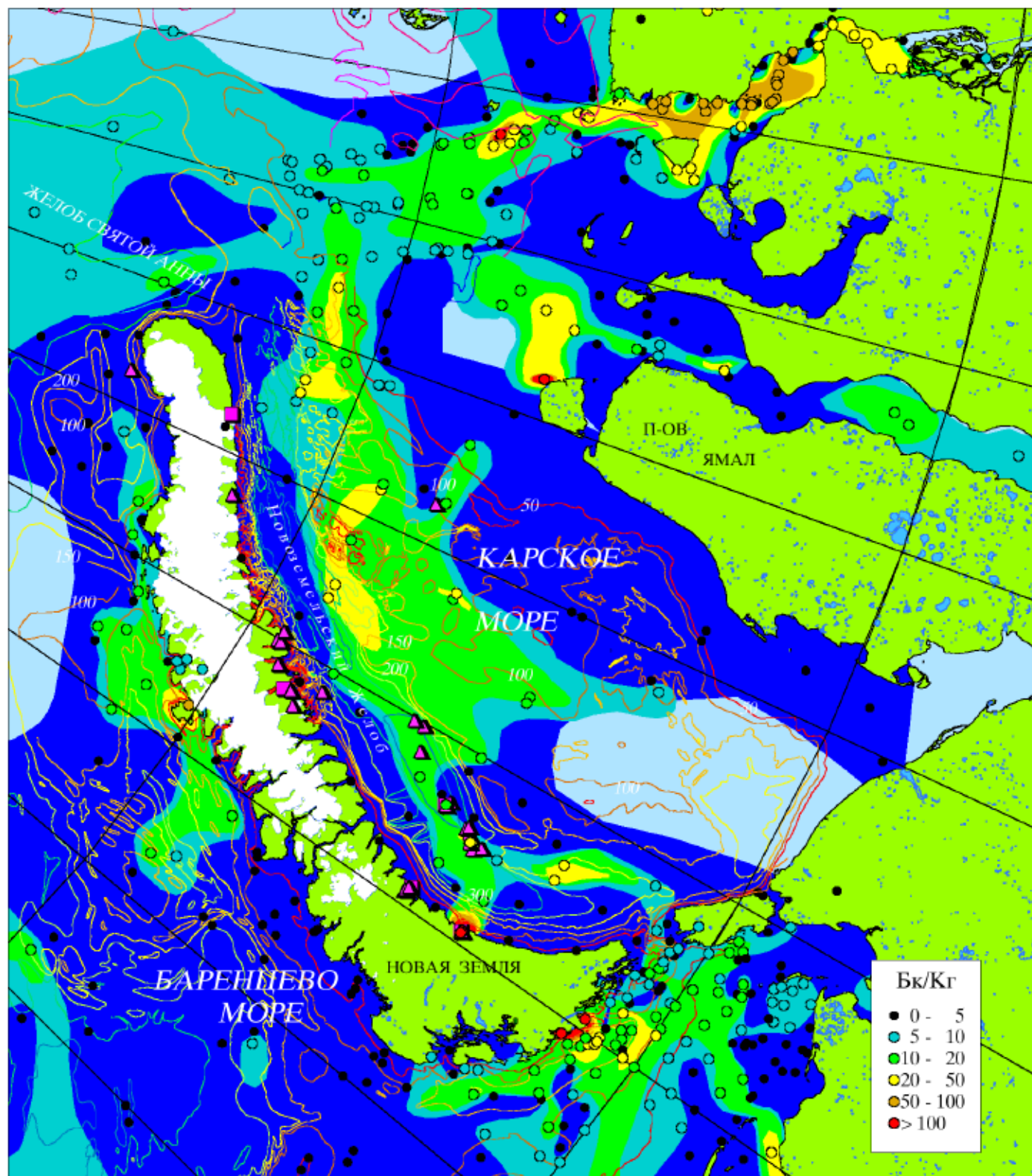
А) ЗАЯВЛЕННЫЕ И НАБЛЮДЕННЫЕ ЗАХОРОНЕНИЯ



Б) ЛИНИИ ПРОФИЛЕЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОКАТОРА
БОКОВОГО ОБЗОРА



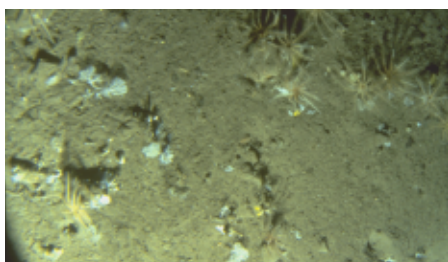
Ученый из полярного института Скотта, Англия

3.22 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ 1990-1997ГГ.

■ Реактор

▲ Твердые отходы

100 Глубины в метрах



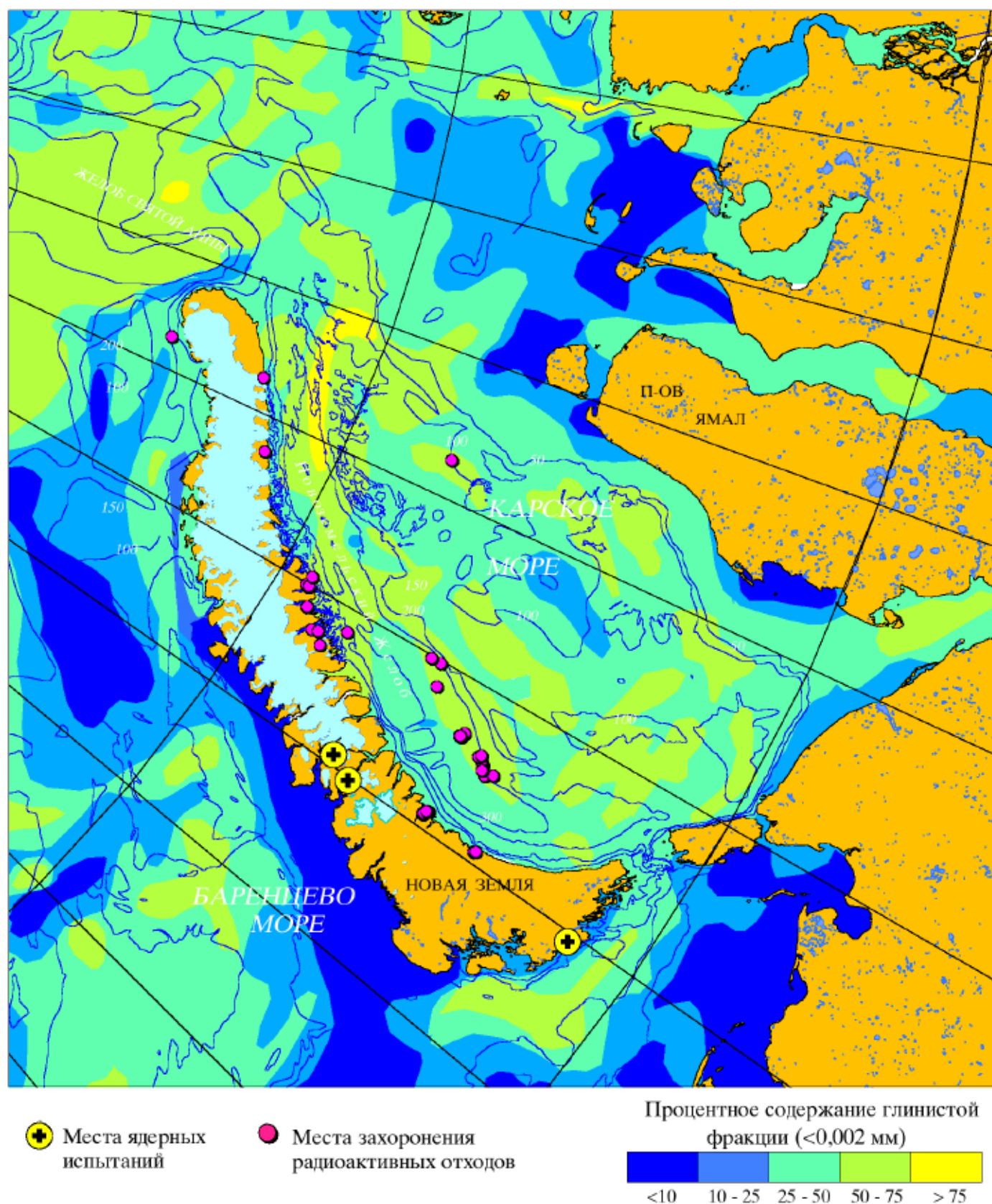
Морское дно близ Шпицбергена

поверхностных осадках Карского моря (420 Бк/кг), было получено во фьорде Абросимова на юго-западном побережье Новой Земли, на глубине 16 м, вблизи затопленного ядерного отсека [Foynt and Nikitin, 1994]. К востоку от Новой Земли расположен Новоземельский



