

VI

# ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ



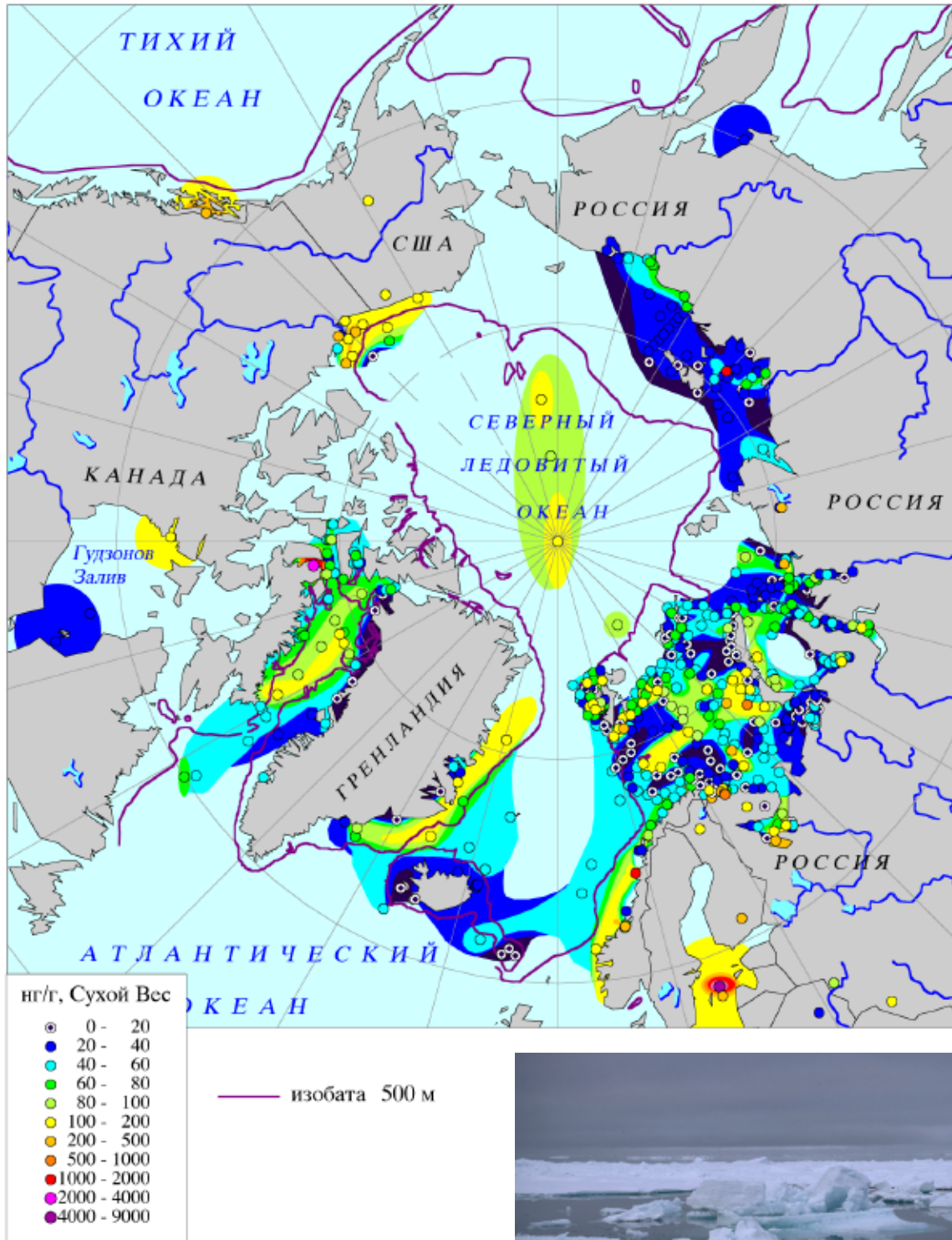
**VI. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ**

Термин “тяжелые металлы” (ТМ) объединяет как редкие металлы, необходимые организмам в очень небольших

количествах, такие как мышьяк, хром, медь, никель, ванадий и цинк, а также те, которые не являются необходимыми и токсичны даже при очень низких

концентрациях, такие как кадмий, ртуть и свинец [Lockhart et al., 1992]. Тяжелые металлы не подвержены бактериальному разложению и способны

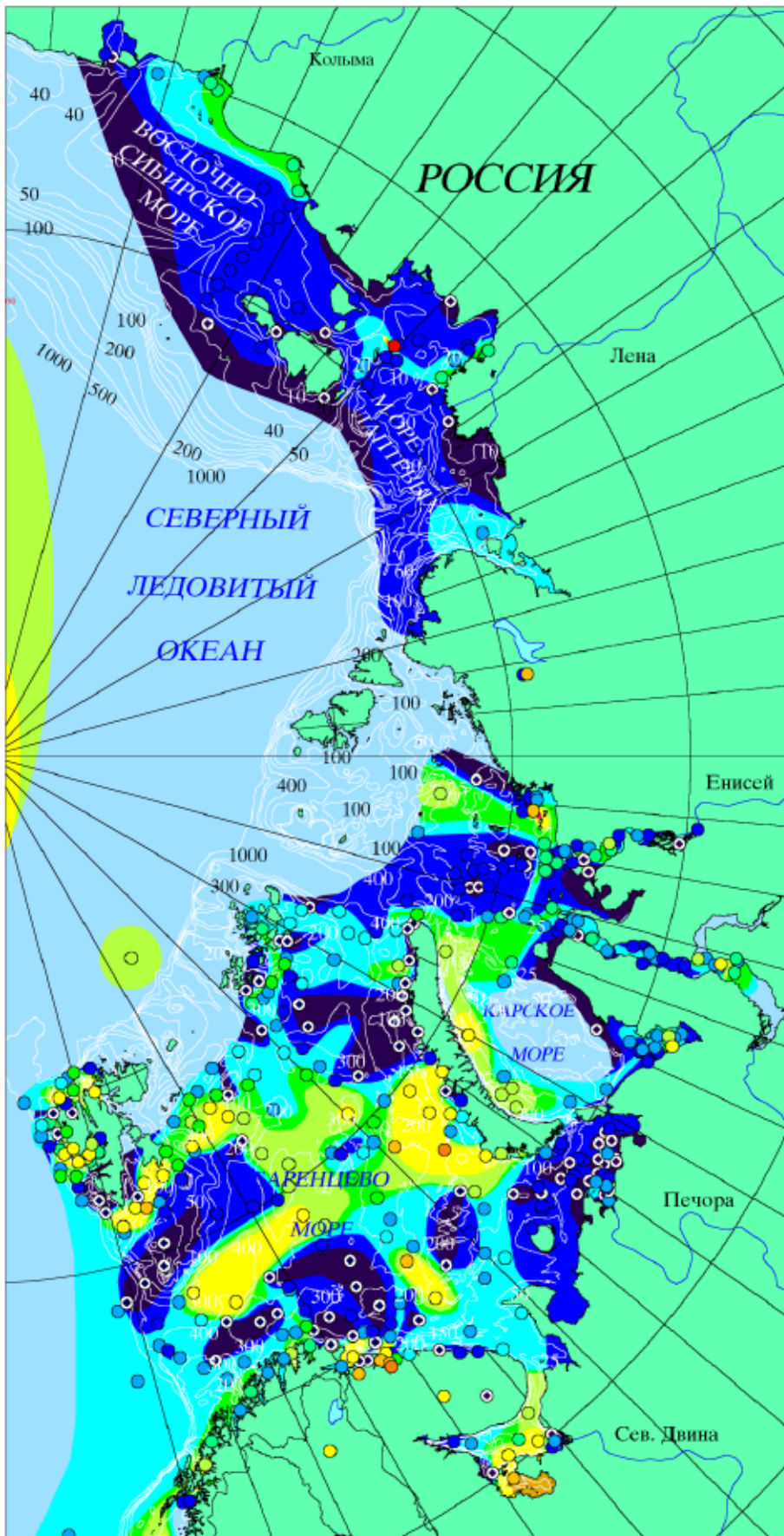
**6.1 РТУТЬ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ, 1970-1996 ГГ.**



Арктический лед



6.2 РТУТЬ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ, 1970-1996 ГГ.



*Церковь, построенная без единого гвоздя, Норвегия*

поступать и накапливаться в пищевых цепях в результате потребления ТМ морскими организмами [Clark, 1992].

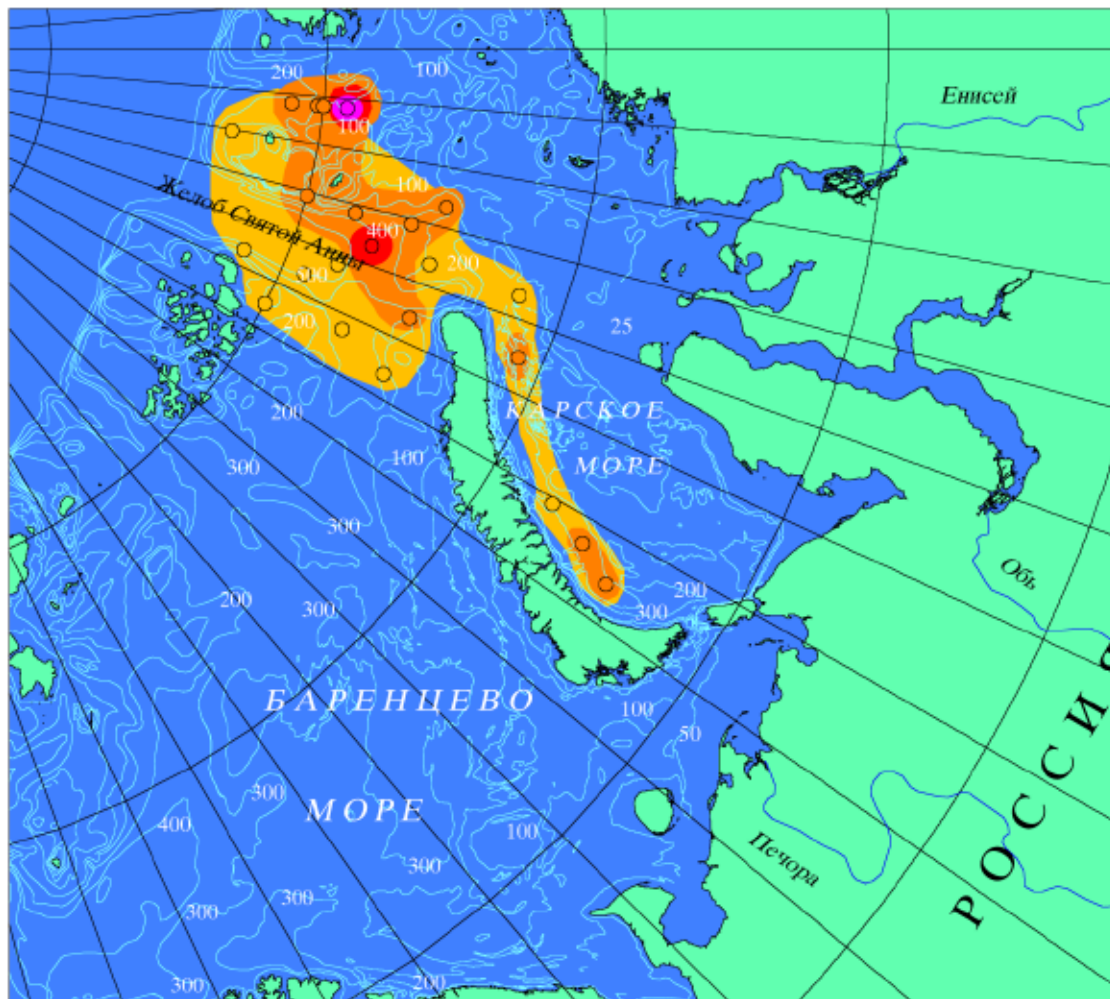
Обычно металлы сорбируются взвесью в большей степени, чем находятся в растворенной форме [Clark, 1992]. Взвешенные частицы могут осаждаться на дно или поступать в пищевую цепь, если они захватываются из морской воды планктоном.