Рыбачьи сети, Сибирь

3.23 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ

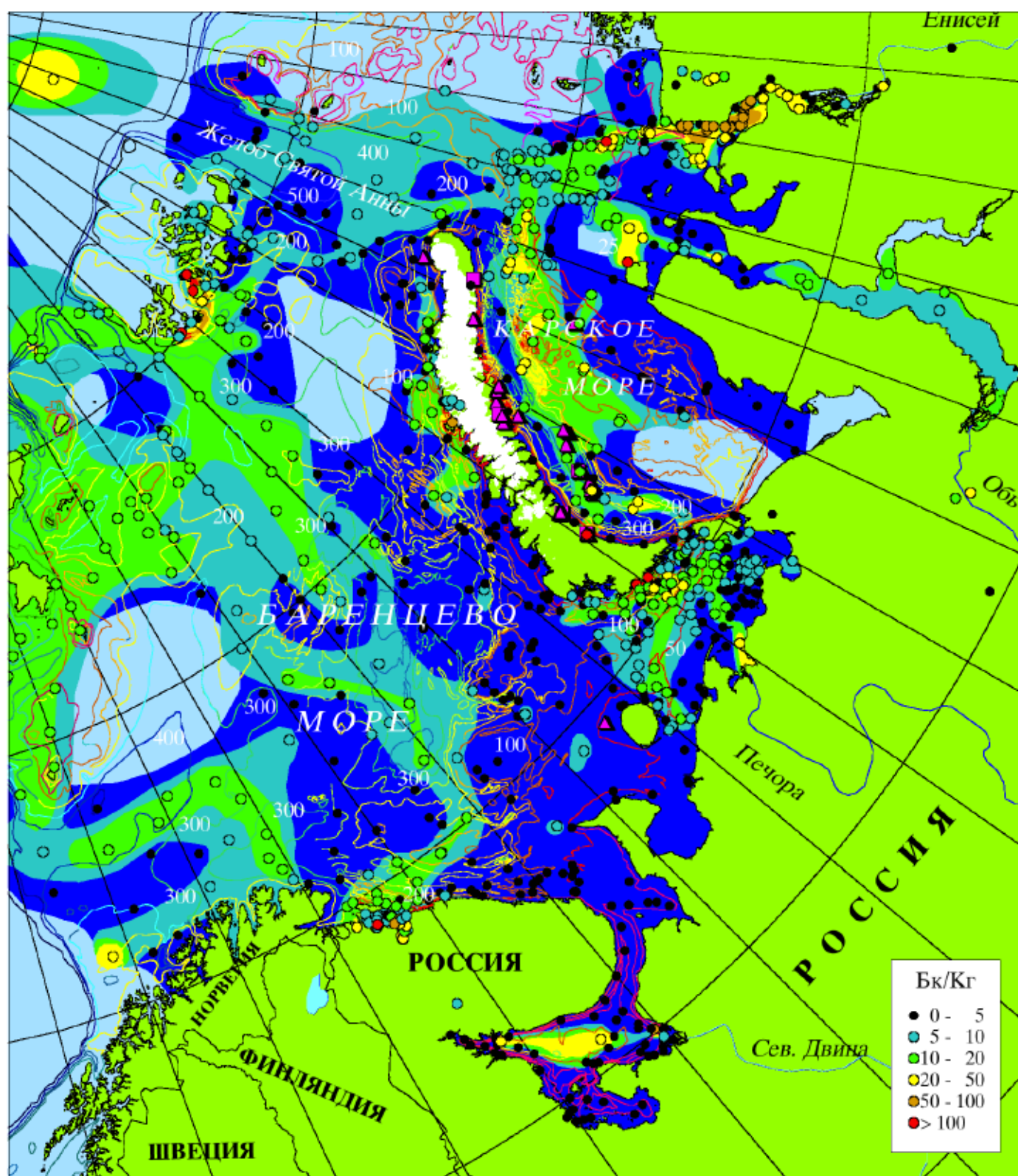


желоб, глубины в пределах которого превышают 300 м. Здесь захоронены более 10 000 объектов твердых ядерных отходов, восемь кораблей и, по меньшей мере, один заявленный ядерный

реактор (местоположение не установлено [Yablokov et al., 1993]). Концентрации ^{137}Cs на восточном борту желоба составляют 32 Бк/кг [Hamilton et al., 1994a], в отличие от

значений менее чем 20 Бк/кг на дне к востоку от желоба и менее 5 Бк/кг между желобом и береговой линией Новой Земли [Ivanov et al., 1993; Strand et al., 1993; Kuznetsov et al., 1994;

3.24 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ 1990-1997ГГ.



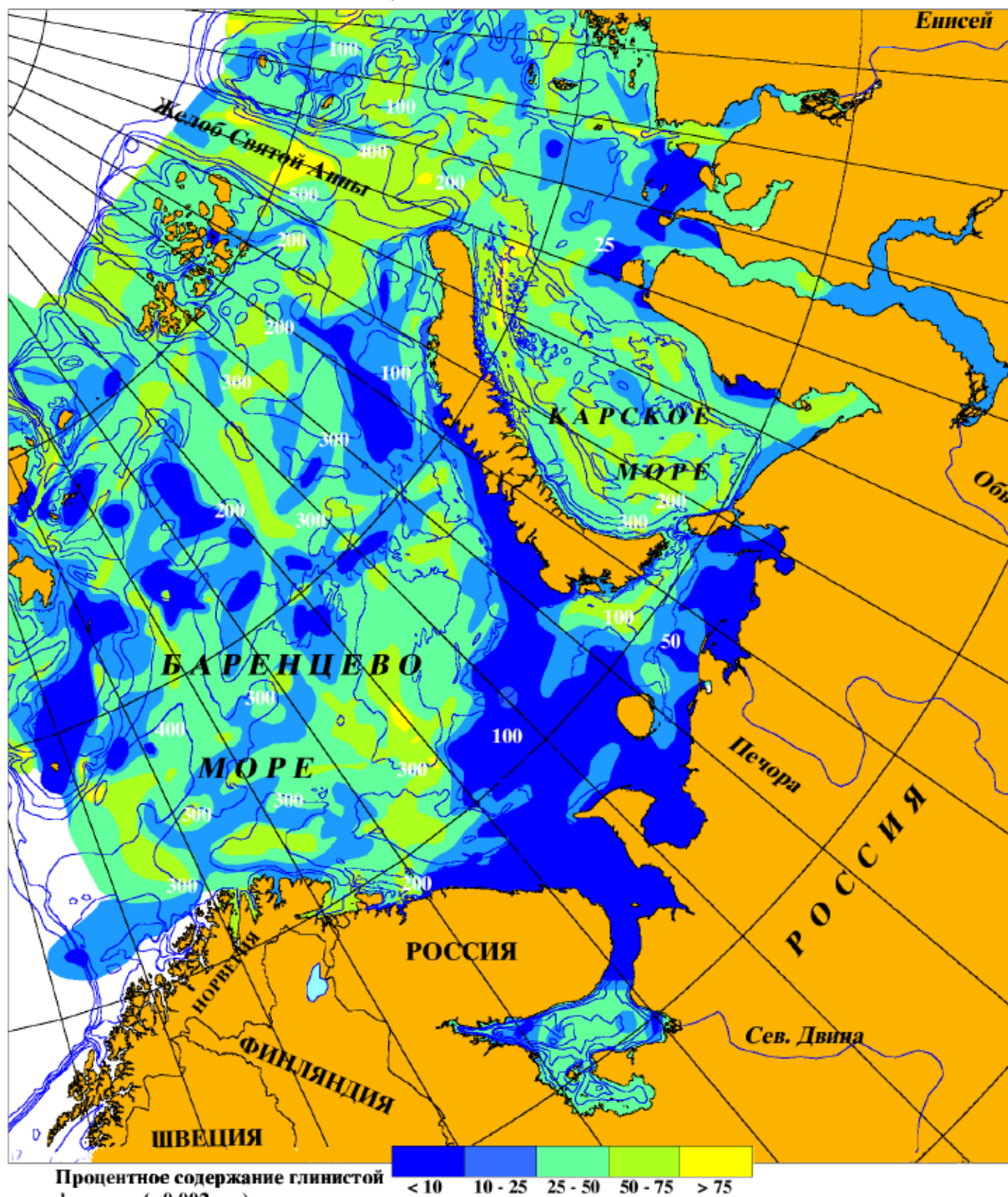
Forman et al., 1995 and Phillips et al., 1996a).

В устье р. Енисей концентрации ^{137}Cs в поверхностных осадках превышают 69 Бк/кг [Brooks et

al., 1995; GERG, Texas A & M University, 1995] и увеличиваются до 418 Бк/кг (сухой вес) на широте 57.92° с.ш., в районе более, чем 200 км ниже расположенного в Красноярске

завода по производству плутония [Phillips et al., 1997]. В отличие от этого, концентрации ^{137}Cs в устье Оби, там, где она впадает в Карское море, обычно невысоки, зато они достигают

3.25 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ



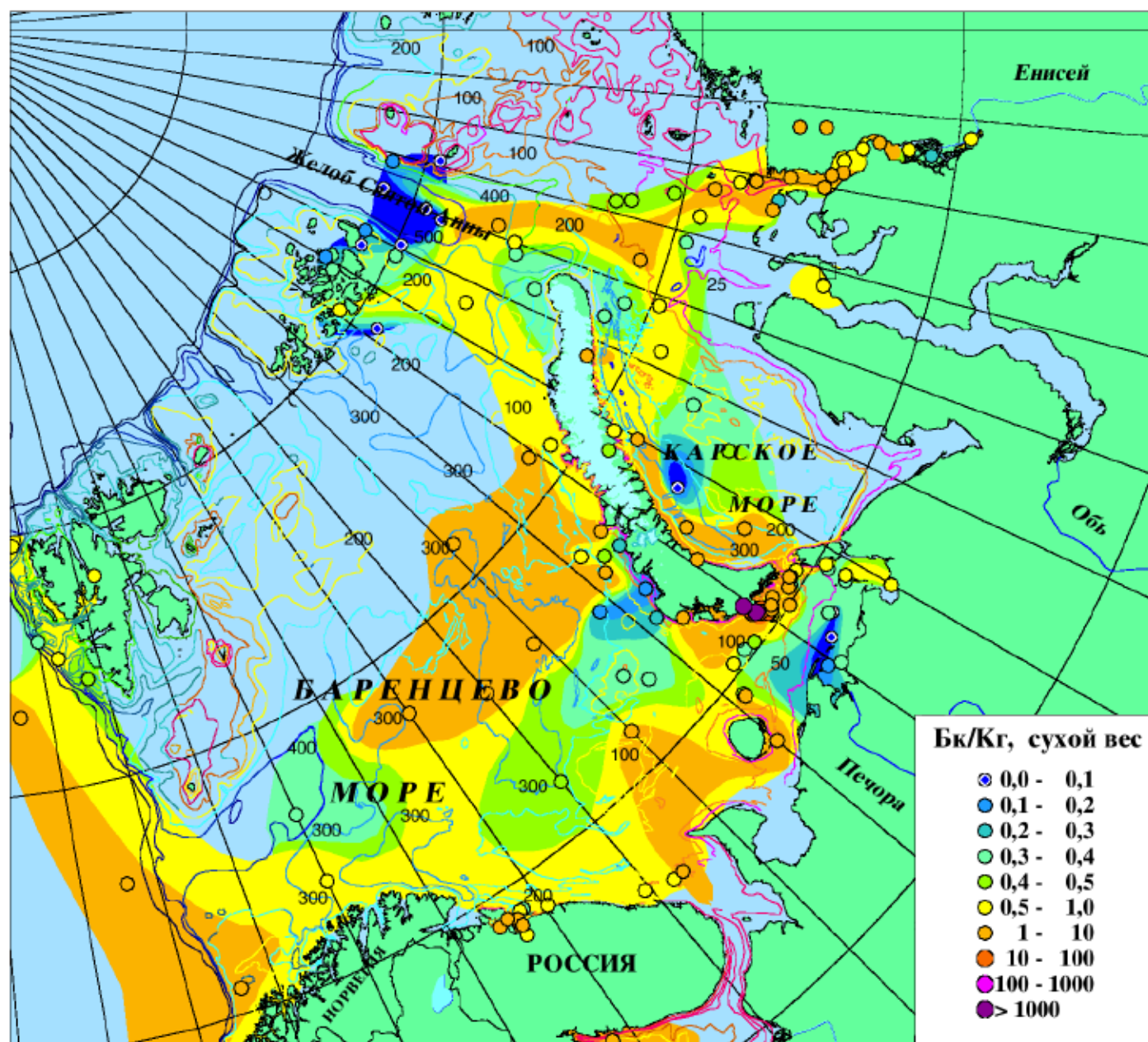
220 000 Бк/кг в реке Теча, в непосредственной близости от завода по производству ядерного оружия "Маяк" [Trapeznikov et al., 1993].

В пределах Баренцева моря концентрации ^{137}Cs обычно очень низки (< 5 Бк/кг) [Matishov and

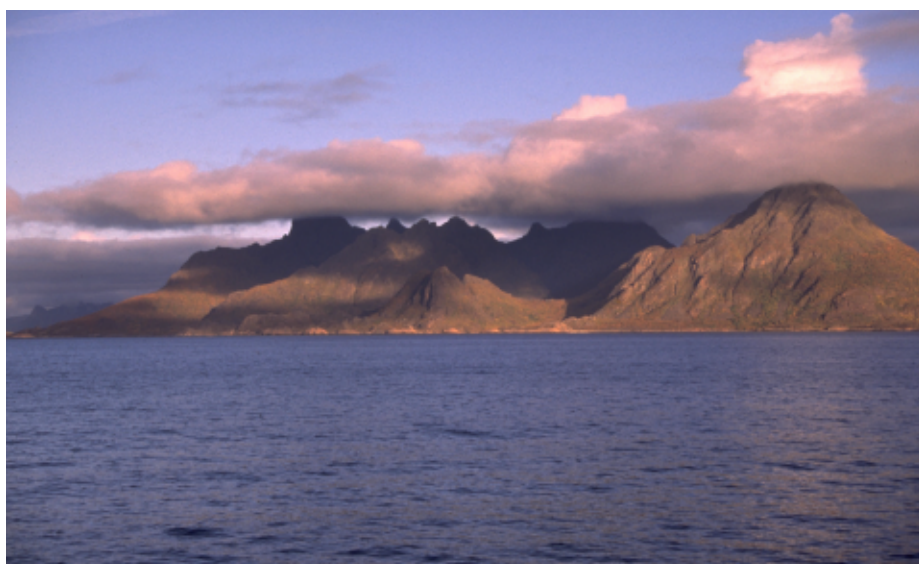
Szcypa, 1993; Matishov et al., 1994; Smith et al., 1993; Forman et al., 1995]. Исключение составляет губа Черная, расположенная у южного окончания Новой Земли (также место подводных ядерных испытаний), где концентрации достигают 1 442 Бк/кг (сухой

вес), как было заявлено Смитом и др., [1993], Матишовым и др. [1993], Форманом и др. [1995] и Смитом и др. [1995b]. Концентрации ^{137}Cs в поверхностных осадках также достигают значений свыше 20 Бк/кг в районе Шпицбергена

3.26 $^{239,240}\text{Pu}$ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ 1990-1997ГГ.