Тяжелые металлы поступают в окружающую среду как из природных, так и из антропогенных источников. Природные источники включают вулканы, лесные пожары, выветривание пород, но они значительно уступают глобальным антропогенным выбросам [Nriagu, 1990]. Основными источниками большинства тяжелых металлов являются горнодобывающая промышленность и атмосферные выбросы в результате производства энергии (в основном, при сжигании нефти и угля), металлургические и



*Элементы сибирской архитектуры*

6.3 РТУТЬ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЕЙ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО, 1965 Г

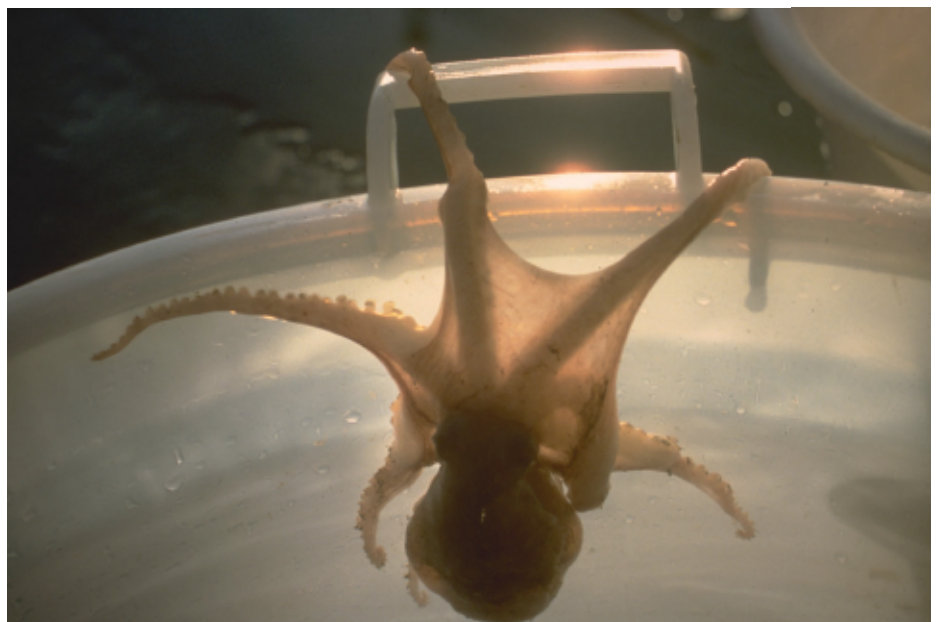


нг/г, сухой вес	
●	0 - 200
●	200 - 500
●	500 - 1000
●	1000 - 2000
●	2000 - 2050

Сечение изобат - 50 м если не указано дополнительно

очистительные комплексы, а также сжигание отходов. Микрочастицы и газы могут переноситься в тропосферу (нижние слои атмосферы), где они в конечном итоге захватываются дождевыми каплями или снегом и осаждаются (Galloway et al., 1982). Более крупные частицы обычно не достигают таких значительных высот и имеют тенденцию к осаднению в сухом состоянии. Эти частицы (содержащие ТМ) и газы могут осаждаться непосредственно на ледовый покров Северного Ледовитого океана и

*Детеныш осьминога, пролив Фрама*





окружающих морей или в водосборные бассейны Евразии и Северной Америки, которые питают Арктику. Интенсивная горнодобывающая деятельность в Арктике, металлургические

заводы в северной части России, а также меньшие по объемам операции в Гренландии, Канаде и США также вносят свой вклад в загрязнение металлами.

6.4 РТУТЬ В ТКАНЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ, 1984-1995 ГГ.



Аляскинский голец

Ртуть

Ртуть представляет собой один из наиболее токсичных элементов, но разные ее формы являются токсичными в разной степени. В неорганическом металлическом состоянии ртуть относительно не опасна, но она может превращаться в метиловую ртуть с помощью бактерий, содержащихся в осадках и в некоторых организмах [Laws, 1993]. Метиловая ртуть сорбируется кровеносной системой и разносится по всему организму. Ртуть накапливается в почках и печени. В отличие от неорганических форм, метиловая ртуть легко проникает в мозг, вызывая неврологические нарушения, а также преодолевает барьер плаценты, накапливаясь в организме еще не родившегося ребенка. Отравление человека ртутью может вызвать целый ряд проблем, таких как гастрит, тяжелые боли, рвоту, атаксическую походку, конвульсии, нечувствительность рта и конечностей, сокращение поля зрения, трудности речи и

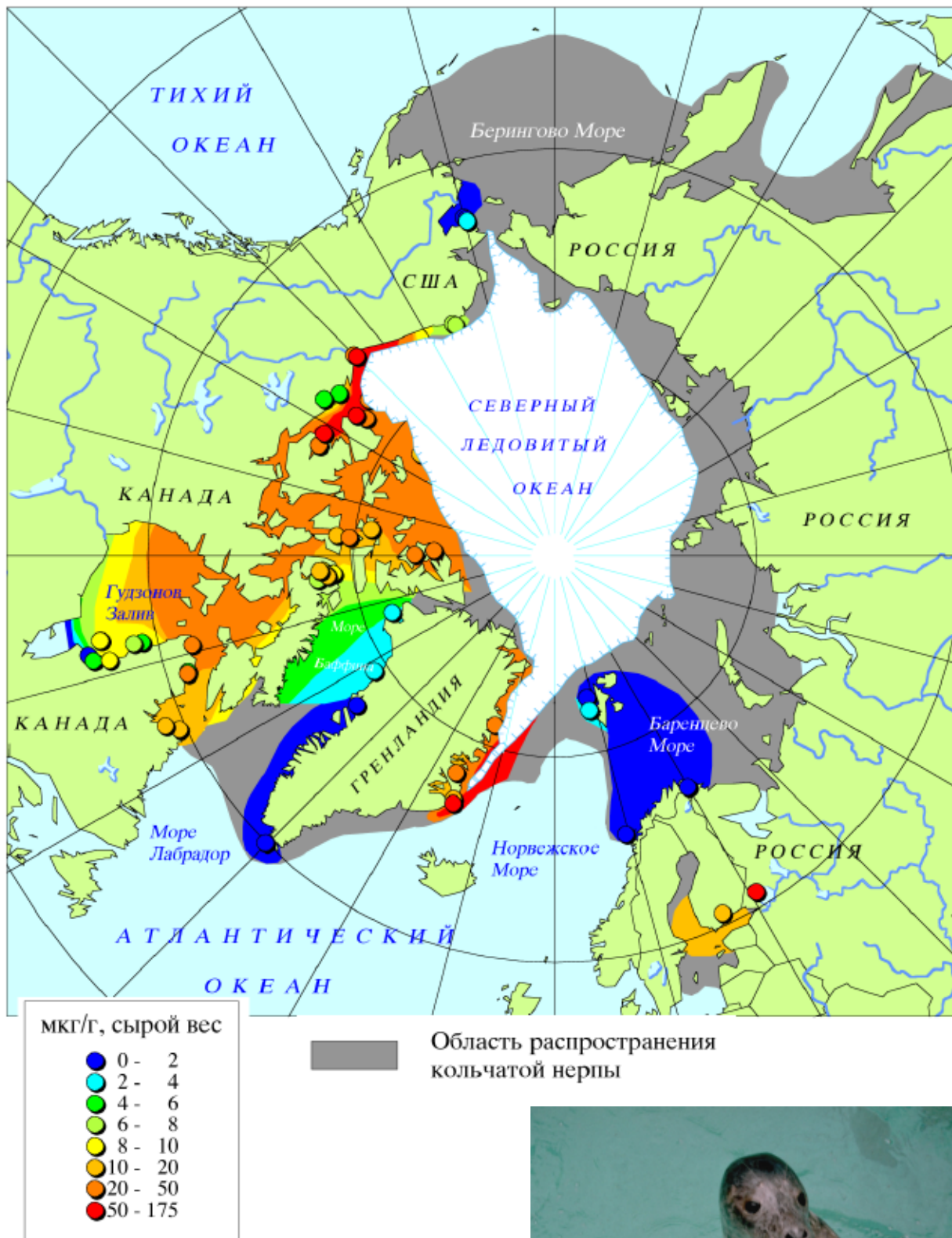


Шведский ледокол Имер во фьорде Адвент, Свальбард



Анемоны на морском дне

6.5 РТУТЬ В ПЕЧЕНИ КОЛЬЧАТОЙ НЕРПЫ, 1984-1995 ГГ.



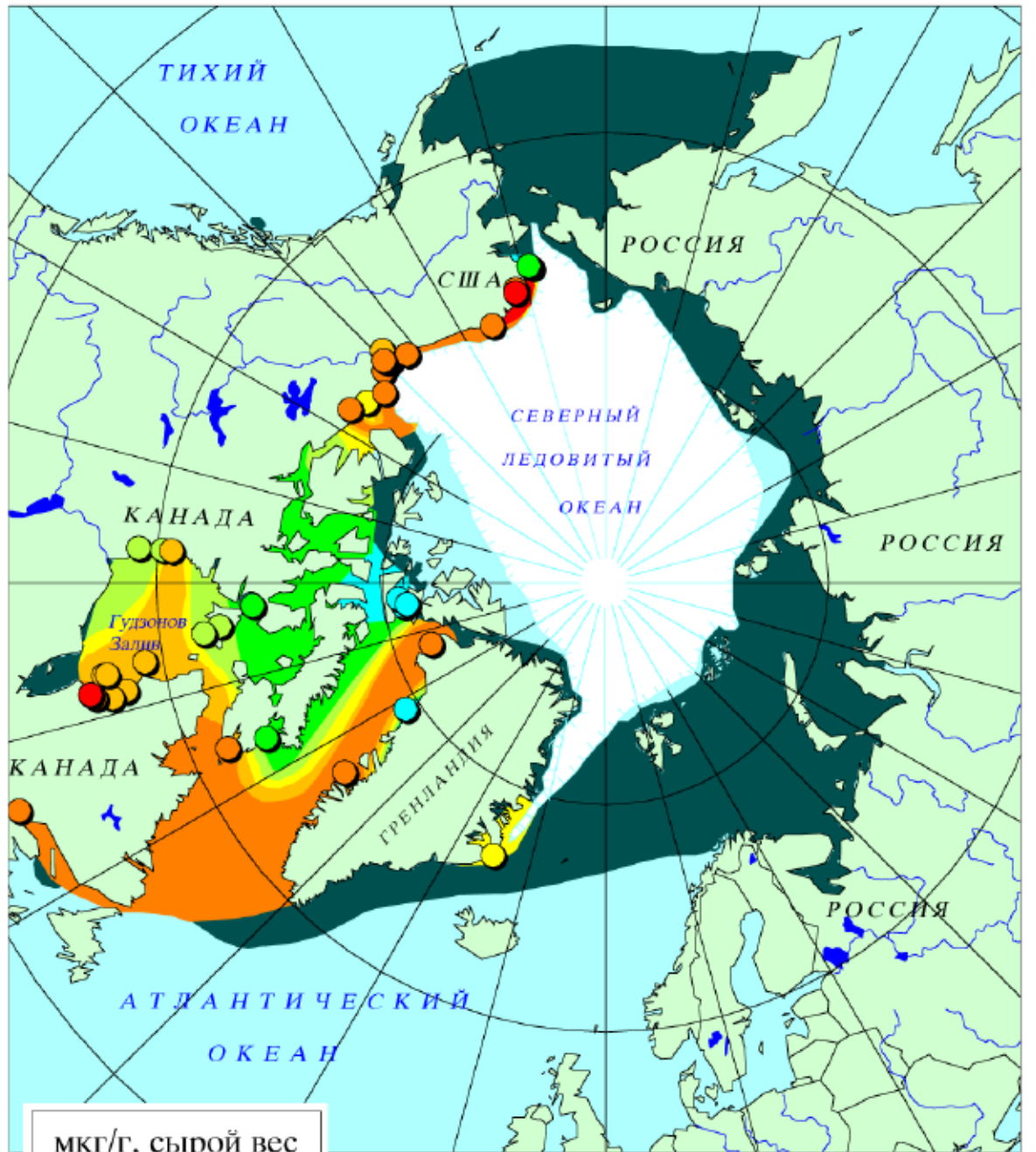
нарушения центральной нервной системы (Sadiq, 1992).

Несмотря на то, что ртуть высвобождается естественным образом, влияние антропогенных источников значительно более существенно, чем природных. В целом, приблизительно 2 500 тонн ртути ежегодно поступает



Тюлень, прибрежные воды Норвегии





мкг/г, сырой вес

●	0 - 2
●	2 - 4
●	4 - 6
●	6 - 8
●	8 - 10
●	10 - 20
●	20 - 50
●	50 - 100

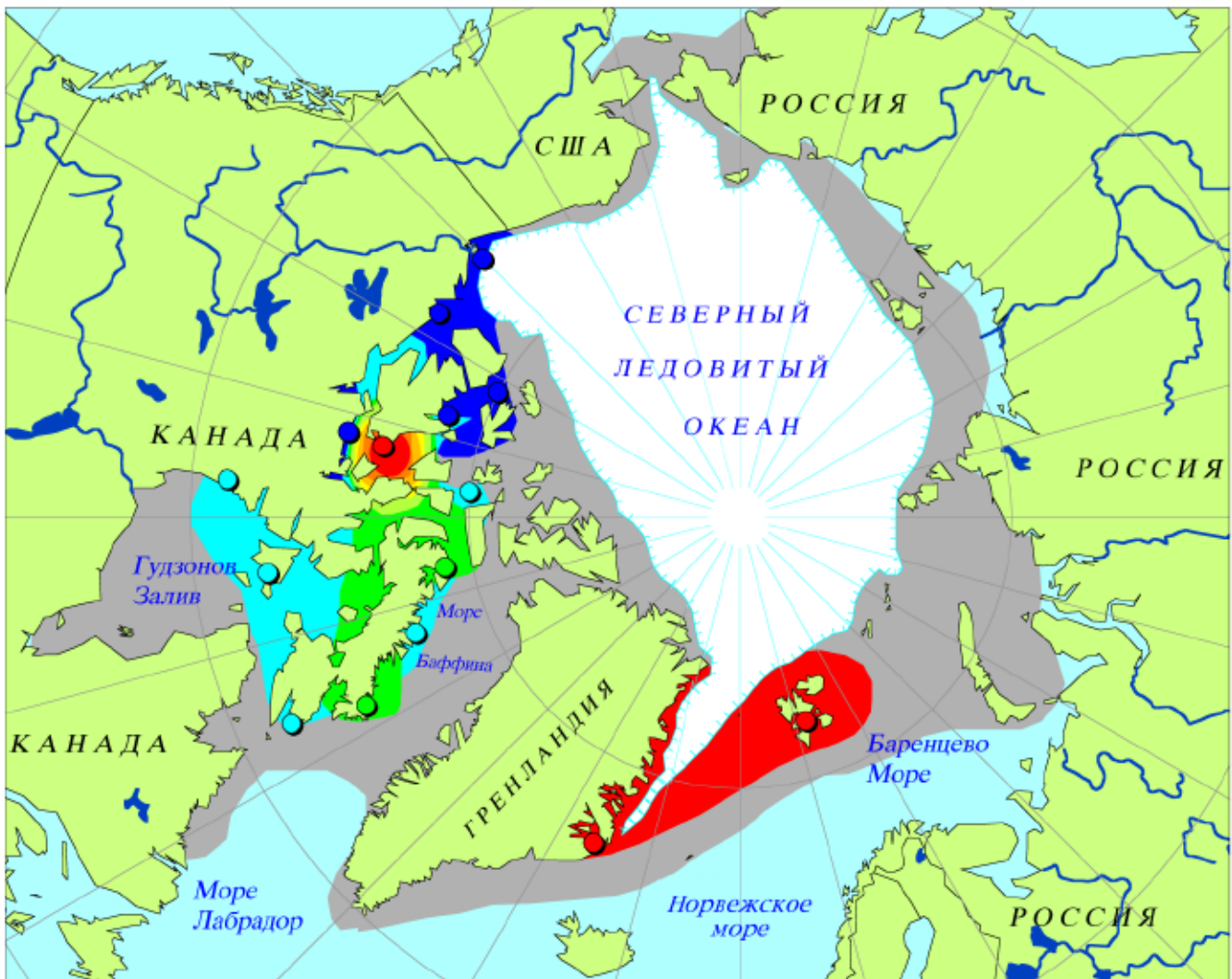
Область распространения белухи

в атмосферу из природных источников, и 3 600 тонн выделяют антропогенные источники [Nriagu, 1990]. Основными антропогенными источниками являются сгорание угля, сжигание отходов, выплавка цветных металлов и горнообогащительные технологии.

Алеут, охотящийся на кита (Михаил Тихонов, 1817)



6.7 РТУТЬ В ПЕЧЕНИ БЕЛОГО МЕДВЕДЯ, 1983-1991 гг.



мкг/г, сырой вес

●	0 - 2
●	2 - 4
●	4 - 6
●	6 - 8
●	8 - 10
●	10 - 15
●	15 - 20
●	20 - 30

Область распространения белого медведя

Ртуть также используется в производстве аккумуляторных батарей, красок, электрических проводов и до 1972 г. - в качестве фунгицида в сельском хозяйстве [Laws, 1993]. Городские предприятия по сжиганию твердых отходов и работающие на угле электростанции также являются источниками значительных поступлений ртути в Арктику.

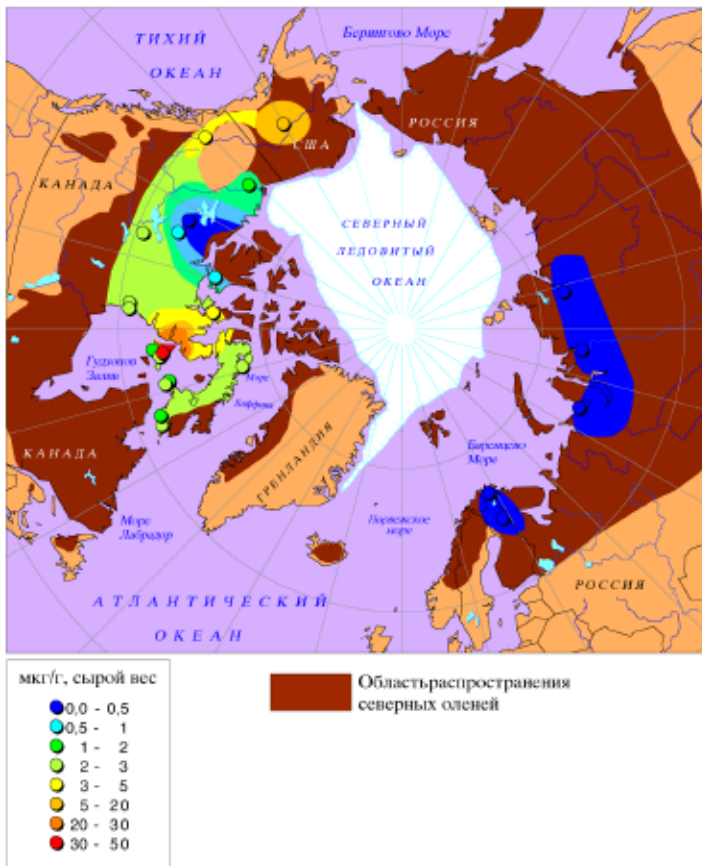
Ртуть имеет относительно

*Медведица и медвежонок, Свальбард*





6.8 РТУТЬ В ПОЧКАХ КАРИБУ, 1990-1995 гг.

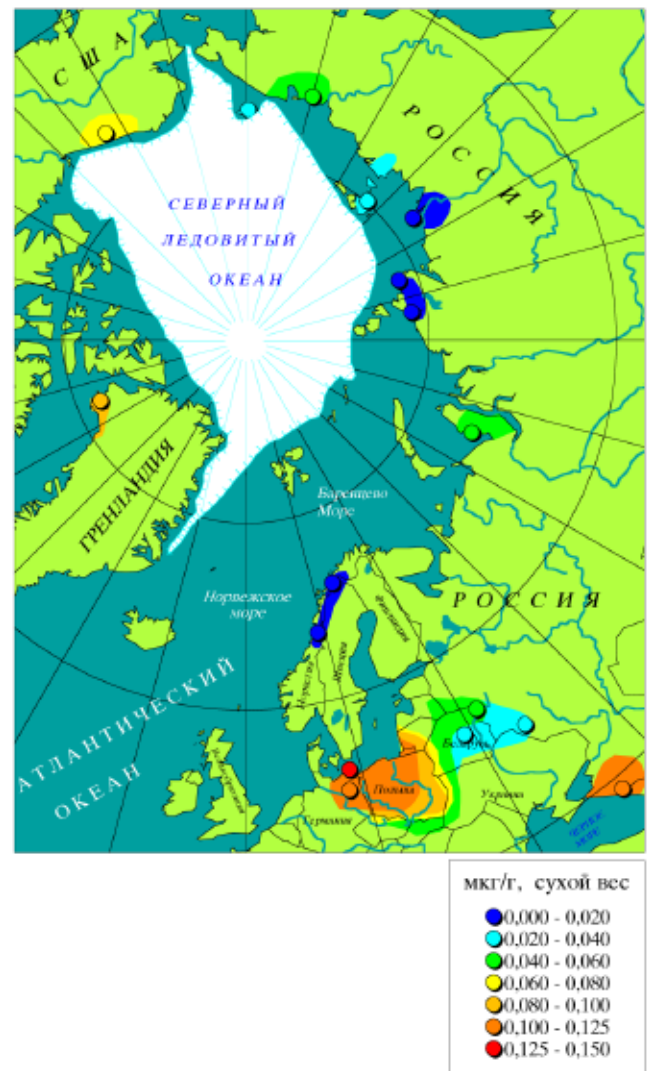


Тингвеллир, Исландия

продолжительный период жизни в атмосфере (6-18 месяцев) и может переноситься на значительные расстояния [Lindberg, 1986]. Кроме того, из-за своей высокой летучести осадившаяся ртуть может снова легко высвободиться в атмосферу.

Среднее содержание ртути в континентальной коре

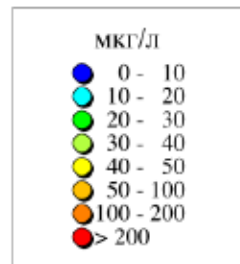
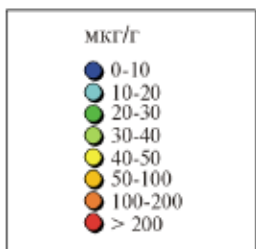
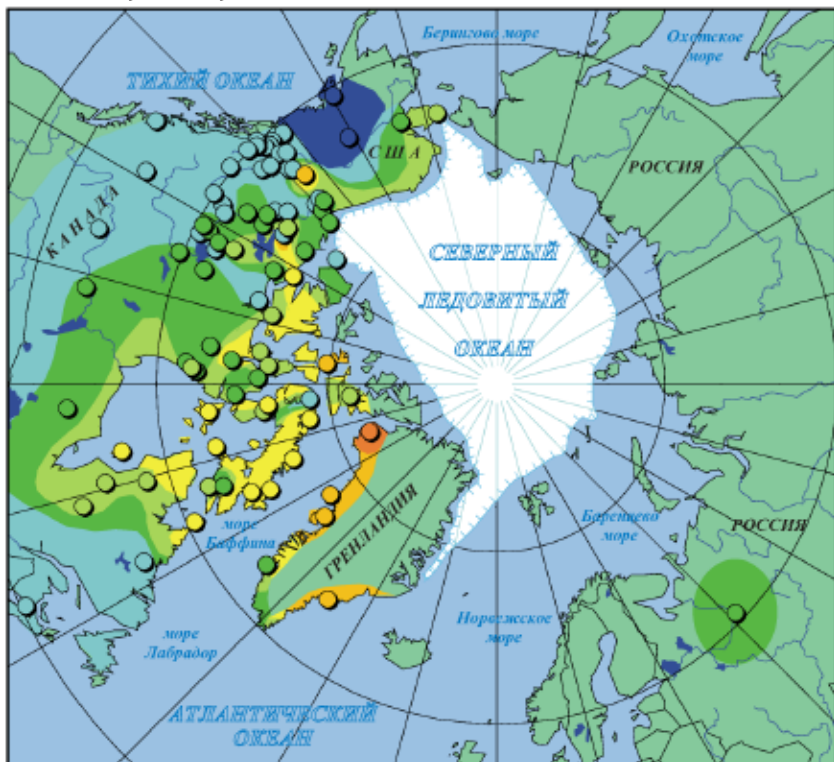
6.9 РТУТЬ В РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МХА, 1990-1995 гг.



Горный перевал, Норвегия

6.10 РТУТЬ В КРОВИ МЕСТНОГО НАСЕЛЕНИЯ,  
1970-1996 гг.

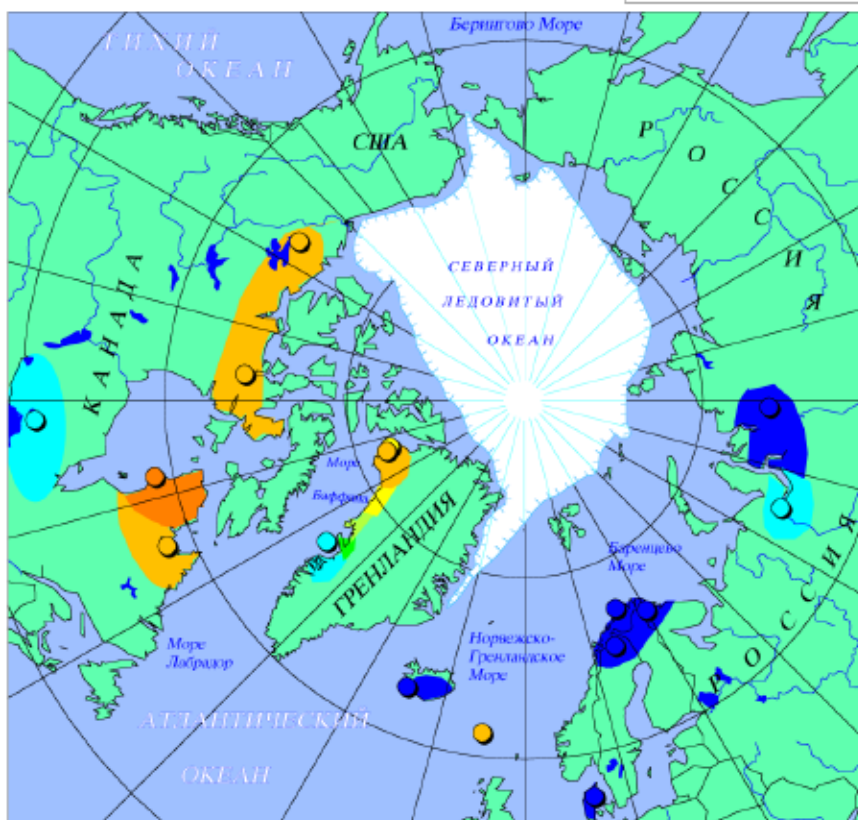
6.10А. 1970-1982 гг.