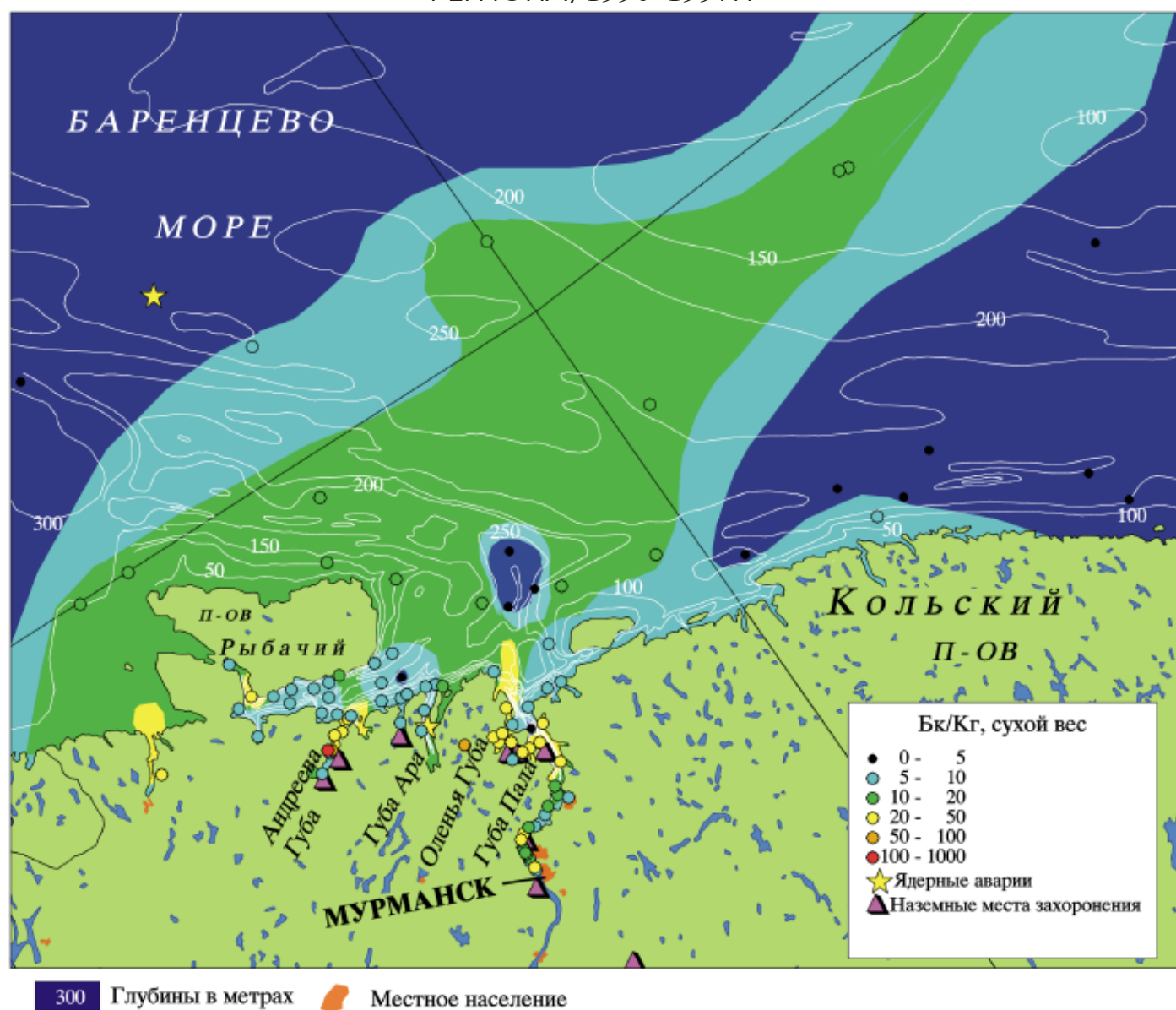


Группа геофизиков спускается на лед



Шпицберген летом

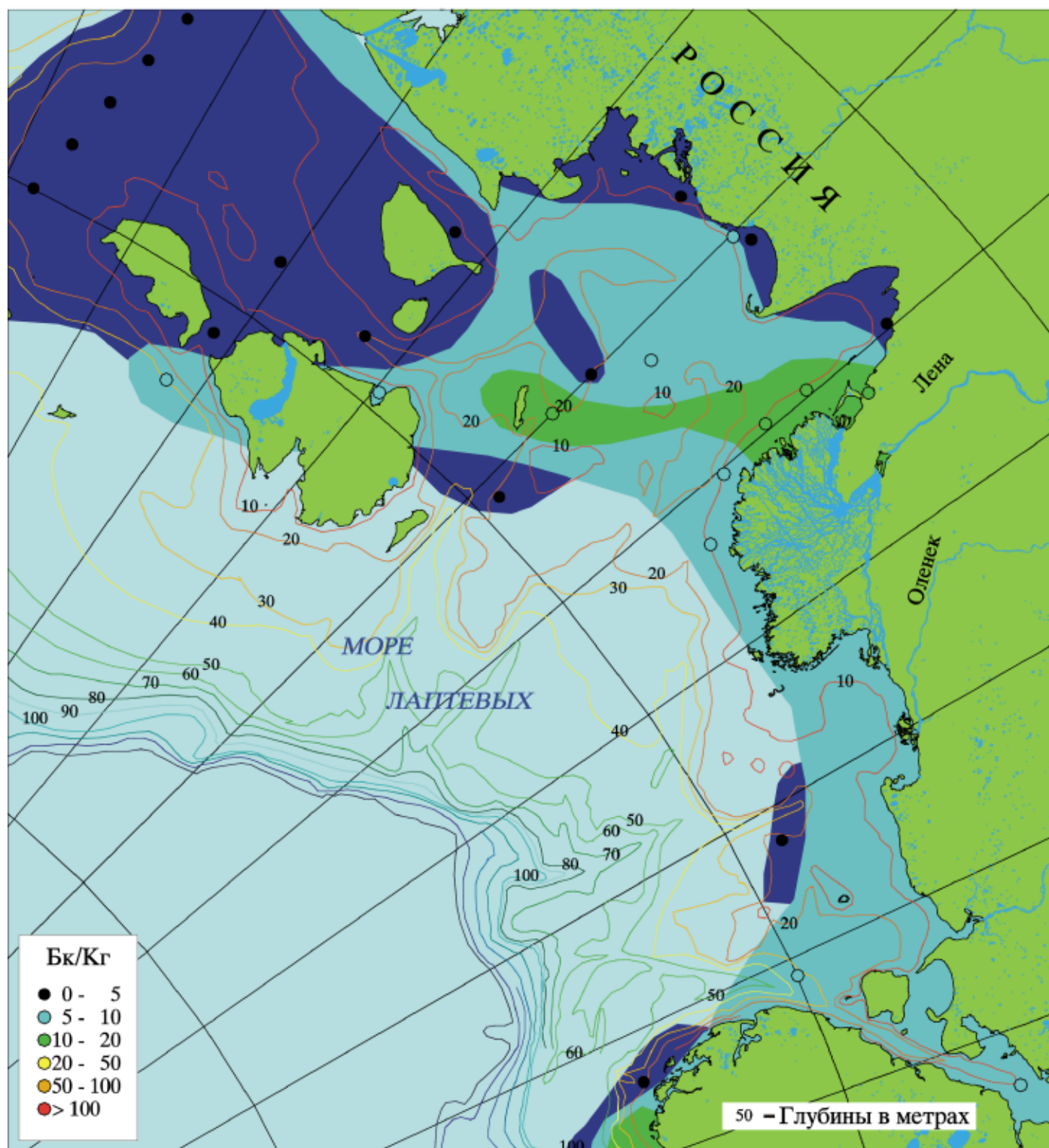
3.27 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ В ВОДОЕМАХ МУРМАНСКОГО РЕГИОНА, 1990-1997ГГ