составляет 80 мкг/г [Plant and Raisewell, 1983]. Содержания Hg в осадках Арктики не являются повышенными. Исключение составляют образцы, полученные в глубоководных частях Карского моря и желоба Святой Анны.

В последнее время вызывает озабоченность повышенный уровень органической ртути в крови населения канадской Арктики, достигающий более 100 мкг/л [Dewailly et al., 1994]. В отличие от этого, недавние исследования, проводившиеся в Норильске и Салехарде, показали, что уровень ртути в крови у местного населения колеблется в пределах 10-20 мкг/л [Клоров et al., 1996]. Считается, что более низкие уровни, полученные для жителей России, связаны с меньшим по сравнению с жителями Канады потреблением рыбы.

6.10Б. 1983-1996 гг.



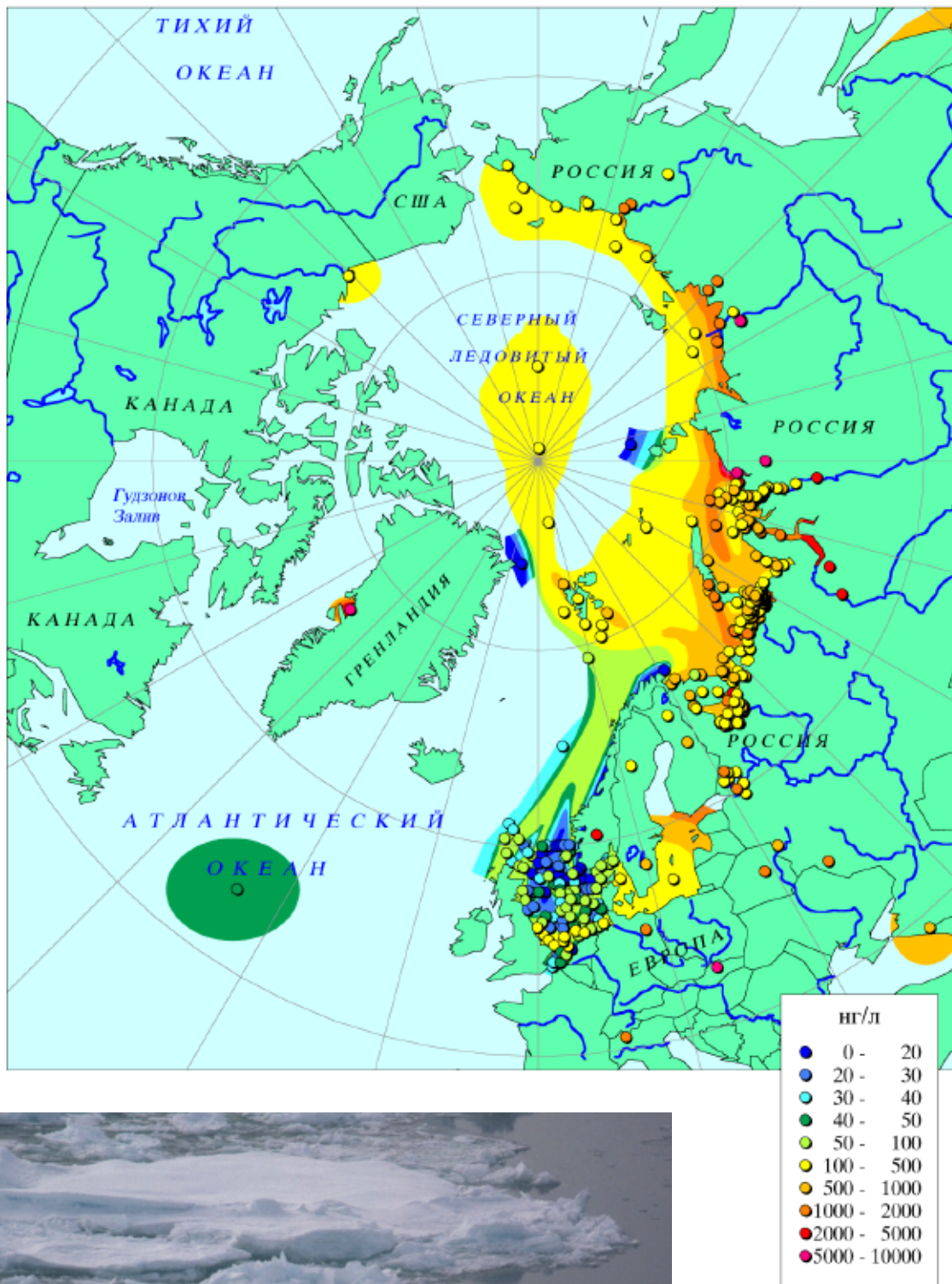
Норвежская усадьба





6.11

СВИНЕЦ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ, 1986-1996 ГГ.

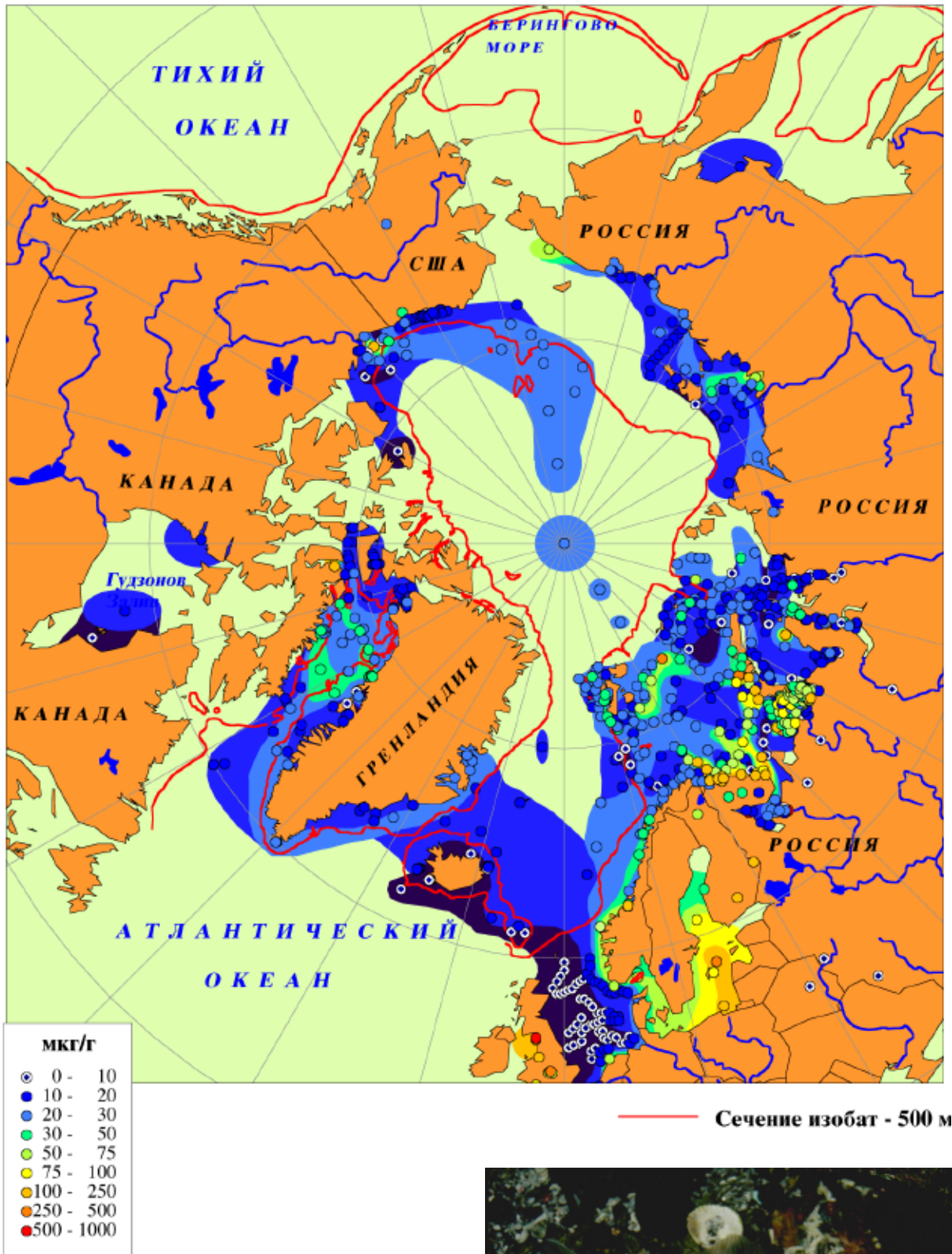


Группа геофизиков на морском льду, Арктика

**Свинец**

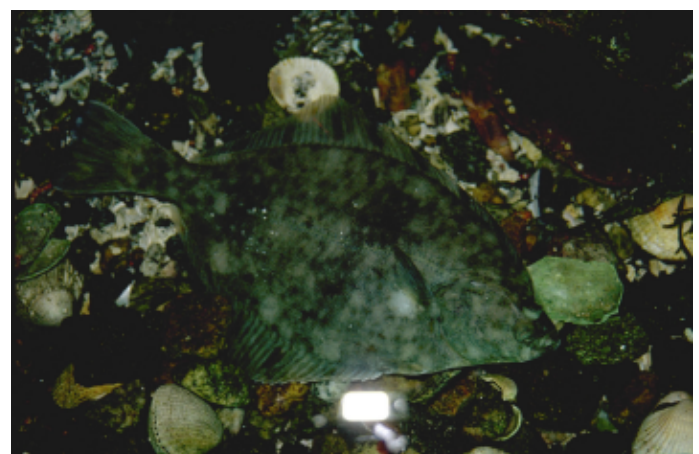
Как и у ртути, у свинца существуют органические и неорганические формы. Органическая форма, которая более токсична и растворима в жирах, концентрируется в липидных тканях мозга и печени, в то время как 92% неорганического свинца,

6.12 СВИНЕЦ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ: ВСЯ АРКТИКА



попадающего в организм, замещает кальций в костях и накапливается в скелетах [Laws, 1993]. При попадании внутрь организма свинец выводится только через 7 лет. Свинец взаимодействует с протеинами и вследствие этого может препятствовать нормальным биологическим процессам даже

Камбала, прибрежные воды Норвегии

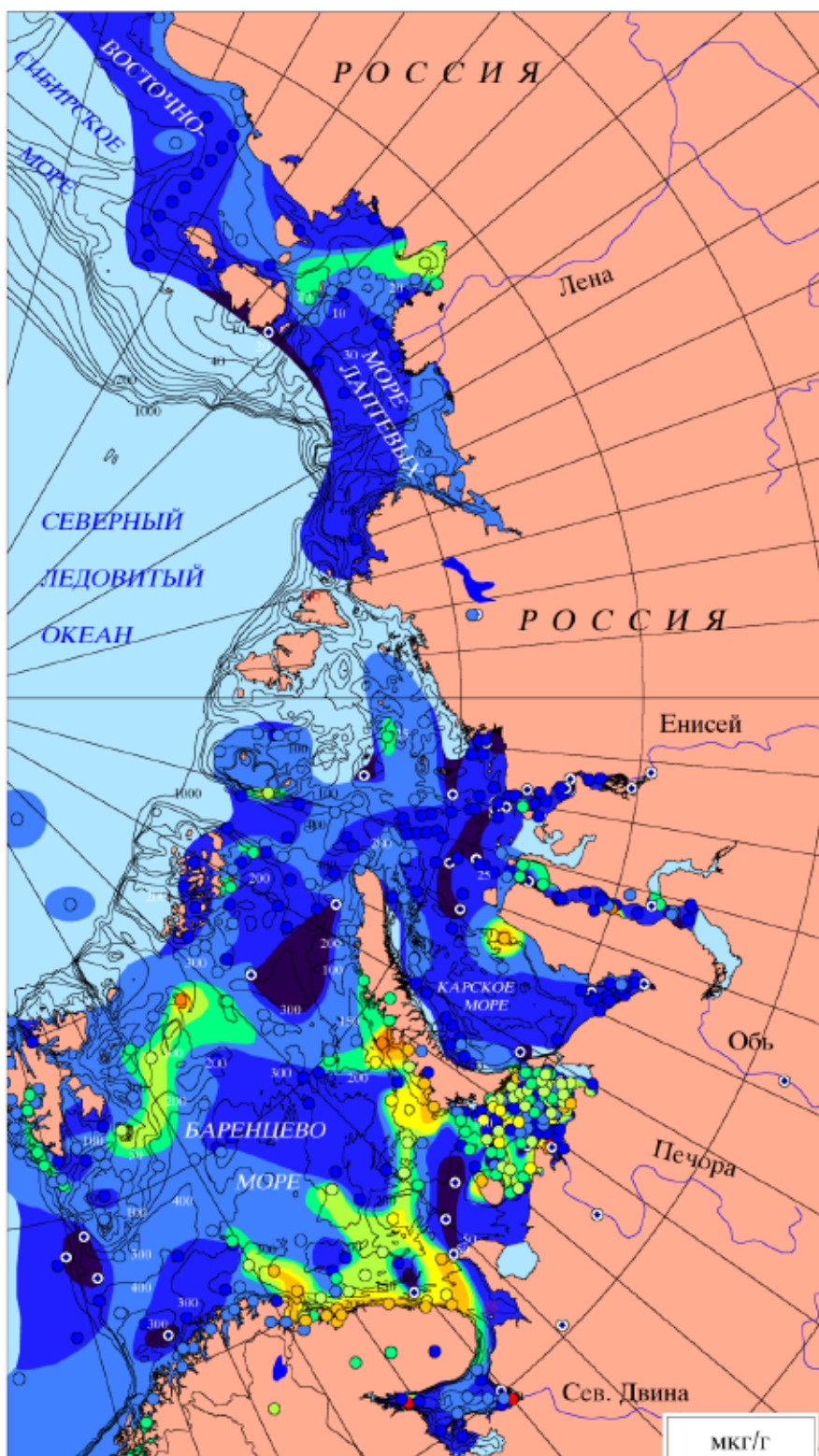




### 6.13 СВИНЕЦ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ МОРЕЙ БАРЕНЦЕВА, КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ

при небольших дозах; например, он может вызывать анемию, поскольку он затрудняет усвоение железа [Laws, 1993]. Высокие дозы свинца могут вызвать поражение центральной нервной, сердечно-сосудистой, желудочно-кишечной, иммунной и репродуктивной систем и почек.

В морских обстановках свинец является относительно нерастворимым и образует взвешенные частицы, которые может откладываться в донных осадках или поступать в пищевую цепь через организмы низкого трофического уровня. Свинец поступает, в основном, за счет атмосферного осаждения непосредственно в Северный Ледовитый океан или в водосборные бассейны рек, питающих Арктику. Средние содержания свинца в донных осадках континентальных шельфов Арктики составляют 15 мкг/г [Loring et al., 1997], а типичные концентрации в океане в среднем составляют 10-50 нг/л [Goldberg et al., 1971; Karus et al., 1993], хотя концентрации менее 8 500 нг/л не обязательно являются опасными для биоты [USEPA, 1994]. Мох, хищные птицы и фильтрующие организмы, как, например, мидии, имеют повышенные концентрации в некоторых регионах Арктики. Как и ожидалось, уровни свинца особенно высоки вблизи

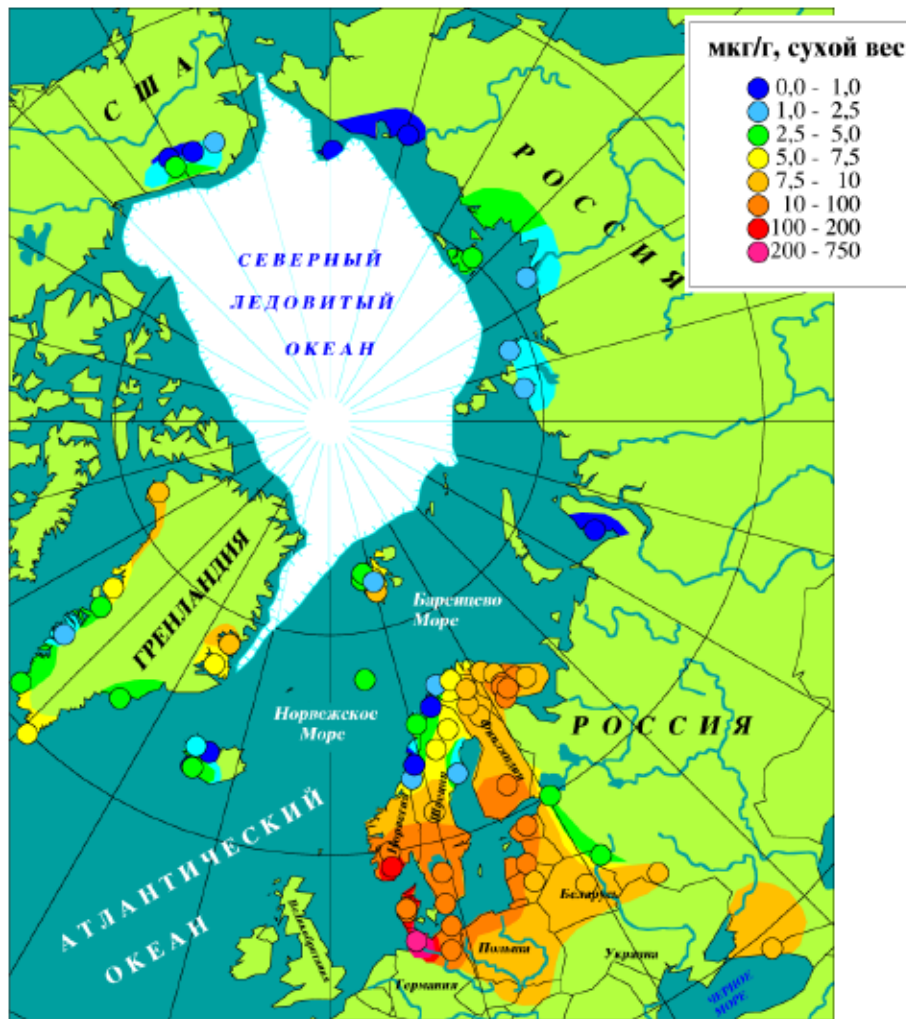


Норвежские высокогорные луга

Глубины в метрах

мкг/г	
○	0 - 10
●	10 - 20
●	20 - 30
●	30 - 50
●	50 - 75
●	75 - 100
●	100 - 250
●	250 - 500
●	500 - 1000

6.14 СВИНЕЦ В РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МХА, 1985-1995 гг.

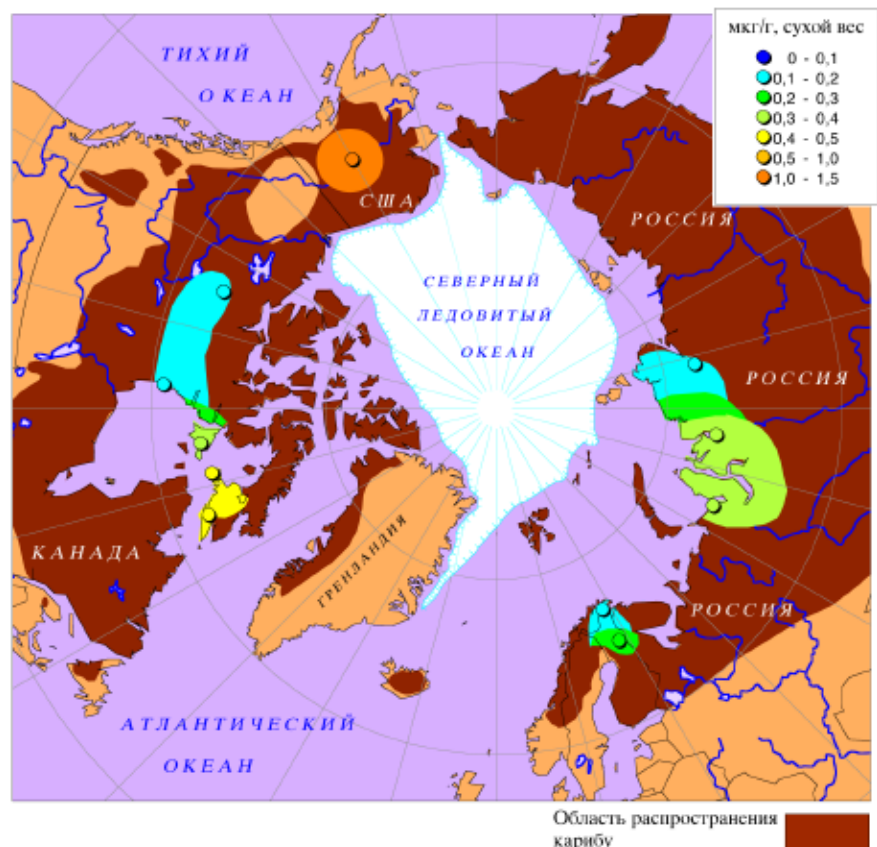


Иней на мхе



Олени, фрагмент ненецкого детского рисунка

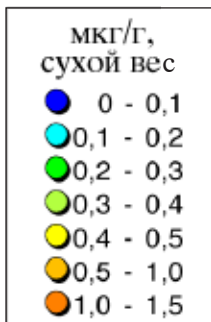
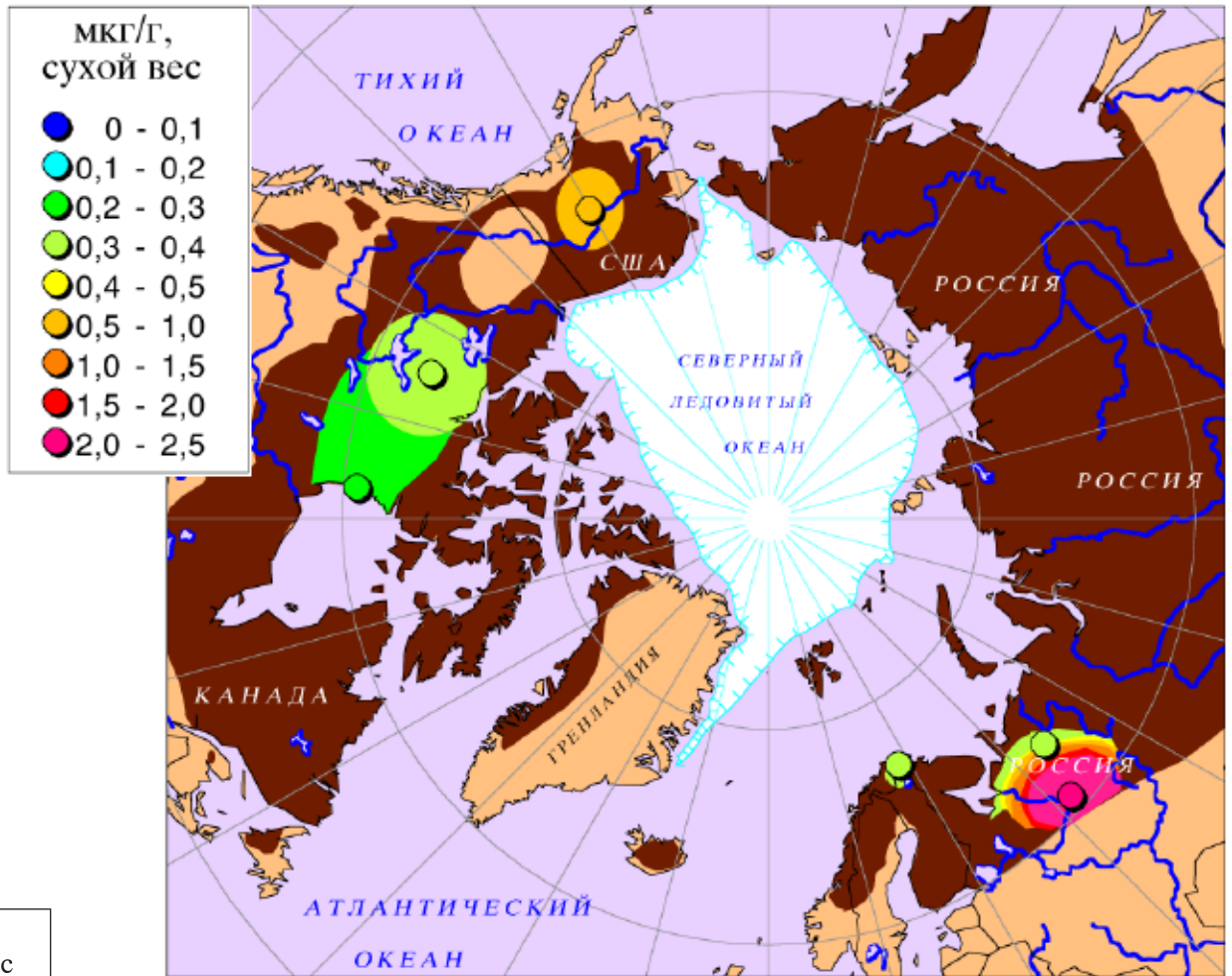
6.15 СВИНЕЦ В ПОЧКАХ КАРИБУ, 1990-1995 гг.