Низкие облака над Шпицбергенем



Граница Полярных льдов, пролив Фрама

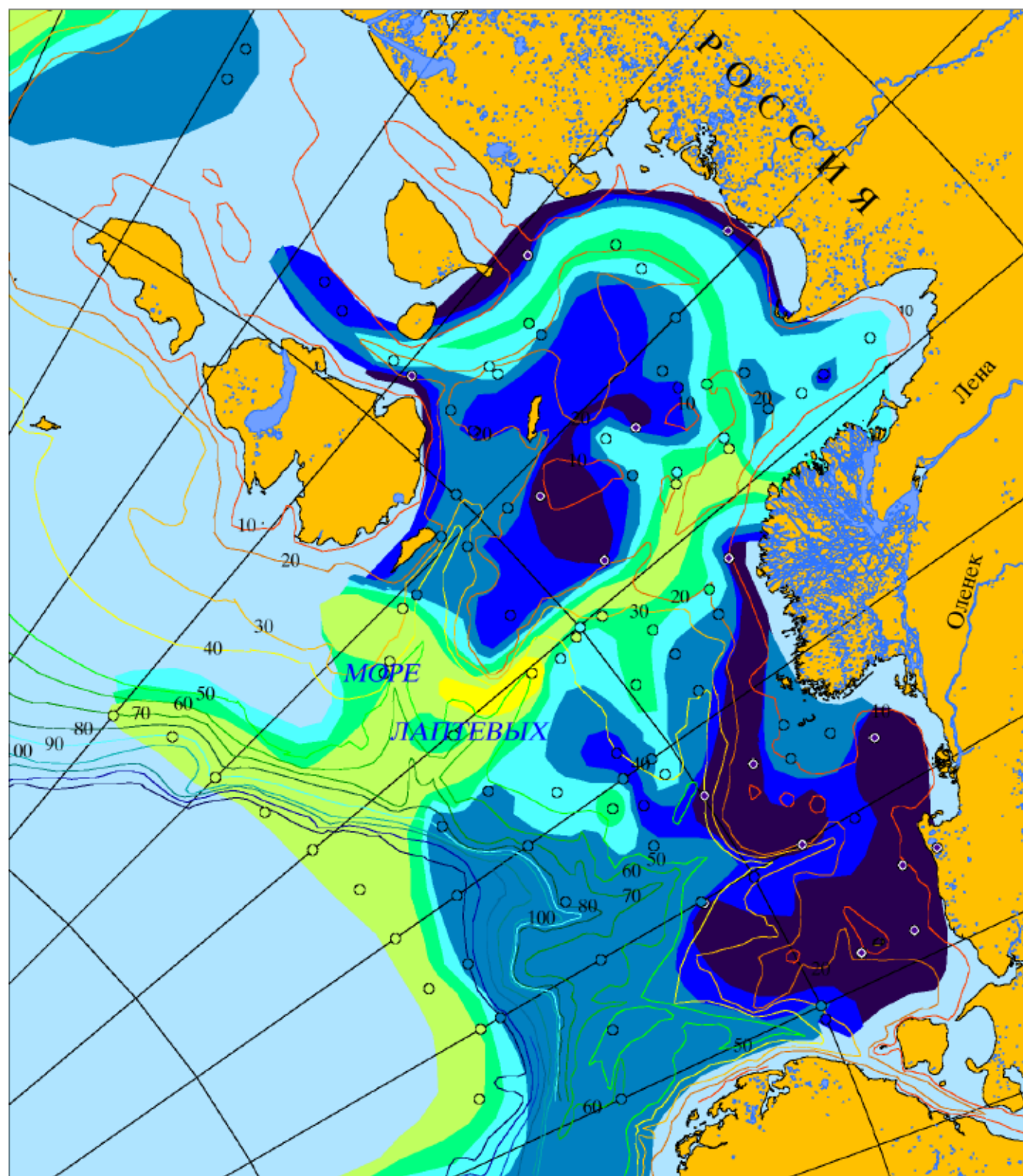
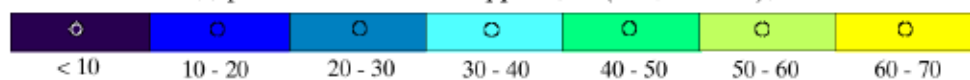
3.28 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ, 1990-1997ГГ

Волны на донном осадке, Аляска

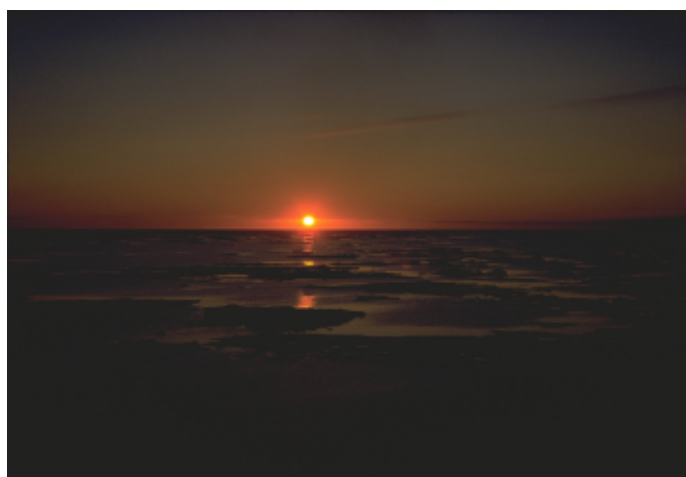
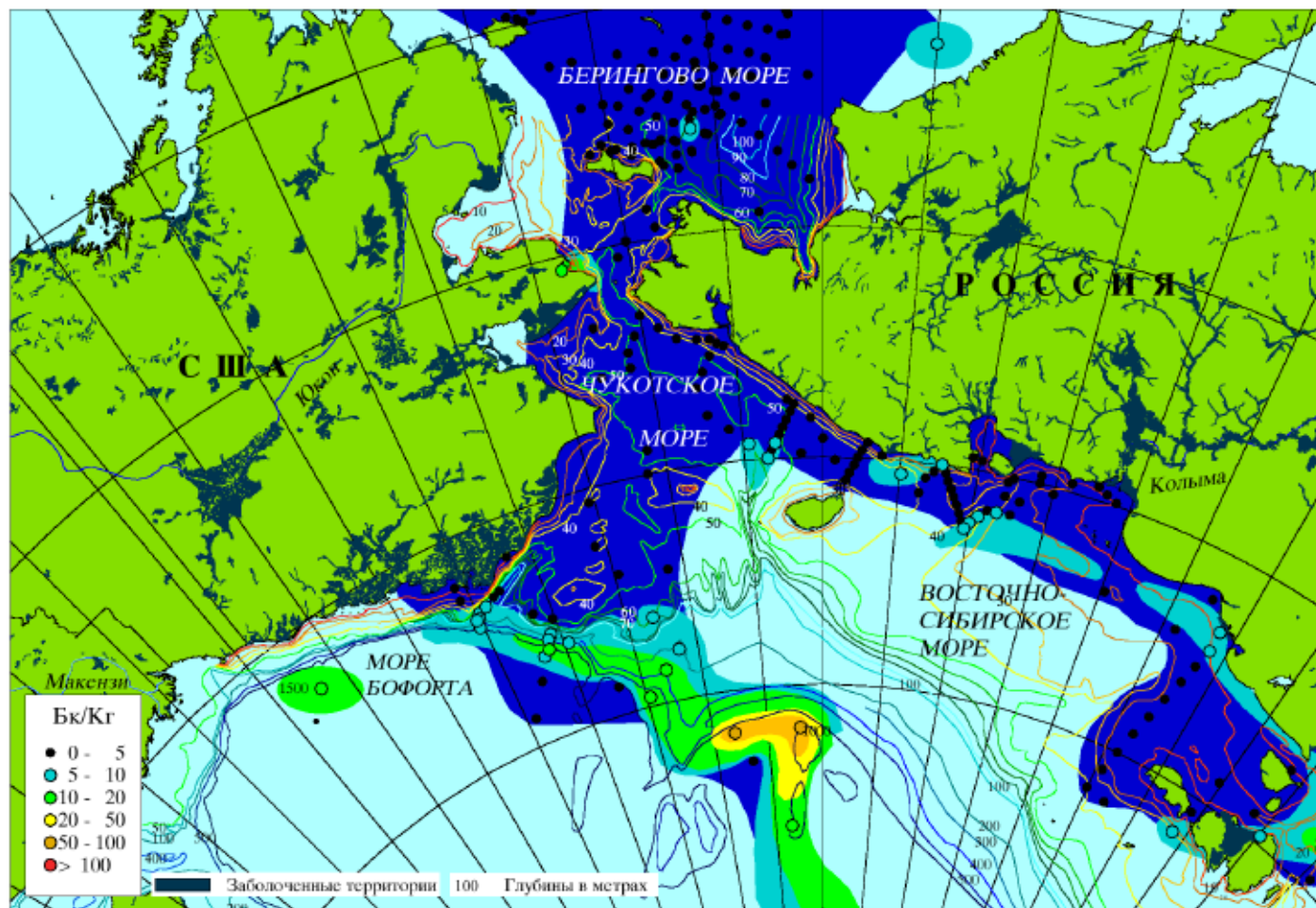


Шведское судно YMER в Арктических льдах

3.29 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Содержание глинистой фракции ($< 0,002$ мм), %

3.30 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЕЙ БОФОРТА, ЧУКОТСКОГО И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО, 1990-1997ГГ.



Полуночное солнце, север Гренландии

[Ivanov et al., 1997b], в желобе Франц-Виктории к югу от Земли Франца Иосифа, в центральной части Белого моря, в эстуарии реки Печора. Образцы прибрежных почв и мелководных осадков Земли Франца Иосифа [Matishov et al., 1993] указывают на возможные высокие уровни концен-траций ^{137}Cs в этом регионе.

Значения ^{137}Cs до 28 Бк/кг (более чем в пять раз превышающие предполагаемые фоновые значения) были получены шведскими океанографами во время экспедиции на борту судна

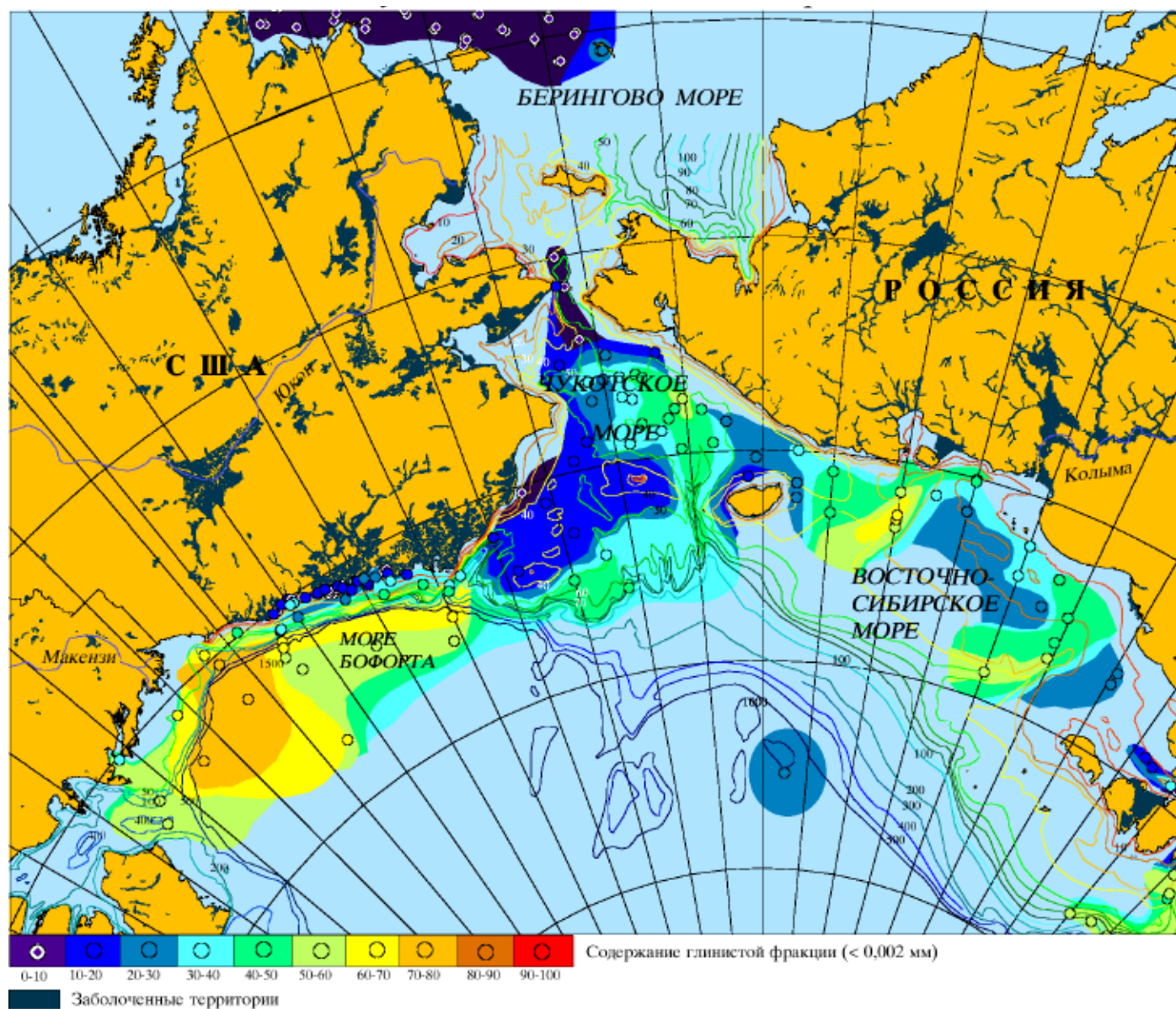
“Оден” в 1992 г. непосредственно к северу от Земли Франца Иосифа, в бассейне Нансена, на широте 84.5° с.ш. [Roos and Holm, 1993]. В Мурманской области на Кольском полуострове концентрации ^{137}Cs в поверхностных осадках достигают 54 Бк/кг в порту г. Мурманска [Strand et al., 1993] и 114 Бк/кг рядом с заливом Андреева [Bellona, 1998].

Содержание ^{137}Cs в осадках Японского моря приводится здесь из-за его близости к Берингову морю и побережью Аляски. Повышенные концентрации (до 11 Бк/кг) были обнаружены



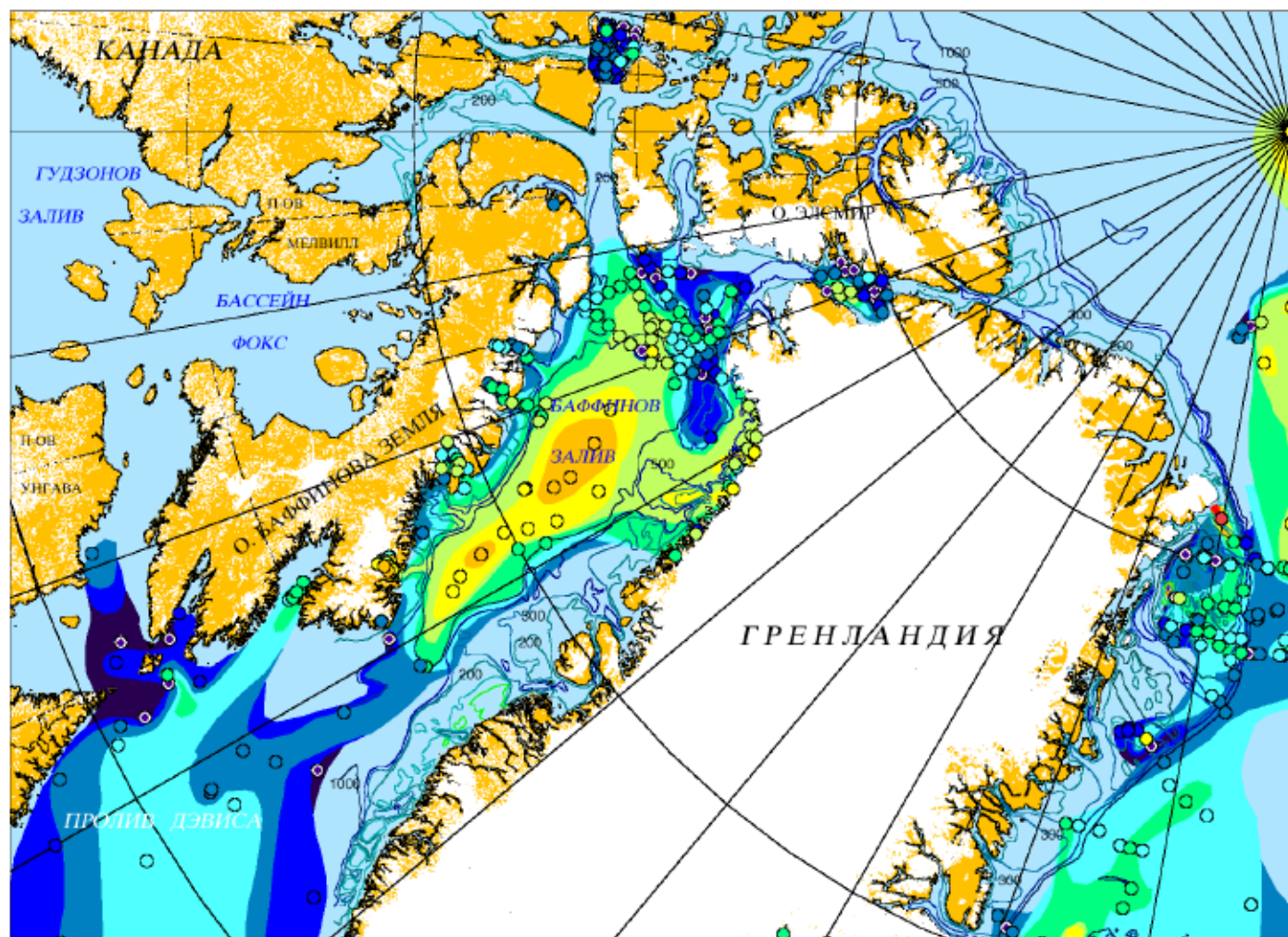
Горы близ Мак-Кинли, Аляска

3.31 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЕЙ БОФОРТА, ЧУКОТСКОГО И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

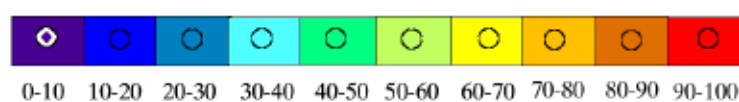


Лед покрытый илом, залив Кука. Аляска

3.32 СОДЕРЖАНИЕ ГЛИНИСТОЙ ФРАКЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ БАФФИНОВА ЗАЛИВА

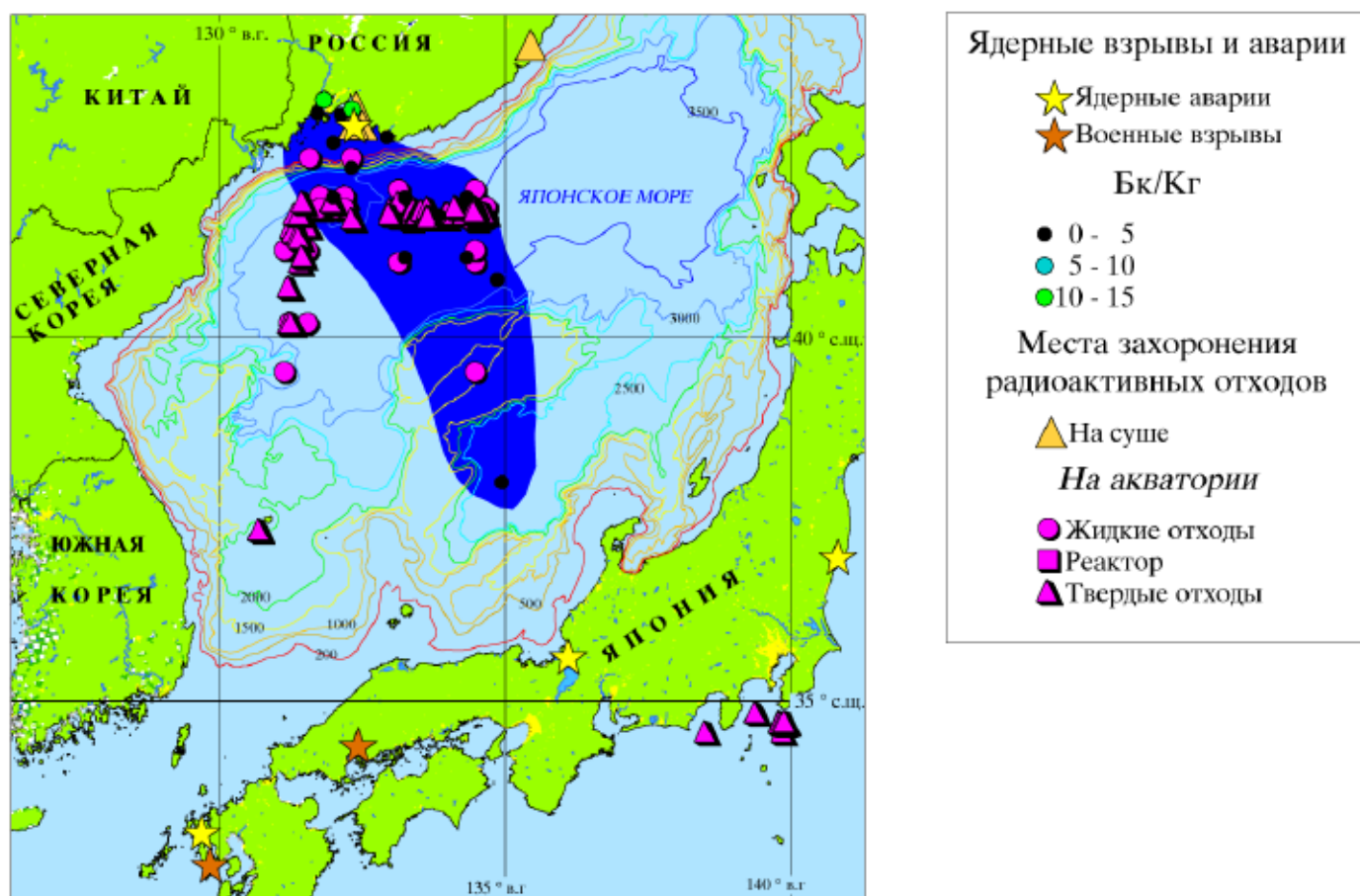
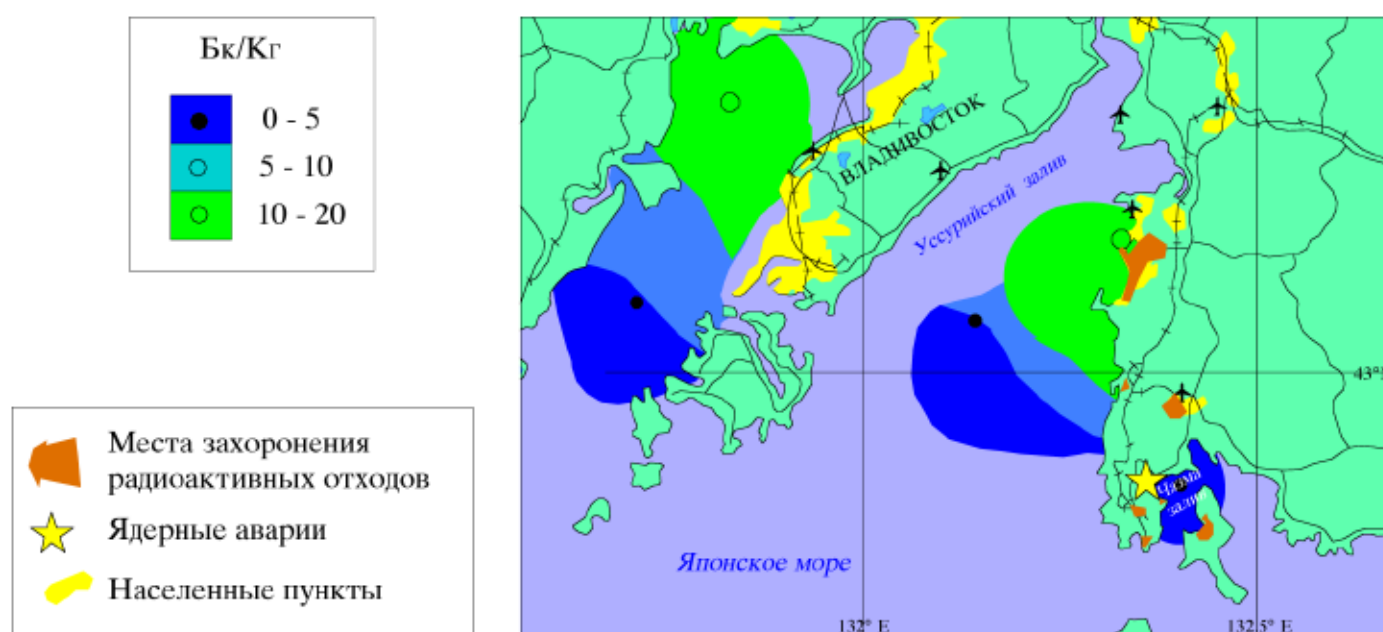


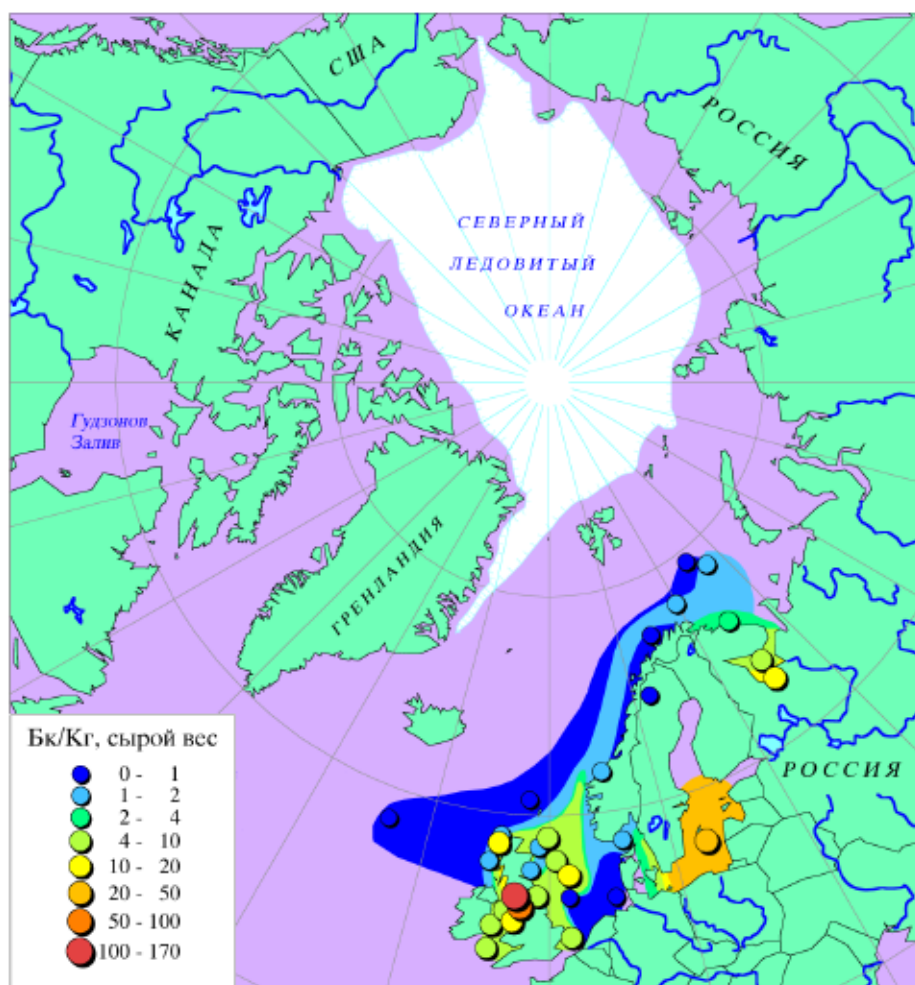
Содержание глинистой фракции ($< 0,002$ мм), %



Эскимонассет, восточное побережье Гренландии



3.33 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ ЯПОНСКОГО МОРЯ3.34 ^{137}Cs В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ В ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ВЛАДИВОСТОКУ АКВАТОРИИ

3.35 ^{137}Cs В ТКАНЯХ ТРЕСКИ, 1986-1996ГГ.

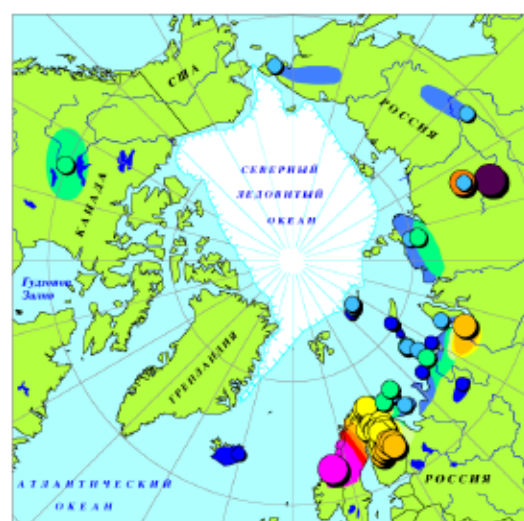
Улов трески в Беринговом море

3.36 ^{137}Cs В ЛИШАЙНИКЕ, 1960-1996ГГ.

1960 - 1969 гг.



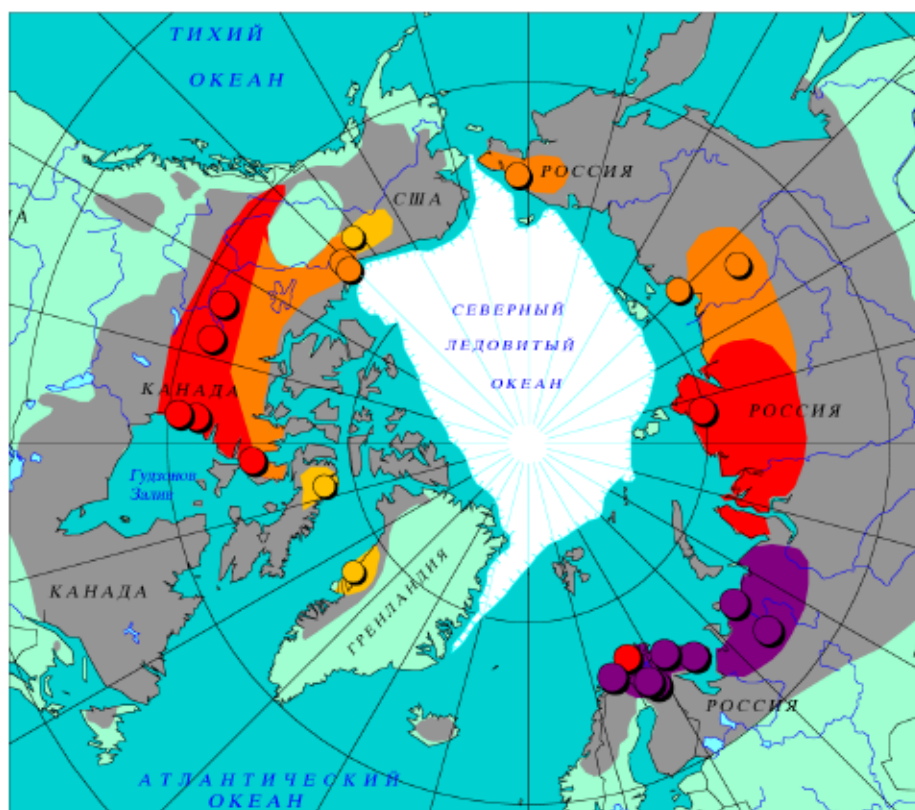
3.36 А. 1970 - 1985 гг.



3.36 Б. 1986 - 1996 гг.

3.36 В.



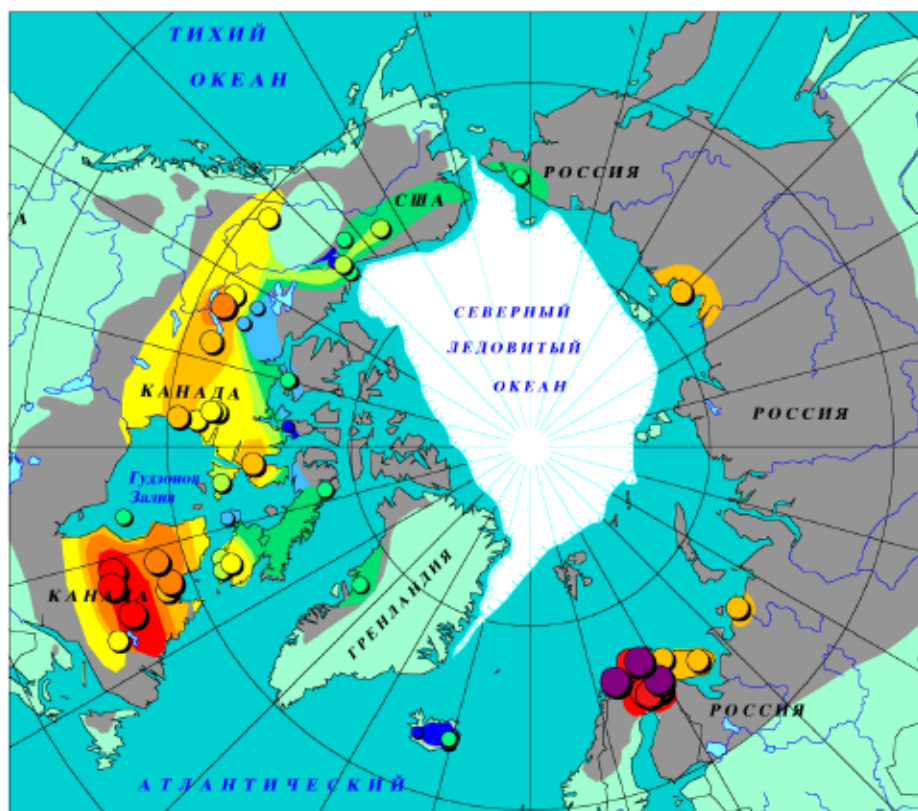
3.37 ^{137}Cs В ТКАНЯХ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ 1962-1969 ГГ.

Северный олень, Аляска

3.38 ^{137}Cs В ТКАНЯХ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ, 1985-1995 ГГ.

Вечерняя примула, Аляска

в прибрежных районах недалеко от Владивостока [Tkalin et al., 1995], но концентрации в более глубоких районах являются низкими (0-5 Бк/кг) [Investigation of Environmental Radioactivity, 1995; Hong et al., 1995].



Бк/Кг, сухой вес

0-20 20-40 40-100 100-200 200-300 300-550 550-1000 1000-2000 2000-3600

Распространение северного оленя