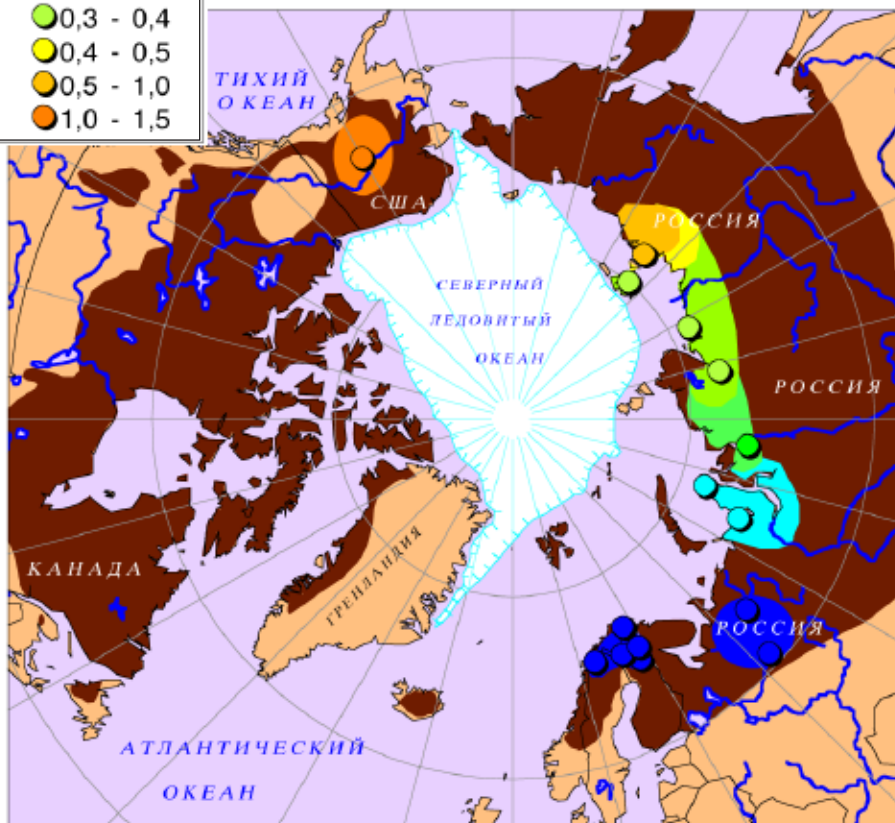


6.16

СВИНЕЦ В ПЕЧЕНИ КАРИБУ, 1990-1995 гг.



Область распространения карибу



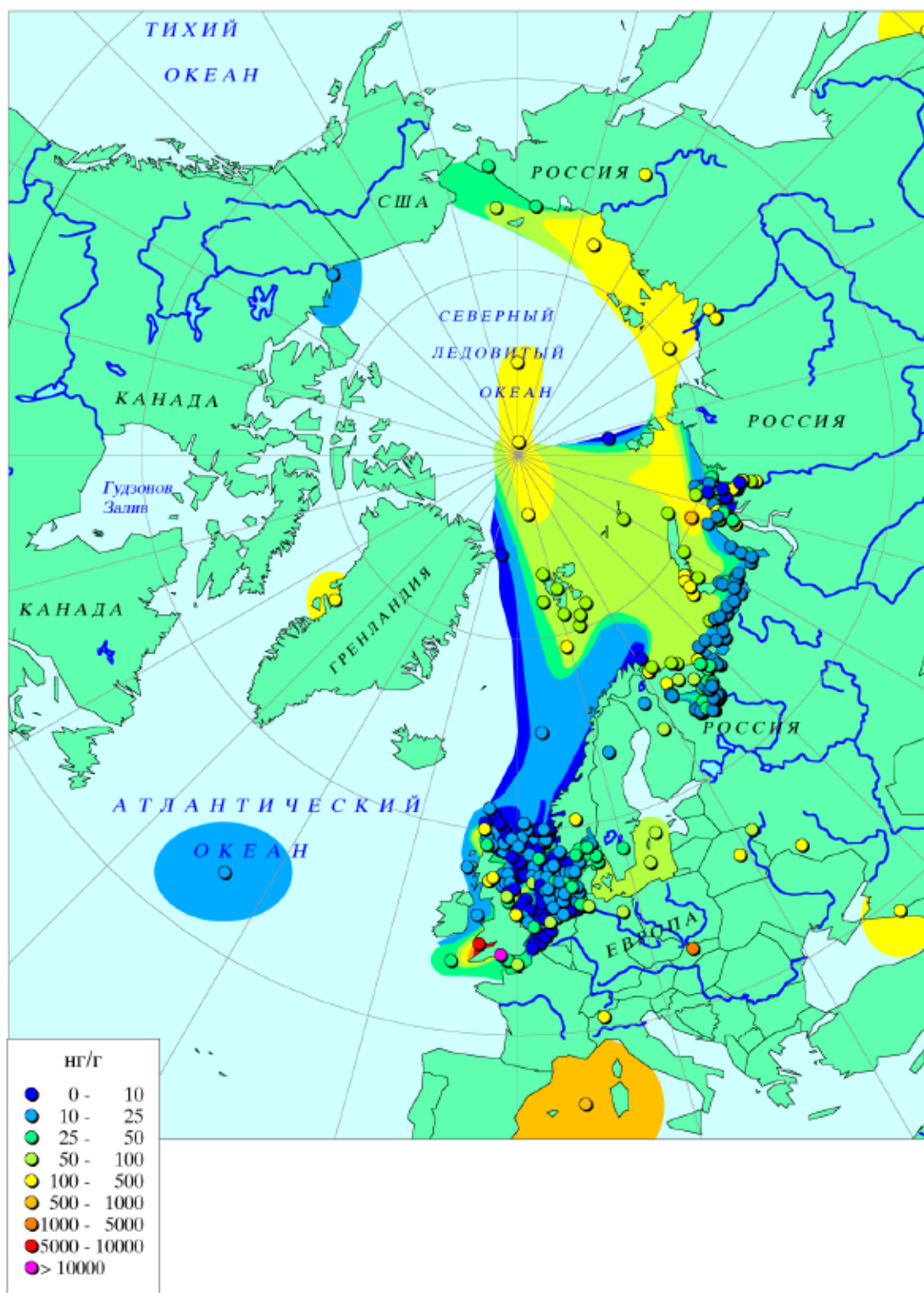
6.17 СВИНЕЦ В ТКАНЯХ КАРИБУ, 1990-1995 гг.

Поступления кадмия из европейских источников достигли своего пика в начале 1960-х годов и с этого времени уменьшаются (АМАР, 1997).

Как и в случае с ртутью, повышенные содержания кадмия были отмечены для арктической биоты. Кадмий поступает в Арктику, в основном, за счет атмосферного осаждения и речного стока. В морской среде ионы кадмия могут сорбироваться морскими животными, особенно рыбами и беспозвоночными, непосредственно из воды (АМАР, 1997), поэтому содержания кадмия в воде и в морских организмах взаимосвязаны. Повышенные уровни содержания

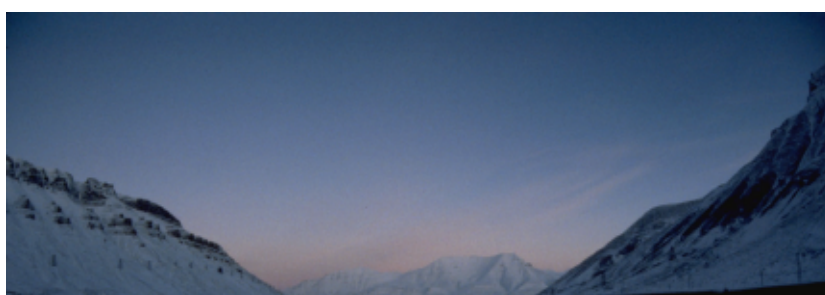
6.18

КАДМИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ, 1986-1996 гг.



Свальбардский закат

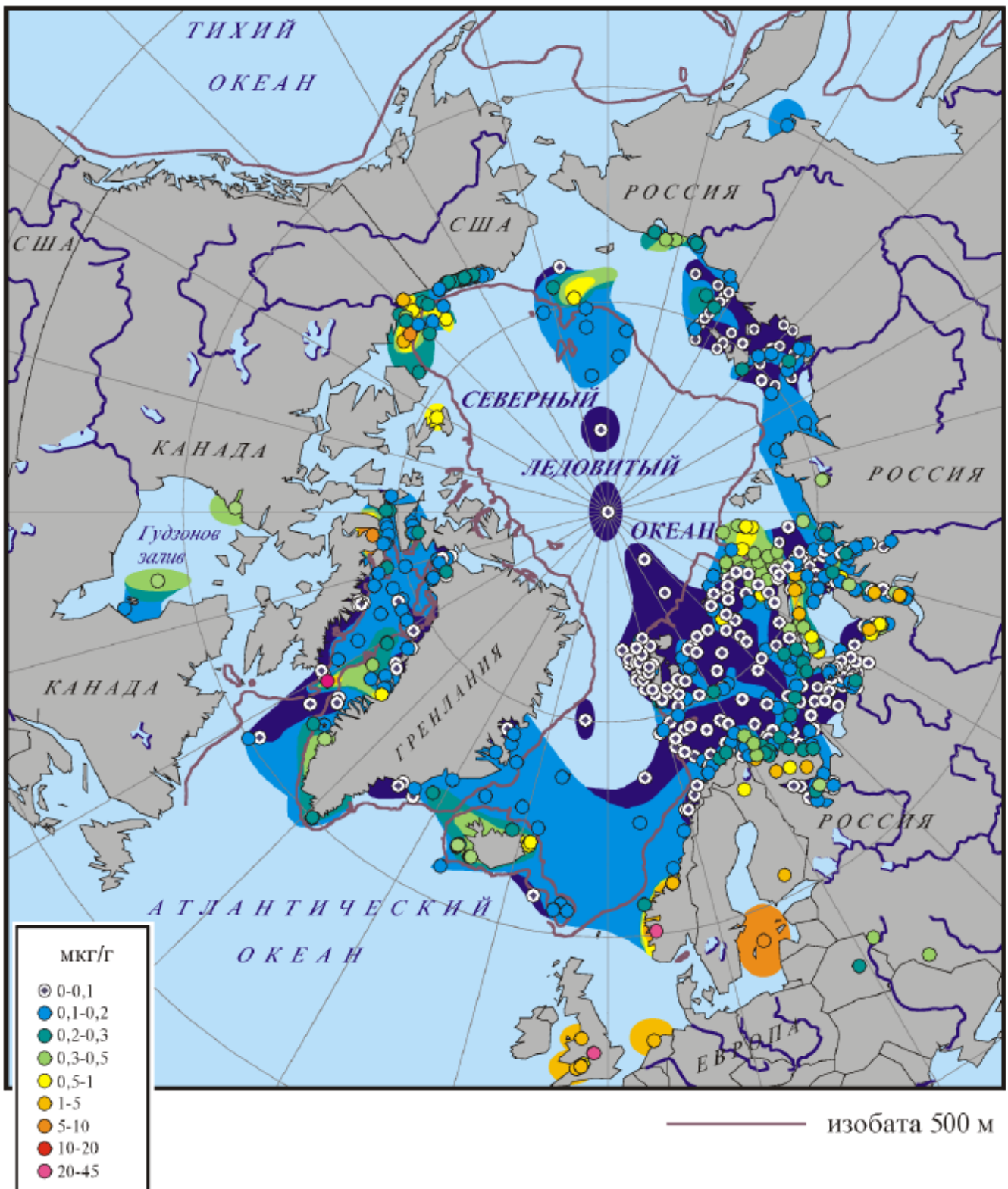
кадмия отмечены в почках хищных птиц, питающихся рыбой. Кроме того, высокие концентрации были зафиксированы в оленях, которые питаются мхом и лишайником, содержащими кадмий атмосферного происхождения. Осадки





6.19

КАДМИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ

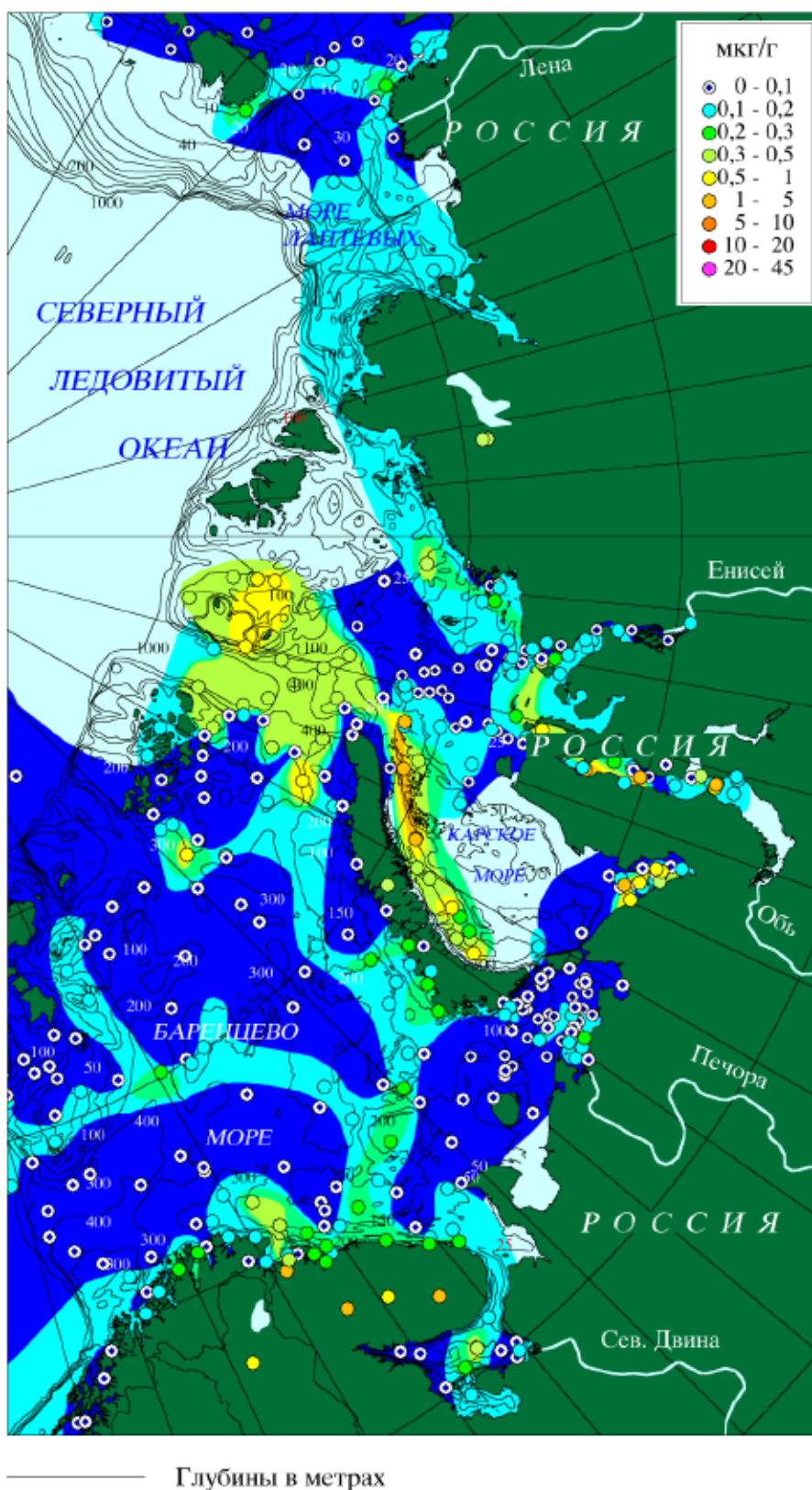


Научный сотрудник Полярного института им. Р. Скотта, Англия

арктических шельфов имеют средние концентрации 0.15 г/т, а глубоководные осадки - 0.23 г/т (Loring et al., 1997; Chester, 1990). По-видимому, концентрации находятся в пределах нормы в большинстве районов Арктики, за исключением глубоководных желобов Карского моря, которые



6.20 КАДМИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ



могут накапливать тонкозернистые осадки с адсорбированным кадмием, которые поступают из северной России. Повышенные концентрации кадмия также отмечены в Балтийском море и в прибрежных районах Северного

моря.

**Мышьяк**

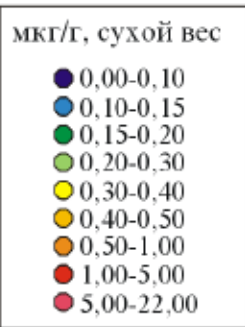
Соединения мышьяка могут быть подразделены на три категории: водо-растворимые неорганические (наиболее

токсичные), низко- или нерастворимые неорганические и органические (наименее токсичные). Рыба и другие морские организмы имеют способность к преобразованию многих токсичных соединения мышьяка в органические



6.21

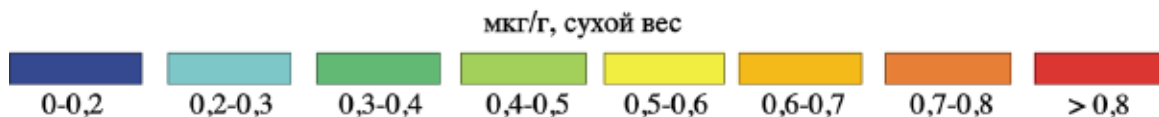
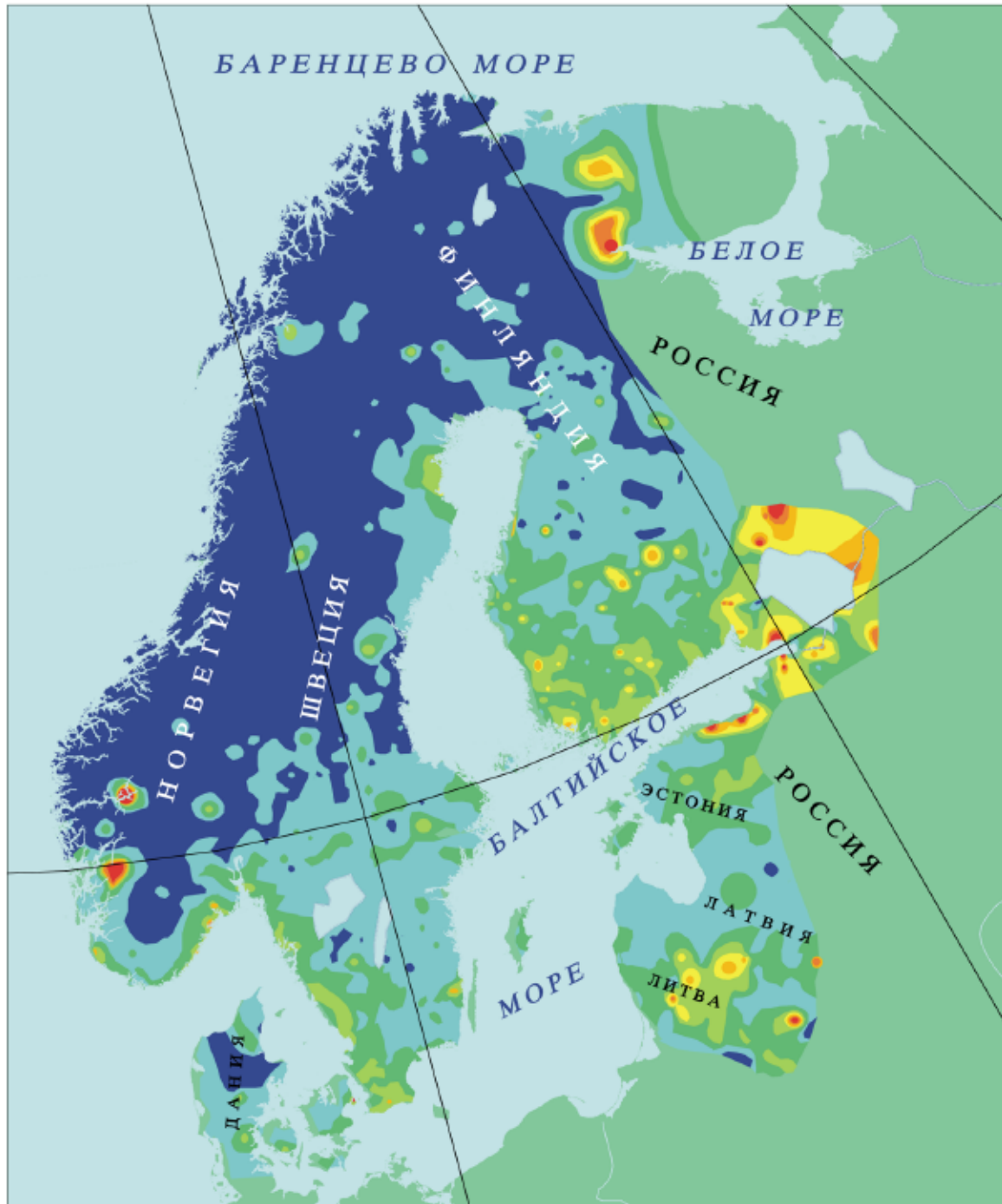
КАДМИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МХА, 1985-1994 гг.



Иней на мхе

6.22

КАДМИЙ ВО МХЕ, 1990 г.



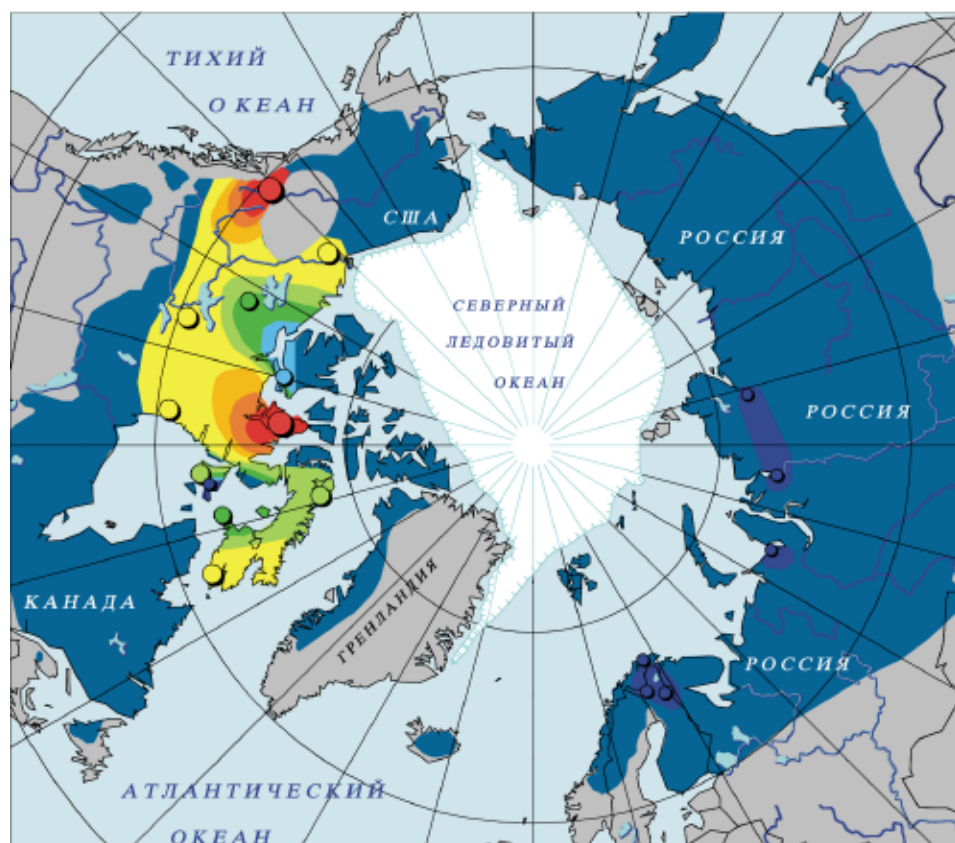
соединения. Поэтому органические соединения мышьяка наиболее распространены в морепродуктах. Основным источником мышьяка для человека являются пища и вода, но он также может поступать в организм в результате дыхания и сорбироваться кожей



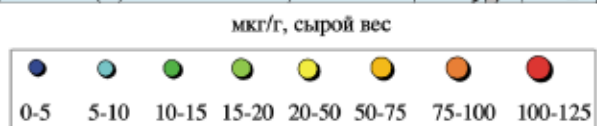
[Leonard, 1991]. Мышьяк распространяется по всему телу с помощью кровеносной системы, при этом часть его неорганической фракции концентрируется в костях. Как неорганический, так и

Лосиный след, Аляска





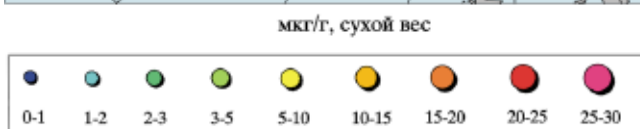
6.23 КАДМИЙ В ПОЧКАХ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ, 1990-1995 гг.



Область распространения северных оленей



6.24 КАДМИЙ В ПЕЧЕНИ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ, 1990-1995 гг.



Область распространения северных оленей



6.25 КАДМИЙ В ТКАНЯХ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ, 1990-1995 гг.



органический мышьяк быстро выводится из организма вместе с мочой, поэтому большую проблему составляют поражения высокими дозами, чем получение малых доз в течение какого-то времени. Отравление мышьяком человеческого организма приводит к острым желудочно-кишечным недомоганиям, токсичности центральной и нервной систем, поражению костного мозга, раку кожи и в исключительных случаях - к смерти [Mitchell and Barr, 1995].

Антропогенные источники мышьяка дают 19 000 тонн/год, природные - 12 000 тонн/год (Nriagu, 1990). Среди техногенных источников

наиболее значительными являются металлургические и обогатительные предприятия (12

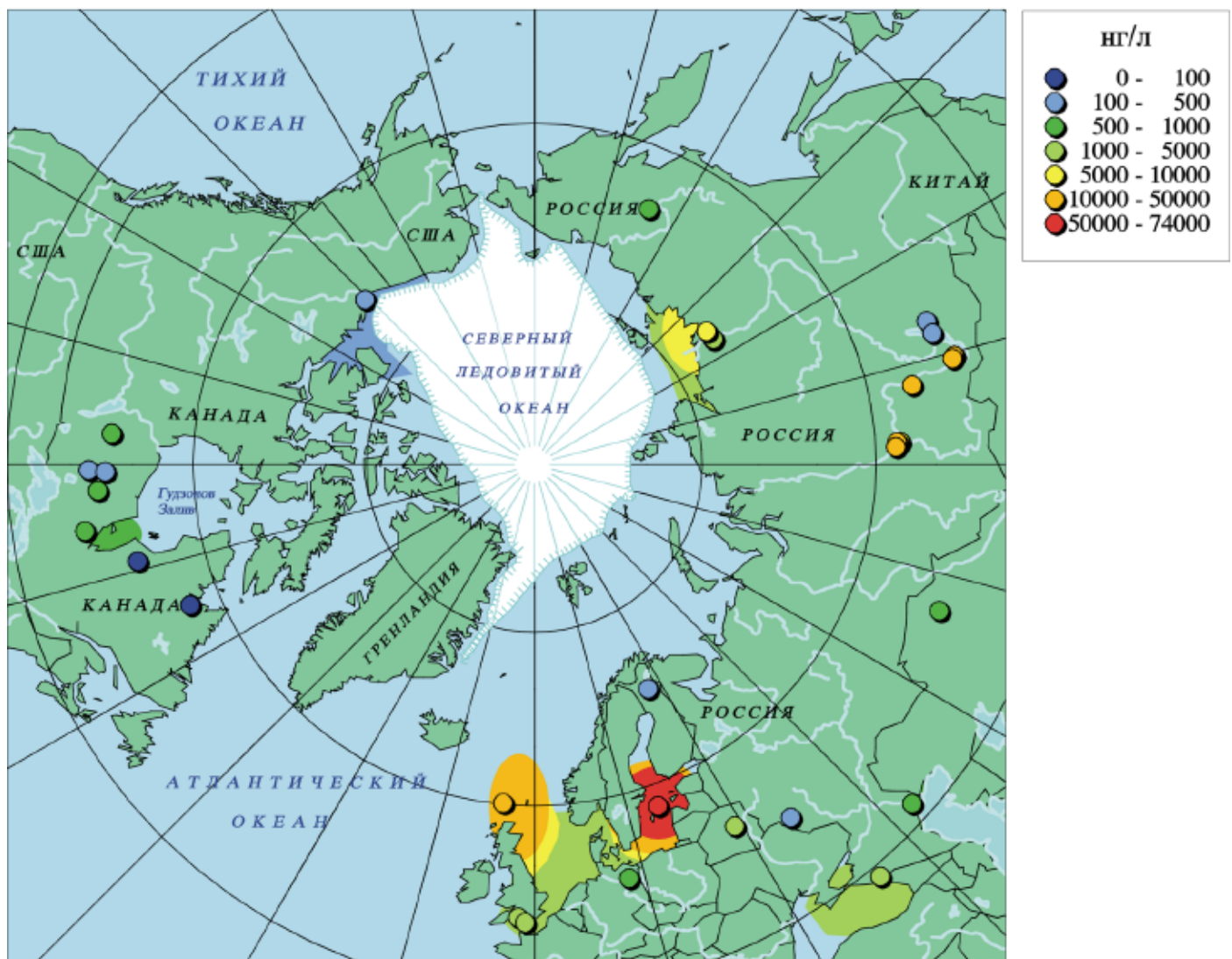
300 тонн/год), меньшие поступления связаны с энергетическими комплексами

*Рога северного оленя, хребет Брукса, Аляска*





## 6.26 МЫШЬЯК В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ, 1981-1995 гг.



(особенно сжиганием угля), промышленной и сельскохозяйственной деятельностью, обрабатывающей промышленностью, сжиганием отходов и разработкой полезных ископаемых. Мышьяк используется в инсектицидах, гербицидах, производстве стекла, текстиля, пигментов, не пачкающих красок, однако его применение для производства гербицидов сокращается [Leonard, 1991]. Мышьяк поступает в Арктику в результате атмосферного осаждения, с зараженными потоками окружающих рек, а также со сбросами горнодобывающей производств.

Мышьяк также может находиться в некоторых

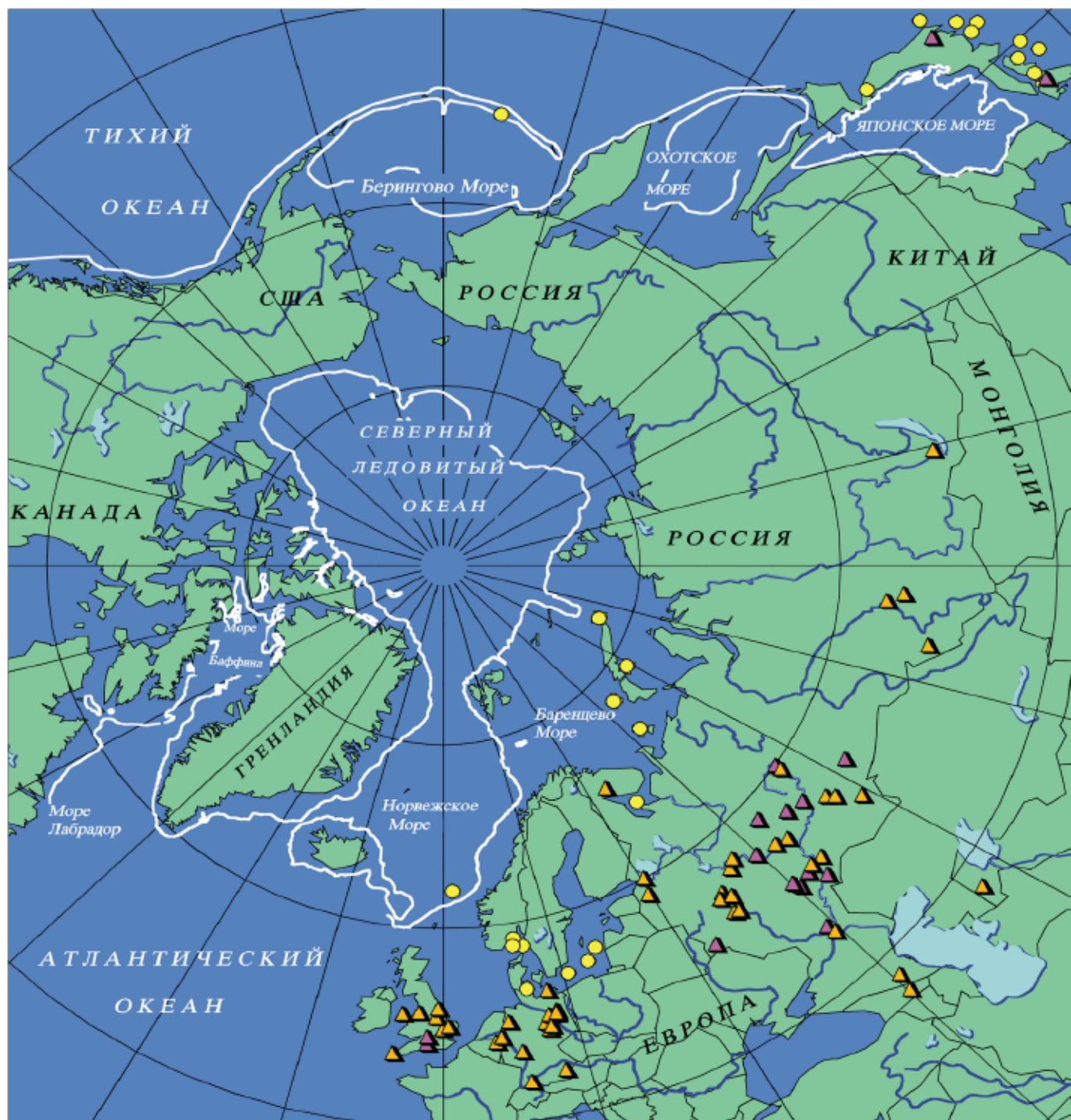
компонентах химического оружия, таких как люизит ( $C_2H_2AsCl_3$ ). Большое количество содержащего люизит химического оружия было захоронено после Второй мировой войны в Балтийском море (12 000 тонн), Белом море (40 000 тонн), Баренцевом море (70 000 тонн) и в водах Японии (38 000 тонн).





В морских обстановках мышьяк в виде арсената ( $AsO_4^{-3}$ ) адсорбируется оксидами и гидроксидами железа и марганца, которые могут претерпевать биоаккумуляцию в зоопланктоне, донных организмах и водорослях [Leonard, 1991]. Мышьяк в арктической биоте не изучался так подробно, как некоторые другие важные тяжелые металлы. Однако в некоторые регионах

были отмечены повышенные концентрации мышьяка у морских птиц. В частности, суммарные концентрации мышьяка в печени моевок архипелага Новая Земля превышают значения в других регионах в 10 - 100 раз [Savinova et al., 1997].

В поверхностных осадки в губе Черная, Новая Земля, зафиксированы концентрации мышьяка, достигающие 308 г/т [Loring et al., 1995]. Средней для глубоководных осадков является величина 13 г/т [Chester, 1990]. Некоторые исследователи считают, что источником мышьяка является выветривание мышьяка содержащих пород [Loring et al., 1997]; по мнению других специалистов, основной

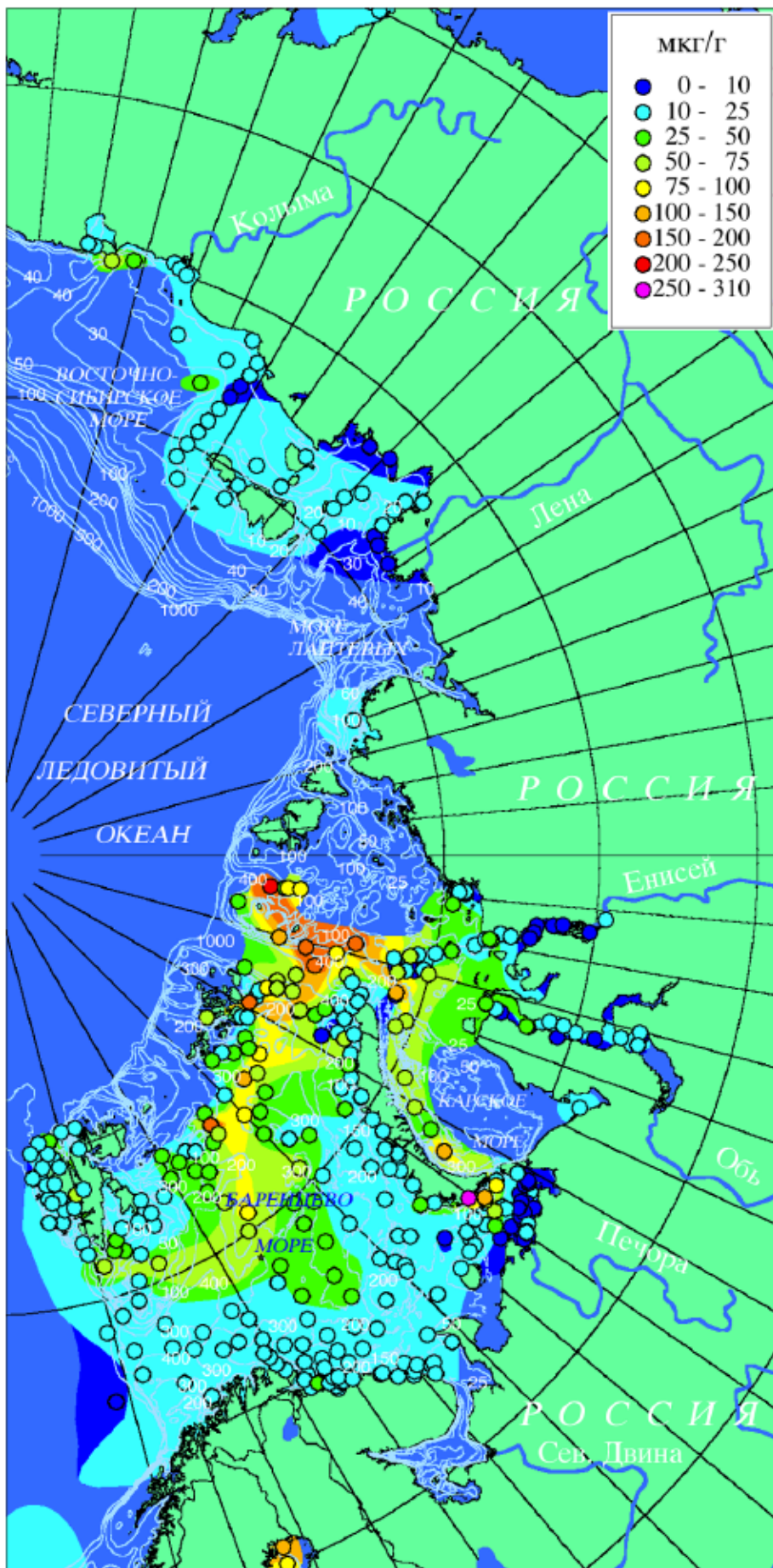
6.27 МЕСТА ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ



-  Существующие места производства и хранения химического оружия
-  Бывшие места производства и хранения химического оружия
-  Места захоронения химического оружия в акватории
-  Изобаты - 500 м

источник мышьяка в осадках связан с горнодобывающей промышленностью [Siegel et al., 1996; Lee, 1997].





Океанографические приборы, зажатые льдом

100

Глубины в метрах

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЛЕДУЮЩАЯ ГЛАВА