

## 4.3.2 ТЯЖЕЛЫЕ МАТАЛЛЫ

### СОДЕРЖАНИЕ

#### 4.3.2.1 ЭМИССИЯ, ТЕХНОГЕННОЕ РАССЕЙВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОТОКИ В АРКТИКУ

4.3.2.1.1. Источники антропогенного рассеивания элементов в глобальной шкале

4.3.2.1.2. Антропогенные источники загрязнения в пределах Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ)

4.3.2.1.3. Роль гидрометеорологических факторов в формировании полей концентраций загрязняющих веществ

4.3.2.1.3. Транспортные потоки в Арктику

#### 4.3.2.2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА И ВЫПАДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В АЗРФ

4.3.2.2.1. Концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе

4.3.2.2.2. Тяжелые металлы в атмосферных осадках

4.3.2.2.3. Тяжелые металлы в аэрозолях

4.3.2.2.4. Тяжелые металлы в снежном покрове

#### 4.3.2.3. МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ИМПАКТНЫХ И ФОНОВЫХ ЗОНАХ

4.3.2.3.1. Металлы в тундровых почвах отдаленных районов АЗРФ

4.3.2.3.2. Норильский полигон

4.3.2.3.3. Мончегорский полигон

4.3.2.3.4. Формы миграции металлов в почвенном слое

4.3.2.3.5. Механизмы деградации лесных экосистем в условиях загрязнения почв металлами

#### 4.3.2.4. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СУШИ

4.3.2.4.1. Крупные реки водосбора АЗРФ

4.3.2.4.2. Характеристика загрязнения водных объектов в импактных зонах загрязнения

4.3.2.4.3. Элементный состав сточных вод производств, потоки в озеро Имандра

4.3.2.4.4. Малые озера аэротехногенного загрязнения, Кольский регион

4.3.2.4.5. Особенности водной миграции и круговорота металлов в АЗРФ (на примере исследования озер Кольского Севера).

4.3.2.4.7. Накопление металлов в донных отложениях озер

4.3.2.4.8. Накопление металлов в рыбах как отражение геохимического фона и антропогенной нагрузки в Арктике

#### 4.3.2.5. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТАХ МОРСКОЙ СРЕДЫ

4.3.2.5.1. Снежно-ледяной покров арктических морей

4.3.2.5.2. Морская вода

4.3.2.5.3. Донные отложения

4.3.2.5.4. Промысловые рыбы - индикаторы загрязненности среды тяжелыми металлами и микроэлементами

#### 4.3.2.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### 4.3.2 ТЯЖЕЛЫЕ МАТАЛЛЫ

Тяжелые металлы (ТМ) поступают в атмосферу и водные объекты в результате естественных и антропогенно-обусловленных процессов, протекающих как на поверхности Земли, так и в ее недрах. К естественным относятся: вулканическая деятельность, выветривание пород, деструкция растительности; к антропогенным - промышленное производство, добыча полезных ископаемых, сжигание различного вида топлив, т.е. процессы, обусловленные и связанные с хозяйственной деятельностью человека. Природные источники менее значимы в Арктике, чем антропогенные.

Традиционная экономика местных народов Севера была и остается основанной на использовании возобновляемых ресурсов, таких как олени пастбища, области охоты и рыболовства и т.д. Однако основой экономического развития региона все более становится промышленное использование невозобновляемых ресурсов – нефти, газа, угля, строительных материалов, редких и драгоценных металлов и др. Поэтому Арктический регион, и особенно арктическая прибрежная зона, находится под все более возрастающим антропогенным воздействием как локальных индустриальных центров, так и меняющихся путей переноса загрязняющих веществ по воздуху и потоков воды и осадочного материала арктических рек. Как правило, выбросы металлургических и теплоэнергетических производств сопровождаются эмиссией кислотообразующих веществ, которые распространяются на более дальние расстояния и могут оказывать опосредованное влияние на водные системы путем кислотного выщелачивания лабильных элементов (в особенности алюминия, кадмия, цинка и других) из слагающих пород.

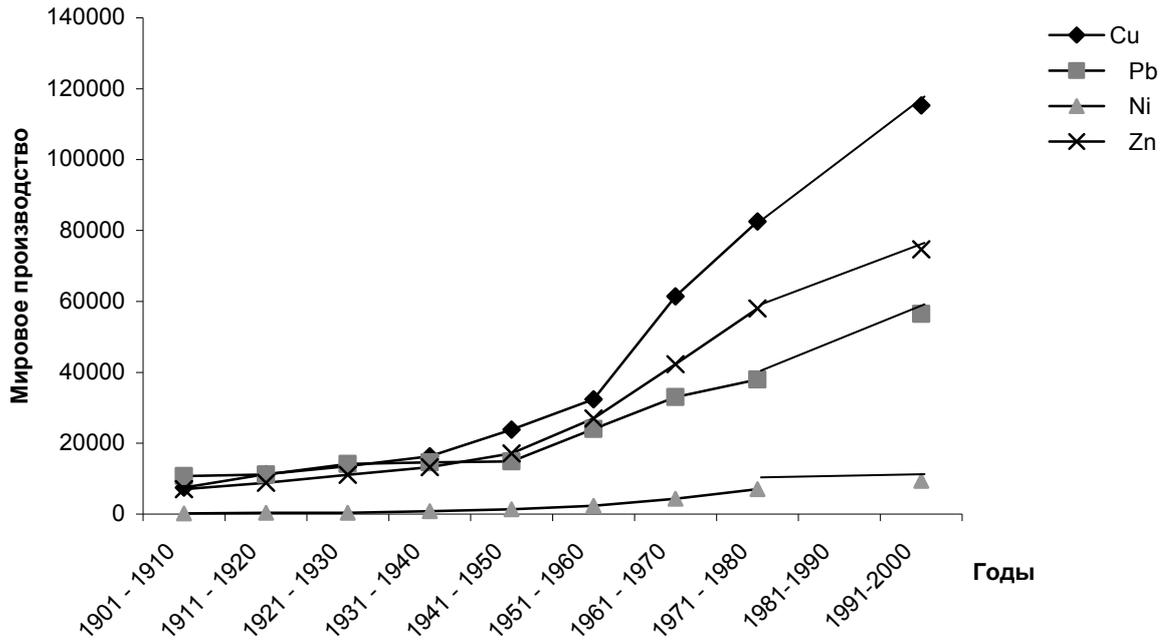
Как известно, природа Арктики является чрезвычайно уязвимой к действию загрязняющих веществ в силу низкого уровня масс- и энергообменов, замедленных процессов самоочищения, коротких пищевых цепей, способствующих быстрому перемещению токсикантов к конечным потребителям. В связи со сказанным проблема защиты Арктики от загрязнений и других негативных воздействий становится приоритетной, по крайней мере, для всех стран, которые относятся к числу арктических.

#### 4.3.2.1. ЭМИССИЯ, ТЕХНОГЕННОЕ РАССЕЙВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОТОКИ В АРКТИКУ

##### 4.3.2.1.1. Источники антропогенного рассеивания элементов в глобальной шкале

Техногенное рассеивание элементов и соответственно загрязнение ими окружающей среды связано с все возрастающим ростом объемов промышленного производства. Это хорошо иллюстрируется на примере анализа динамики кривых роста мирового производства Cu, Pb, Ni и Zn (4.3.2.1..а) и поступления этих же элементов в окружающую среду в течение XX века (рис. 4.3.2.1. .б).

а)



б)

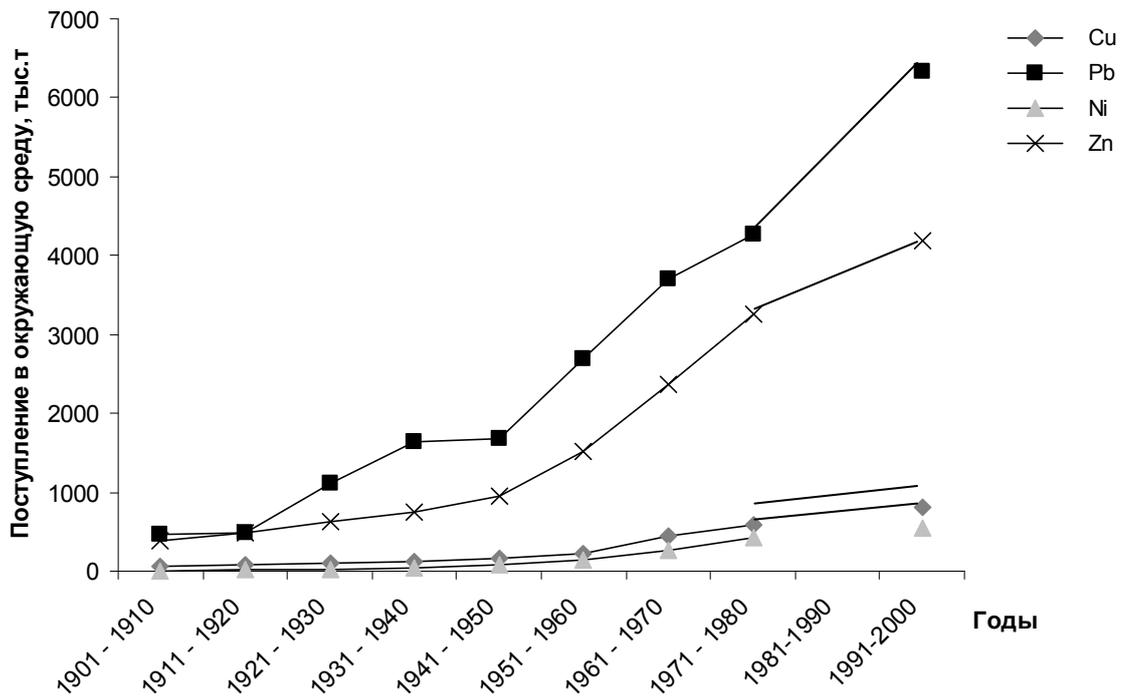


Рис.4.3.2.1. Мировое производство (тыс.т. за 10 лет) – а) и глобальное поступление в окружающую среду - б) Cu, Pb, Ni, Zn за период 1901-2000гг. Составлено по данным Мур, Рамамурти (1987) и Минеральные ресурсы..., 1997 и 2001.

Исследования глобальной эмиссии тяжелых металлов из основных антропогенных источников в атмосферу были выполнены Nriagu and Pacyna (1988) и повторены позже Pacyna and Pacyna (2002). Согласно этим данным (табл. 4.3.2.1.), почти все промышленные производства, а также сжигание топлива, транспорт и другие виды деятельности человека приводят к антропогенному рассеиванию элементов в окружающей среде. В то же время, хорошо прослеживается, что наибольший вклад вносят все виды сжигания топлива (386216 т/год), автотранспорт (88739 т/год), цветная металлургия (88629 т/год), черная металлургия (6592 т/год), производство цемента (4826 т/год). Установлено, что при сжигании угля в атмосферу выбрасываются Hg, Mo, Se, As, Cr, Mn и другие металлы, нефти – V и Ni, бензина – Pb и т.д. В окружающую среду металлы попадают с городскими стоками – As, Cr, Cu, Ni и другие, с отходами электростанций – As, Hg, Se, при выплавке стали – Cr, Mo, Sb, Zn, при плавке нежелезистых руд – Cd, Ni, Pb, Se, Вu и т.д. Особенно высокими содержаниями металлов характеризуются дымовые выбросы заводов по переработке цветных металлов и производству аккумуляторов. С дымовыми выбросами эмиссия металлов происходит как в составе пылевых частиц, так и аэрозолей. В первом случае металлы в составе минеральных частиц (пыли) осаждаются вблизи источника выбросов. Как правило, радиус распространения металлов в составе пылевых частиц не превышает 20-30 км в зависимости от розы ветров (Моисеенко и др., 2006). В составе аэрозолей металлы мигрируют на значительно более дальние расстояния. В этой форме они поднимаются в высокие слои атмосферы, формируя глобальный уровень загрязнения. В книге Саэт и др. (1990) показано, что сжигание топлива приводит к загрязнению атмосферы As, Cr, Cu, Mn, Ni, Sb, Se, V, Zn, цветная металлургия – Ag, As, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn, черная металлургия – Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, V.

В России данные по выбросам ТМ от основных источников являются неполными, поскольку на некоторых из них контролируются выбросы не ТМ, а твердых частиц (сжигание органического топлива, плавка цветных и черных металлов, сжигание отходов, производство цемента и т.д.). Это связано с тем, что ТМ в выбросе концентрируются на поверхности твердых частиц (за исключением ртути, которая выбрасывается в газообразном виде) и снижение выбросов твердых частиц автоматически приводит к уменьшению выбросов ТМ. Кроме того, контроль за выбросами твердых частиц менее сложен и дорогостоящ, чем контроль за выбросами отдельных металлов (Гос. доклад, ..., 2006).

Поэтому, косвенным показателем выбросов тяжелых металлов являются данные по выбросам твердых веществ. Анализ таблицы 4.3.2.2 показывает, что, в период 1990-1996 гг. в России наблюдалось сокращение суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух; начиная 1997 г., отмечается постоянный рост выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта, а с 1998 г. и рост выбросов от промышленных предприятий. Это обусловлено ростом объемов производства и увеличением количества автотранспорта, особенно индивидуального. При этом рост автомобильного парка происходит в условиях существенного отставания экологических показателей отечественных автотранспортных средств и используемых моторных топлив от мирового уровня, а также отставания в развитии и техническом состоянии улично-дорожной сети. В течение 2006-2007 годов, по данным Минприроды России, количество твердых частиц, выброшенных в атмосферу, продолжало уменьшаться и в 2007 году составило 2.74 млн.т, на фоне некоторого роста суммарных выбросов от стационарных источников (20.63 млн.т). Таким образом выбросы твердых загрязняющих веществ за 17-летний период сократились на 4.56 млн.т, т.е. в 2.6 раза. Выбросы от автотранспорта несколько уменьшились – до 16.2 млн. т. Однако, четкой тенденции к снижению не наблюдается (Государственный доклад, 1997). Из таблицы 4.3.2.2. следует, что если в 2005 году выбросы от промышленных предприятий составили 58,5% от уровня 1990 г., то выбросы от автотранспорта – более 83%, что свидетельствует о существенно более высоких темпах роста выбросов от автотранспорта по сравнению с темпами роста выбросов от

промышленных предприятий. Суммарные выбросы на Европейскую территорию России (ЕТР) превышают выбросы, приходящиеся на азиатскую территорию России (АТР). Объясняется это более высокими объемами и концентрацией отраслей промышленности на ЕТР. При этом вклад автотранспорта в суммарные выбросы на ЕТР имеет устойчивую тенденцию к увеличению, а на АТР – практически не изменяется. Так, вклад автотранспорта ( $M_a/M$ ) в выбросы на ЕТР в 2005г. составил 62,3 % (против 38,8 % в 1990 г.), на АТР – 26,9 % (против 35,6 % в 1990г.).

Особую тревогу вызывает у мировой общественности обогащение природных сред такими токсичными элементами, как ртуть, кадмий и свинец, представляющих особую опасность для здоровья населения. С начала века объемы поступления этих элементов в окружающую среду стремительно нарастают (Niagu, 1989).

Поступление **ртути** в окружающую среду, связанное в основном с горно-добывающей промышленностью и сжиганием различного вида топлив, увеличилось от 2 до 20 раз за прошлое столетие вследствие антропогенной эмиссии в локальном, региональном и глобальном масштабах (Maily et al., 2003). Hg может находиться в воде в трех окисленных состояниях - Hg(0), Hg(I) и Hg(II), последняя образует гидрокомплексы даже при низких рН. Ртуть образует стабильные комплексы с органическими лигандами, особенно с серой (аминокислоты, окси- карбоновые кислоты и др.), и высокомолекулярными органическими веществами (ОВ) типа фульво- и гуминовых кислот. Значительная часть ртути находится в составе взвешенных частиц и в виде метилированной ртути, последняя форма может формироваться как химическим, так и микробиологическим путем.

Для Hg важнейшим источником являются стационарные установки по сжиганию топлива, на порядок ниже - доля цветной металлургии и цементного производства. По данным (Swain et al., 1992) сжигание ископаемого топлива вносит более 3 тыс.т ртути в год. Применение ртути как фунгицида в сельском хозяйстве и садоводстве также влечет загрязнение окружающей среды. По последним уточненным оценкам (Pyle et al., 2003) в спокойном состоянии от вулканов в атмосферу высвобождается около 700 т. Hg в год, что составляет 20-40% поступлений от природных источников. Остальная часть природных потоков ртути приходится на дегазацию почв и эвапорацию с водной поверхности. Однако несколько крупных вулканических извержений могут добавить  $10^3$ - $10^4$  т ртути в глобальный круговорот этого элемента (Swain et al., 1992).

Поступая в атмосферу с промышленными выбросами, в результате сгорания различных видов топлив, с пылью, поднятой ветром, продуктами вулканической деятельности, ртуть переносится воздушными потоками на большие расстояния и оседает на поверхности Земли в виде частиц или с атмосферными осадками. Поэтому, основным фактором, определяющим степень антропогенного воздействия ртути на арктические регионы, является глобальный атмосферный перенос и выпадение на подстилающую поверхность.

Для **кадмия** важнейшим источником эмиссии является цветная металлургия, объемы выбросов которой в 1,5 раза превышают природную эмиссию этого металла. Кадмий присутствует в природных водах преимущественно в элементарной форме, имеют место также неорганические соединения с  $CO_3$  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).

На втором месте находится сжигание топлива, остальные источники имеют гораздо меньшее значение. Кадмий присутствует в природе в составе цинк- и свинцово-содержащих руд, а также в больших количествах содержится в фосфатных удобрениях. В окружающую среду он чаще всего поступает со стоками горнодобывающей, обогатительной и электролизной промышленностей, а также при использовании фосфатных удобрений. Последнее приводит к широкому распространению кадмия и загрязнению им окружающей среды в глобальном масштабе (Cadmium in Fertilizers...,

1997; Wu, 2004)). Вследствие высокой востребованности этого элемента (при производстве аккумуляторов, красителей, стабилизаторов пластмасс и в гальванических процессах), производство Cd неуклонно возрастало на протяжении прошлого столетия. Если с 1911 по 1920 гг. объем среднегодового мирового производства кадмия составлял 0,1 тыс.т./год, то за период 1971 – 1980гг. он достиг 15 тыс.т./год (Braun, 1976). Являясь лабильным металлом, кадмий легко высвобождается из минерального окружения под воздействием кислотных осадков, создавая повышенные концентрации в почве и в воде.

Глобальное поступление **свинца** в окружающую среду увеличивалось с ростом его производства: если за период 1901 – 1910 гг. поступило 471 тыс.т. металла, то в период 1971 – 1980гг. - уже 4265 тыс.т./год. За последнее десятилетие прошлого века эта величина, определенная по оценке на основе зависимости между производством и поступлением в окружающую среду, составила 6340 тыс. т./год, т.е. увеличилась более чем в 10 раз за прошедшее столетие (Мур, Рамамурти, 1987; Минеральные ресурсы мира, 1998, 2002). Свинец в значительной части присутствует в природных водах в виде иона, а кроме того участвует в реакциях с сульфатами и гидрокарбонатами. Образует стабильные формы с органическими лигандами, содержащими серу, фосфор, азот. Во взвеси рек свинец составляет до 90-99% от суммы «раствор + взвесь».

Следует отметить, что с ростом численности населения на планете и увеличением мощностей горнометаллургической и других видов производств, синхронно развивался и автотранспорт. Важнейшим источником Pb остается транспорт, особенно автомобильный, почти в 10 раз ниже доля сжигания топлива и цветной металлургии.

На рисунке 4.3.2.2 приведена эмиссия основных металлов в глобальной шкале.

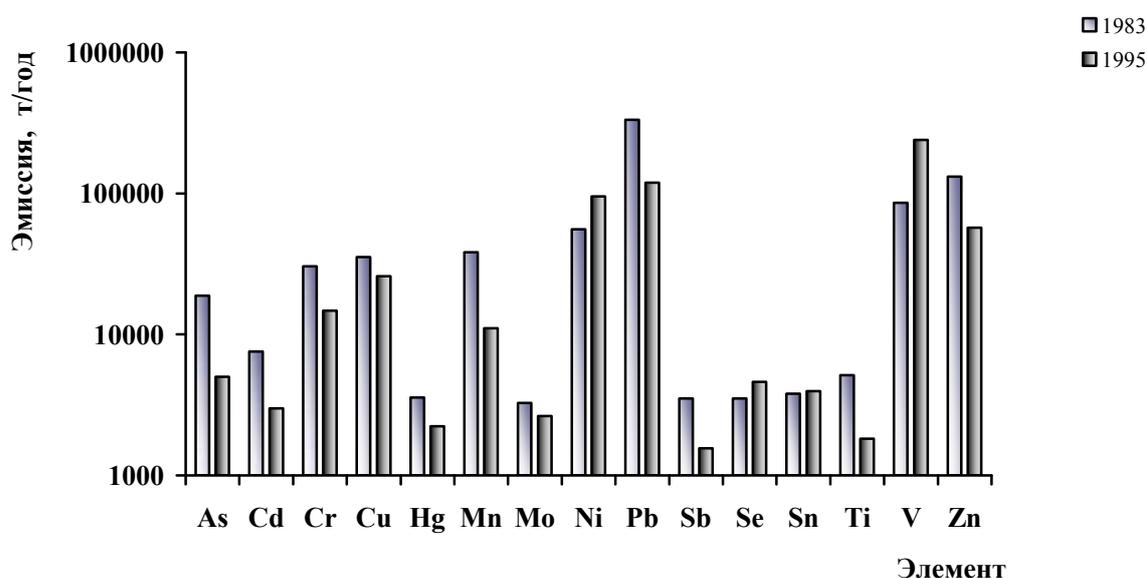
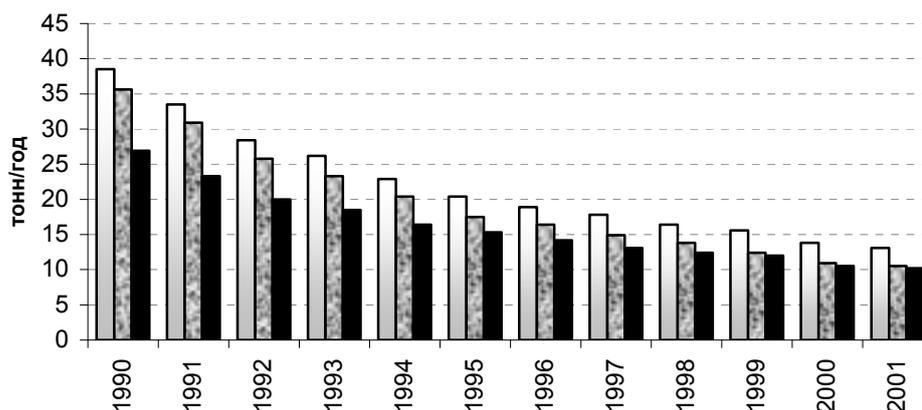


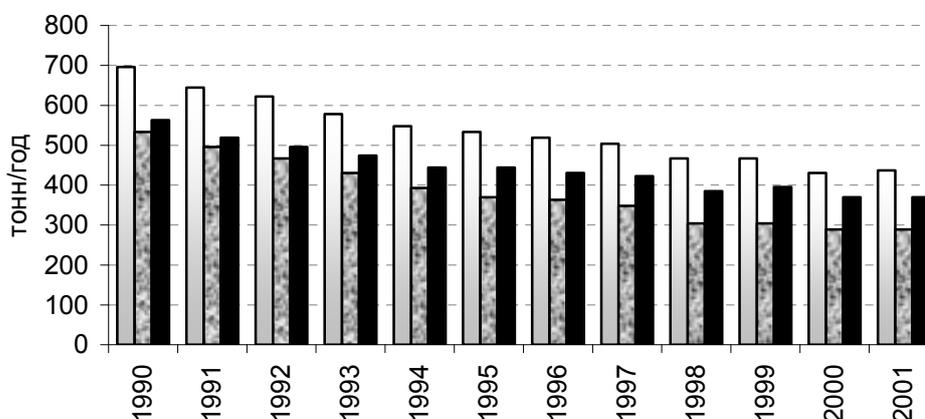
Рисунок 4.3.2.2 Глобальная эмиссия металлов (т/год) в1995 г. по сравнению с 1983 г.(АМАР assessment, 2002)

В 1979 г. была принята Конвенция ЕЭК ООН о трансграничном переносе на большие расстояния загрязняющих воздух веществ, в которой участвуют 49 государств. Совместная программа наблюдений и оценки переноса на большие расстояния загрязняющих воздух веществ в Европе (EMEP..., 2004) дает возможность регулярно оценивать концентрации в воздухе, объемы и распределение плотности выпадений ЗВ, контролируемых на территории 49 государств. Тенденции снижения эмиссии и выпадений свинца, кадмия и ртути в Европе в период 1990-2001 гг. отражены на рисунке 4.3.2.3 (EMEP..., 2004).

### Pb



### Cd



### Hg

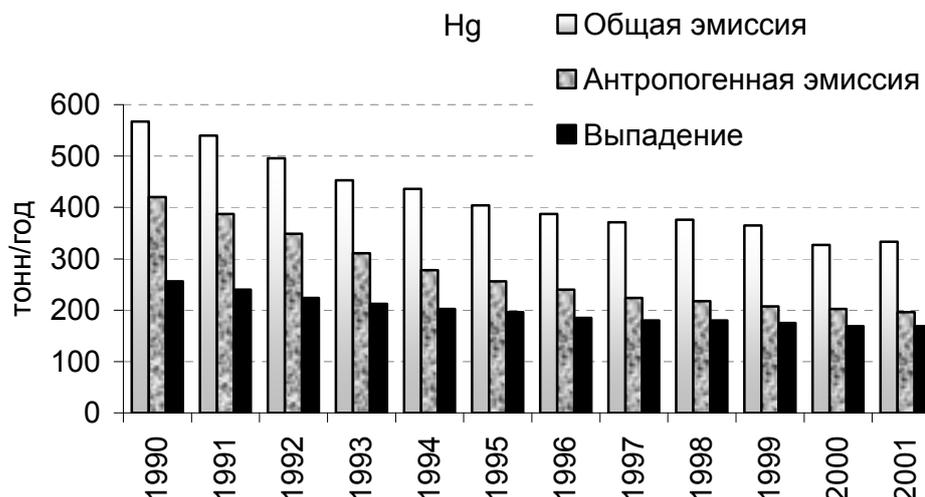


Рисунок 4.3.2.3. Тенденции снижения эмиссии и выпадений свинца, кадмия и ртути в Европе в период 1990-2001 гг. (EMEP..., 2004. данные Working Group on Effects.)

В РФ подобные оценки проводятся в целом для всей Европейской территории (ЕТР), и только в отдельных случаях имеется информация отдельно для региона Арктики.

Данные ЕМЕП за период 2001-2003 гг. по тяжелым металлам для ЕТР выглядят следующим образом (данные Госдокладов 2001-2004 гг.):

объем выпадений **свинца** изменялся так: 2001 г. – 4194 т (62,3% вклад трансграничного переноса), 2002 г. – 3195 т (54,2% -соответственно), 2003 г. – 4144 т (17% из стран-участниц Конвенции, 11% - из источников вне Европы);

**кадмий**: 2001 г. – 134,9 т (70,2% вклад трансграничного переноса), 2002 г. – 99,1 т (65,6% - соответственно), 2003 г. – 115 т (20,4% из стран-участниц Конвенции, 15,4% от источников вне Европы);

**ртуть**: 2001 г. – 71,2 т (94,4% вклад трансграничного переноса), 2002 г. – 26,9 т (86,5% - соответственно), 2003 г. – 32 т (11% - от стран-участниц Конвенции, 77% - от источников вне Европы и реэмиграции).

В 2003 г. обмен трансграничными выпадениями ТМ России с другими странами по выпадениям на ЕТР и от ЕТР в других странах был в следующих пропорциях: Pb=2,2:1, Cd=2,2:1, Hg=5,6:1. Соответствующие отношения только с 14 приграничными странами: Pb=2,3:1, Cd=2,8:1, Hg=7,1:1. Основные поступления в Россию были из Украины, Польши, Турции, Румынии, Германии, Белоруссии, Литвы, Эстонии, Норвегии, Финляндии, Швеции. Из Норвегии преобладали выпадения на ЕТР над национальными выпадениями по ртути, для других ЗВ перенос в Норвегию был больше, чем перенос из Норвегии в Россию. Переносы из Финляндии были выше в ЕТР по всем ЗВ, кроме окисленной серы и свинца. Из Швеции в Россию свинца поступало меньше, чем в обратном направлении ( Hemispheric Transport...., 2007)

#### **4.3.2.1. 2. Антропогенные источники в пределах АЗРФ**

Особенностью промышленного освоения Заполярья являлось его нацеленность на добычу и переработку минерального и топливного сырья. Это определило сходные черты форм и характера техногенного воздействия на природу и соответственно формирование аналогичных параметров импактных районов и их загрязнения тяжелыми металлами. Как правило, наибольшее загрязнение окружающей среды металлами связано с функционированием предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых и транспортно-энергетических объектов, где обозначились импактные зоны загрязнения (Евсеев, Красовская, 1996). В Арктических регионах доля природной эмиссии значительно ниже по сравнению с антропогенной составляющей (АМАР assessment, 2002)

В таблицы 4.3.2.3 приведены данные по выбросам загрязняющих веществ в России и по субъектам АЗРФ, на основе которых можно косвенно судить об антропогенной нагрузке в Арктических регионах, включая тяжелые металлы, от местных промышленных предприятий и автотранспорта (Данилов и др., 2008). В АЗРФ самые крупные источники выбросов тяжелых металлов расположены в Норильском промышленном районе, Мурманской и Архангельской областях, где сосредоточены крупнейшие предприятия цветной металлургии, горнодобывающие, горно-обогащительные и электроэнергетические объекты.

Выбросы Pb за счет транспорта почти на порядок превышают объемы эмиссии из природных источников (эрозии почв, вулканических выбросов, лесных пожаров). Однако в 70-х годах прошлого века, когда в Северной Америке было запрещено использование этилированного бензина со свинцовыми присадками, объемы выбросов в атмосферу резко снизились, что отразилось, например, на снижении концентрации Pb в колонке льдов Гренландии со 100-110 пг/г в начале 70-х годов до 10-20 пг/г в 90-х годах (АМАР assessment, 2002).

Наряду с этим в АЗРФ расположены мощные локальные комплексы цветной металлургии, образующие источник эмиссии Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Cr, Hg и др. Это ОАО «Кольская горно-металлургическая компания», включающая комбинаты «Печенганикель» и «Североникель» (г. Мончегорск, г. Никель), а также Норильский комбинат. Результаты химического анализа свидетельствуют о высоких концентрациях загрязняющих веществ, в первую очередь высокотоксичных халькофильных элементов в составе пылевых

выбросов комбинатов цветной металлургии. Среди перечисленных ТМ в этих районах наиболее значимо загрязнение никелем и медью.

Объем выбрасываемых ОАО «ГМК Норильский никель» во внешнюю среду загрязняющих веществ составил в 2007 году – 1990 тыс.т в атмосферу и 31.5 млн.м<sup>3</sup> в водные объекты, в т.ч. 28.9 млн.м<sup>3</sup> без очистки. Велико загрязнение воздуха пылью, содержащей тяжелые металлы.

За период с 1991 по 2007 год общие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в районе Норильского комбината существенно не изменились: в 1991 году было выброшено 2111.7 тыс. т., 2007год - 1990 тыс. т. Снижение составило 121.7 тыс.т, т.е 5.8%. Выбросы ЗВ в атмосферу от автотранспорта составили здесь в 2007 году 18.8 тыс.т. (Гос. доклад..., 2006). В составе данных выбросов твердые вещества (пыль) в 2007 году составили 11.2 тыс.т. Поэтому, в этой зоне очень велико загрязнение воздуха пылью, содержащей тяжелые металлы, которые формируют в результате воздушного переноса и выпадения в этом регионе техногенные геохимические аномалии.

В Мурманской области металлургические комбинаты «Печенганикель» (гг. Заполярный и Никель), и «Североникель» (г. Мончегорск), входящие в настоящее время в состав ОАО «Кольская горнометаллургическая компания» до 1991 года выбрасывали до 3000 т Ni, 2000 т Cu, 100 т Co ежегодно. Максимальный уровень выбросов ОАО «Комбинат «Североникель» в атмосферу (более 220 тыс.т/год) отмечался по сернистому ангидриду 1982 –1984 годах, по тяжелым металлам ( более 12 тыс.т/год) – 1986-1987 годах. В связи с истощением собственной рудной базы с середины 70-х годов прошлого века комбинат стал работать на руде, доставляемой по Северному морскому пути из Норильска, обеспечивая 85% сырья от потребностей Кольских производств. ОАО «Комбинат «Североникель» в конце прошлого века обеспечивал производство 43% никеля, около 15% меди, более 40% кобальта и металлов платиновой группы в России. Период 1990-1996 гг. в целом характеризуется снижением технико-экономических показателей и как следствие, резким снижением выбросов ЗВ (Калабин, 2000). На рис.4.3.2.4. показана тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ от Кольских медно-никелевых производств до 2007г.

Характер атмосферной циркуляции в арктических районах обеспечивает дальний перенос в арктическую атмосферу антропогенных загрязняющих веществ из средних широт преимущественно в зимний период. Основная масса загрязняющих веществ поступает от источников эмиссии Евразии.

Антропогенные источники ртути в своем большинстве сосредоточены в средних широтах Северного полушария. В АЗРФ ртуть поступает в атмосферу от тех же предприятий энергетики, металлургии, переработки мусора, расположенных на Кольском п-ове, в Архангельской области, на севере Коми и Красноярского края, что и аэрозоли ТМ. Промышленными источниками ртуть выбрасывается в атмосферу в газообразной форме и в виде аэрозолей. Газообразная ртуть составляет 95% атмосферной ртути и содержит около 80% элементарной и около 20% окисленной ртути (Fahlke et al., 1995). Дальний перенос - это основной механизм загрязнения окружающей среды ртутью сильно удаленных регионов, к которым относится Арктика.

В арктических городах и поселках (Печенга, Никель, Мончегорск, Кировск, Кандалакша, Печора, Воркута, Надым, Норильск, Депутатский, Валькумей, Анадырь), источниками загрязнения металлами могут служить ГРЭС и котельные установки, работающие на угле или мазуте. Теплоэнергетические станции являются источником рассеивания большого спектра элементов. При сжигании угля в теплоэнергетических установках происходит обогащение окружающей среды элементами как за счет непосредственного испарения при сгорании угля, так и их распространения в составе летучей сажи и выпадения золы вблизи производства (Xu et al., 2003). На рисунке 4.3.2.5 приведена классификация элементов по их летучести при сжигании угля.

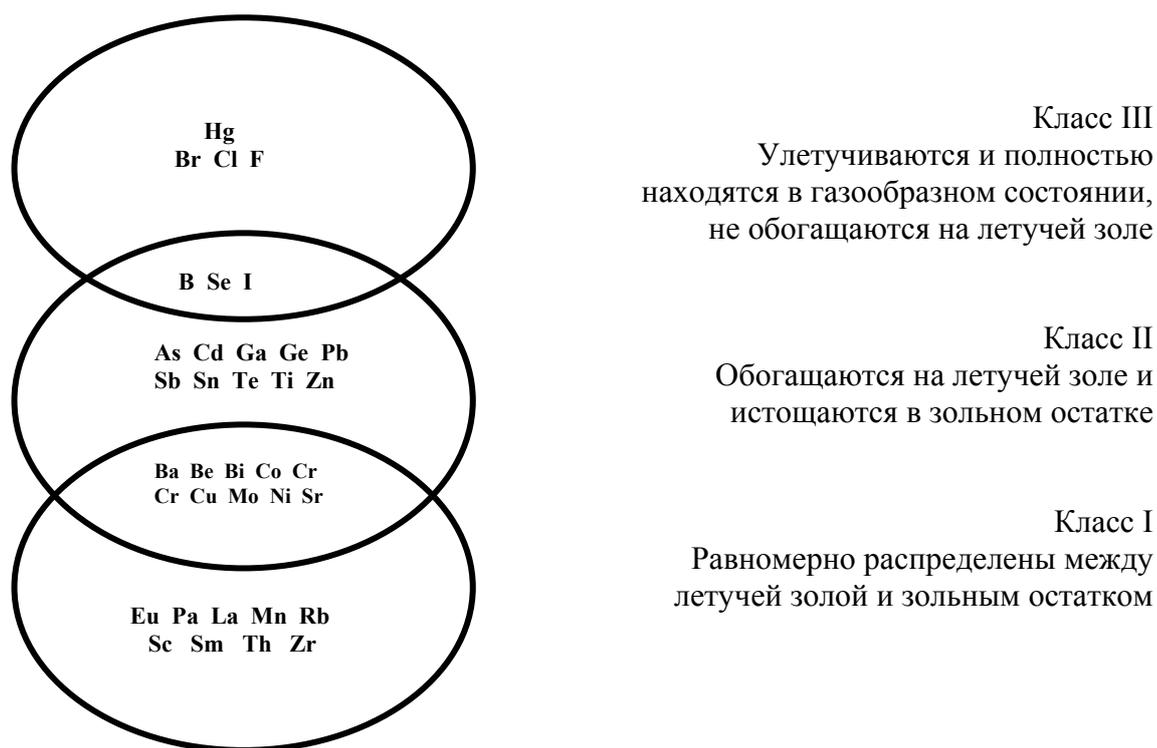


Рисунок 4.3.2.5. Классификация рассеивания элементов при сжигании угля на основе их летучести (Xu et al., 2003). В 1-ый класс входят элементы зольного остатка, во 2-й – преимущественно рассеиваются в составе летучей золы; в 3-й – элементы, которые испаряются в процессе сжигания угля.

Подобно предприятиям горнодобывающей промышленности негативное воздействие на экосистемы оказывают предприятия топливно-энергетического комплекса, особенно крупные ТЭС, работающие на местном угле и мазуте. Наиболее крупные ТЭЦ расположены в Архангельской области. Объемы выбросов твердых загрязняющих веществ Северодвинской ТЭЦ составили – 44.5 тыс.т/год, Архангельской - 39.6 тыс.т.; в Мурманской области выбросы ОАО “Мурманская ТЭЦ в атмосферу составляют 20.9 тыс.т и Апатитской –14.4 тыс.т”; в Республике Коми - Воркутинская ТЭЦ-1 –15.8 тыс.т. и ТЭЦ-2 – 27.6 тыс.т. Объемы выбросов в атмосферу 2-х ТЭЦ и одной ГРЭС на Чукотке незначительны и суммарно составляют 9.4 тыс.т. Вокруг теплоэнергетических производств формируются ореолы с повышенным содержанием большого спектра элементов, включая такие опасные, как ртуть, селен, кадмий, мышьяк. Шлейф от труб в ряде случаев может достигать 10-20 км. В результате выбросов ТЭС в воздух, рассеивание зольных отвалов происходит загрязнение внешней среды пылью, диоксидами серы, оксидами азота и углерода, ПАУ, фенолами, тяжелыми металлами. Особенно загрязняются почвы вблизи зольных отвалов, в том числе соединениями ртути, мышьяка и других металлов. Пробы пыли и снега оказались к тому же радиоактивными – содержание <sup>90</sup>Sr может превышать ПДК в 10 раз, <sup>137</sup>Cs – в 5-10 раз (Евсеев, Красовская, 1996). Влияние автотранспорта, в импактных промышленных зонах, как источника выбросов Pb, здесь также может сказываться.

В рамках программы АМАП с особой детальностью среди всего набора тяжелых металлов рассматриваются три наиболее токсичных – Pb, Hg и Cd (АМАП assessment,

2002). Показано, что для Hg важнейшим источником являются стационарные установки по сжиганию топлива, на порядок ниже - доля цветной металлургии и цементного производства. Важнейшим источником Pb остается транспорт, особенно автомобильный, почти в 10 раз ниже доля сжигания топлива и цветной металлургии. Выбросы Pb за счет транспорта почти на порядок превышают объемы эмиссии из природных источников (эрозии почв, вулканических выбросов, лесных пожаров). Однако в 70-х годах прошлого века, когда в Северной Америке было запрещено использование этилированного бензина со свинцовыми присадками, объемы выбросов в атмосферу резко снизились, что отразилось, например, на снижении концентрации Pb в колонке льдов Гренландии со 100-110 пг/г в начале 70-х годов до 10-20 пг/г в 90-х годах (AMAP assessment, 2002).

#### **4.3.2.1.3. Роль гидрометеорологических факторов в формировании полей концентраций загрязняющих веществ**

Анализ атмосферных циркуляционных характеристик, наблюдающихся над акваторией и побережьем морей АЗРФ показывает, что:

- в зимне-весенний период над акваторией Баренцева и Карского морей преобладают потоки северо-западных и западных направлений (до 80 % случаев), что обуславливает невысокие коэффициенты кумуляции загрязняющих веществ в снежном покрове и небольшой меридиональный перенос от промышленных источников, расположенных в сопредельных районах Европейской части России, Урала и Сибири;
- для моря Лаптевых в основном характерны потоки юго-западного и южного направлений (до 65% случаев), что определяет значительный вклад поступлений ЗВ от источников, расположенных в промышленных районах Урала и Западной Сибири;
- для Восточно-Сибирского и Чукотского морей в этот период года преобладающими являются юго-западные, юго-восточные и южные воздушные потоки (до 77% случаев), что обуславливает перенос загрязняющих веществ из районов Дальнего Востока.

Очевидно, что транспортировка за тысячи километров от источников загрязняющих веществ в Арктический регион осуществляется именно меридиональными воздушными потоками. Другими словами, по мере движения воздушных масс в единый поток вовлекаются загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу от источников эксплуатации (Hemispheric transport..., 2007).

Глубина меридиональных потоков (или дальность их распространения) с юга на север или наоборот, в основном, ограничивается природной обеспеченностью самих атмосферных процессов, т.е. их средними размерами. Известно, что подошвы длинных термобарических волн на полушарии, в среднем, располагаются в зоне 35-50 град. с.ш., а вершины их достигают 70-80 град. с.ш. Поэтому очевидно, что именно Арктика является регионом, куда ведущие атмосферные потоки, направленные с юга, чаще всего выносят находящиеся во взвешенном состоянии загрязняющие вещества. Необходимо отметить, что именно эта способность атмосферной циркуляции позволяет в каждом конкретном случае по ориентации длинных термобарических волн и скоростям воздушных потоков рассчитывать примерный район расположения возможного источника загрязнения (метод обратных траекторий).

В целом, интенсивность меридиональных переносов ЗВ и сезонный ход их концентраций для всех направлений определяется положением полярного фронта (модель резервуара). При этом, под полярным фронтом понимается зона интенсивного перемешивания воздушных масс северных и умеренных широт.

Согласно этой модели, верхняя тропосфера Арктики в зимний период может рассматриваться как резервуар смешанного аэрозоля, в который в течение зимы поступают загрязненные аэрозоли из умеренных широт, так как граница полярного фронта располагается южнее индустриальных и густонаселенных районов Евразийского и Северо-Американского материков. Весной резко возрастает интенсивность выведения

аэрозоля с осадками, а граница фронта сдвигается к северу с возрастающей эффективностью, изолируя центральную Арктику от поступления загрязненных воздушных масс. В летний период в поступление загрязняющих веществ на акватории и побережье арктических морей возрастает вклад меридиональных переносов от среднеудаленных и локальных источников загрязнения. Осенью полярный фронт опять сдвигается на юг, открывая возможность для меридионального переноса загрязняющих веществ ((Jutto et al., 1989; .АМАР assessment, 2002).

Транспорт загрязняющих веществ на акватории морей с водными потоками в основном связан с их переносом постоянными поверхностными ветровыми течениями. Роль приливных течений ограничивается их участием, наряду с физико-химическими процессами, в формировании короткопериодной (суточной и мезомасштабной) изменчивости концентрации ЗВ для конкретных локальных районов акватории. Средние скорости ветровых течений для различных морей колеблются в пределах от 2 см/сек (море Лаптевых) до 40-50 см/сек (Чукотское море), но максимальные скорости суммарного течения (сумма всех видов течений) могут быть гораздо больше. При этом перенос ЗВ из одного района акватории в другой, аккумулированных в зимний период снежно-ледяным покровом, и поступление их в поверхностные воды при таянии дрейфующих льдов можно рассматривать в качестве самостоятельного фактора, влияющего на уровни антропогенной нагрузки, возникающей в таких районах

#### 4.3.2.1.4. Транспортные потоки в Арктику

В рамках Арктической Программы (АМАР assessment, 2002) выделяется три главных пути переноса – перенос воздушными потоками, наземно-пресноводные пути (речной сток, льды) и океанические пути (океанские течения). В отчете АМАР приводятся сопоставительные оценки потоков металлов в Арктику через атмосферные выпадения и со стоком трех наиболее крупных рек российской части Арктики (АМАР assessment, 2002). Основываясь на последних данных, очевидно, что атмосферный перенос ртути является основным фактором его привноса в Арктику. Кадмий и свинец поступают в близких объемах, тогда как цинка значительно больше привносится с речным стоком (табл.4.2.3.4) (АМАР assessment, 2002).

Таблица 4.3.2.4. Соотношение различных источников выноса металлов (т/год) в Арктические моря (АМАР assessment, 2002)

	Hg	Cd	Pb	Zn
Атмосферные осадки	40	47	2400	1350
Речной сток	10	66	2450	17800
Воздух/Вода	4	0.7	0.98	0.08

**Воздушные потоки.** По воздуху переносятся любые химические стойкие вещества, такие как кислоты, тяжелые металлы (кроме ртути), органические вещества в составе аэрозолей, черный углерод (сажа), радионуклиды. Выброшенные в атмосферу из источников ТМ либо быстро осаждаются на землю, либо уносятся воздушными массами на большие расстояния. Hg и частично Se присутствуют в газообразной фазе, все остальные ТМ переносятся в атмосфере в составе тонких твердых частиц-аэрозолей, обычно в соединениях с органическим веществом. Способность к переносу на дальние расстояния зависит от: 1) размера частиц, 2) температуры выбросов, 3) скорости и высоты выбросов в газообразной фазе.

Характер атмосферной циркуляции в арктических районах обеспечивает дальний перенос в

арктическую атмосферу антропогенных загрязняющих веществ из средних широт преимущественно в зимний период. Основная масса загрязняющих веществ поступает от источников эмиссии Евразии. Основным механизмом загрязнения окружающей среды ртутью сильно удаленных регионов, к которым относится Арктика - это дальний перенос. Промышленными источниками ртуть выбрасывается в атмосферу в газообразной форме и в виде аэрозолей. Газообразная ртуть составляет 95% атмосферной ртути и содержит около 80% элементарной и около 20% окисленной ртути (Fahlke, Bursik., 1995).

В отличие от других районов планеты в арктических широтах наблюдается четкая цикличность в повторяемости случаев чрезвычайно сильного снижения концентраций газообразной ртути в атмосферном воздухе, совпадающая по времени с выходом солнца из-за горизонта по окончании полярной ночи. Этот феномен назван «ртутной разгрузкой». Случаи чрезвычайно низких концентраций систематически наблюдаются в течение всего периода полярного дня (Brooks et al., 2002a).

Наряду с этим, определенный вклад в атмосферный перенос ТМ (приоритет принадлежит Ni и Cu) в АЗРФ вносит мощный комплекс цветной металлургии на Кольском полуострове - ОАО «Кольская горно-металлургическая компания». На Кольском п-ове значительная часть ТМ поступает в атмосферу в твердом дисперсном состоянии в составе неполно окисленных сульфидов металлов, которые разрушаются с образованием тонкодисперсных аэрозолей (Дончева, 1975), и, следовательно, вовлекаются воздушными потоками в процесс дальнего переноса. Доля аэрозолей ТМ, выпадающих в радиусе до 10 км от источника, может составлять от 10 до 30% (Бобовникова и др., 1986).

При существующей системе циркуляции воздушных масс наиболее благоприятные условия для атмосферной транспортировки загрязнителей в Арктику создаются в зимний период, с ноября по май. Это наиболее быстрый и прямой путь доставки загрязнителей из промышленно развитых регионов Евразии в Арктику. Так, период полного перемешивания воздушной массы с загрязняющими веществами с тропосферой северной полусферы составляет 3-6 месяцев, тогда как перенос водных масс из Атлантики в Северный Ледовитый океан занимает от нескольких лет до десятков лет (Голубева, 2007). Низкие температуры и полярная ночь также способствуют атмосферному переносу загрязнителей. Так, низкие скорости ветра, отсутствие облачности, температурные инверсии благоприятствуют накоплению поллютантов в воздухе, а отсутствие солнечного света предохраняет сульфаты и сажу от разложения. Некоторые вещества обнаруживаются в атмосфере Арктики в более высоких концентрациях, чем можно было бы ожидать. Можно указать, по крайней мере, на две причины этого факта – конденсация газообразной фазы на аэрозолях и снежинках при низких температурах, а также большая растворимость газов в воде при таких условиях.

До настоящего времени влияние аэрозольного вещества на состав водной взвеси и донных отложений Северного ледовитого океана (СЛО) недооценивалось. Виноградовой, Шевченко (2005) для оценки роли атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана (СЛО) и его морей были выполнены исследования и проведены расчеты потоков четырех микроэлементов, имеющие антропогенное происхождение и содержащиеся в атмосфере Арктики на аэрозольных частицах субмикронных размеров. Это тяжелые металлы – никель (Ni), свинец (Pb), цинк (Zn), и кадмий (Cd). Вертикальные потоки этих микроэлементов на поверхность СЛО оценивались по данным о средних концентрациях микроэлементов в арктической атмосфере в течение года и их средних выпадениях на единицу поверхности в Российской Арктике. Эти результаты были получены путем анализа многолетних рядов ежедневных траекторий переноса воздушных масс и модельных оценок атмосферного переноса и осаждения на поверхность антропогенных аэрозольных примесей в арктических районах России. Рассчитанное количество рассматриваемых элементов, которое

выпадает за год на поверхность российских морей и на всю территорию СЛО, приведено в табл. 4.3.2.5.

Подчеркнем, что используемые значения потоков микроэлементов на подстилающую поверхность были получены таким образом, что характеризуют лишь их антропогенную часть.

Таблица 4.3.2.5. Средние годовые потоки антропогенных микроэлементов на поверхность морей Северного Ледовитого океана и его морей, т/ год (Виноградова, Шевченко, 2005)

Территория	Площадь, 100 км <sup>2</sup>	Ni	Pb	Zn	Cd
Баренцево море	1,42	8,5	31	18,5	0,68
Карское море	0,88	5,3	14	9,2	0,39
Море Лаптевых	0,66	3,6	8,2	5,1	0,23
Восточно-Сибирское море	0,91	5,4	11	8,1	0,36
Чукотское море	0,59	3,4	9,5	5,8	0,30
Северный Ледовитый океан	13,2	75	210	130	6,6

Эти данные подтверждают высокую антропогенную составляющую в общей нагрузке на арктические моря за счет аэрозольного переноса на дальние расстояния.

В таблице 4.3.2.6. приведены более детальные данные Шевченко и др., (2009) по годовым потокам антропогенных ТМ, характеризующие вклад конкретных антропогенных источников в общее загрязнение морей, поступающих по атмосферному каналу от Кольского п-ова и района Норильска, на поверхности морей Российской Арктики. Природные объекты акватории Белого и Баренцева морей находятся под антропогенной нагрузкой со стороны Кольского п-ова, а акватории моря Лаптевых - преимущественно со стороны Норильска, над Карским морем происходит смена лидирующего источника загрязнений. В отношении загрязнения свинцом рассматриваемые регионы-источники не являются основными для всех арктических морей. Наиболее значимыми антропогенными источниками Pb и V являются регионы с активно функционирующим авиационным и автомобильным транспортом, которые расположены в Центральной и Восточной Европе, а также районы с интенсивным сжиганием каменного угля, нефтепродуктов и дров. Именно эти территории в значительной степени влияют на содержание свинца и ванадия в окружающей среде.

Таблица 4.3.2.6. Средние потоки тяжелых металлов (т/год) на поверхность российских арктических морей в 1990-х гг. (Шевченко и др., 2009)

Источники	Кольский	Кольский	Кольский + Норильский	Кольский + Норильский	Норильский
	Баренцево море	Баренцево море	Баренцево море	Баренцево море	Лаптевых море
		море	море	море	Лаптевых
Ni	113	1190	96	77	37
Си	71	775	66	92	60
Pb	5,6	60	4,7	2,9	1,0
Cd	1,8	17	1,4	1,7	1,0
% от эмиссии	5,6	59,6	3,3	2,6	4,0

**Наземно-пресноводные пути.** Для водосборного бассейна АЗРФ характерна густая речная сеть. Реки Евразии выносят в год около 3000 км<sup>3</sup> пресной воды и более 100 млн. т твердого материала. Реки выносят ТМ из южных широт в Арктику и из наземных экосистем в арктические экосистемы.

Собирая воды и осадочный материал с огромных водосборных территорий, реки становятся мощным агентом переноса как природных, так и антропогенных веществ с континента в океан. Разработка и добыча минеральных ресурсов, металлургические комбинаты и заводы, бурение на нефть и газ, сельское хозяйство, города и поселки, сбросы муниципальных вод, часто без очистки, вносят вклад в загрязнение речных стоков.

Загрязняющие, как и природные вещества, транспортируются реками как в растворенном, так и коллоидном и взвешенном в составе тонких частиц состоянии. Озера и водохранилища представляют собой эффективные ловушки, в первую очередь для взвешенного материала. Так, построенные в середине XX века крупные плотины и гидростанции в верхнем и среднем течении Енисея явились причиной почти 3-х кратного снижения стока взвеси за счет оседания и накопления ее в донных осадках водохранилищ. Однако в другой крупнейшей реке Сибири - Оби заметного снижения стока взвеси не произошло, хотя на реке также были построены крупные гидростанции.

Эти переходные от континента к океану области становятся, таким образом, мощными аккумуляторами не только природных веществ, но и многих загрязняющих веществ. Соотношение растворенных и взвешенных ТМ в речном стоке сильно зависит от концентрации самого взвешенного материала в речной воде. Средняя глобальная мутность речных вод составляет около 500 мг/л, тогда как реки Сибири отличаются низкой мутностью (в среднем около 30 мг/л). По данным Gordeev (2001) в стоке Оби, Енисея и Лены вынос ТМ во взвеси составляет порядка 60-90% от общего содержания ТМ в воде, еще более твердый сток важен для Cd (80-90%) и Pb (95-97%) (табл. 4.3.2.7)

Таблица 4.3.2.7. Поступление металлов в растворенной (10<sup>3</sup> т/год) и взвешенной формах со стоком крупных рек России в Арктические моря (АМАР Assessmet, 2002)

	Cu	Zn	Ni	Pb	Hg	Cd	Fe
<b>Обь</b>							
растворенная форма	0.85	0.13	0.56	0.006	0.0002	0.0003	11
взвешенная форма	0.84	1.71	0.63	0.26	0.0008	0.0087	990
суммарно	1.69	1.84	1.19	0.266	0.001	0.009	1001
<b>Енисей</b>							
растворенная форма	1.0	0.82	0.34	0.003	0.0002	0.0009	9
взвешенная форма	0.85	1.3	0.45	0.177	0.0003	0.013	342
суммарно	1.85	2.12	0.79	0.18	0.0005	0.0139	351
<b>Лена</b>							
растворенная форма	0.47	0.22	0.16	0.018	0.0005	0.003	17
взвешенная форма	0.6	2.58	0.84	0.458	0.0021	0.011	680
суммарно	1.07	2.80	1.0	0.503	0.0026	0.014	697
<b>Всего в Арктические моря</b>							
растворенная форма	4.40	2.2	1.99	0.052	0.0018	0.0081	69
взвешенная форма	6.37	15.85	5.48	2.6	0.0084	0.078	5607
суммарно	10.77	18.05	7.47	2.652	0.0102	0.0861	5676

До последнего времени не уделялось должного внимания выносу в моря речных и прикрепленных к берегам льдов весной. Последние оценки показывают, что, например, в море Лаптевых общий вынос материала с нагруженными осадками льдов (так называемых «грязных льдов») в море сопоставим по объему с выносом речных взвесей (всего в 1,5 раза меньше речного стока). С этим материалом льды выносятся в моря и далее с океанскими течениями в центральную часть океана. Большая часть этих льдов тает и освобождает материал, в том числе загрязнители, преимущественно в проливе Фрама, на выходе из Арктики в Атлантический океан (Gordeev, 2000).

Большое количество загрязняющих веществ поступает в речные воды при таянии снега и льда весной. Накопленные за зимний период поллютанты удаляются на 40-80% с первыми 20-30% талых вод, которые по мерзлой земле прямо стекают в реки и озера, практически не просачиваясь в почву и не попадая в подземные воды. Реки, таким образом, являются ключевым агентом транспортировки загрязняющих веществ на расстояния в тысячи километров. В работе Голубевой (2007) на примере Баренцева моря показан вклад различных путей переноса металлов. Рассматривались крупнейшие реки, впадающие в Баренцево море: Печенга (22,2), Паз (201), Тулома (200), Кола (40), Воронья (110), Иоканьга (60). В скобках показан средний годовой расход (м<sup>3</sup>/с).

Концентрации ТМ брались исходя из их пространственного распределения в снежном покрове. Для Pb, Cd, Cr и Hg - осредненные для северного побережья Кольского п-ова. Для Cu, Zn и Ni - концентрации, измеренные в районе бассейна реки либо в ближайшем районе. Полученные результаты показывают, что талые воды Кольской части водосборного бассейна Баренцева моря несут в себе до 15% массы выбросов в Мурманской области Cu и до 53% Ni (Голубева, 2007). Однако для всей рассматриваемой группы ТМ в суммарном аэротехногенном потоке в морскую среду составляющая массы, связанная с талыми водами п-ова, невелика. С поверхностным стоком с п-ова поступает в 9-100 раз (в зависимости от элемента) меньше ТМ (кроме Ni и Cd), чем с атмосферными осадками, т.е. роль потоков, как «сухих» так и «влажных», в аэротехногенном загрязнении ТМ морской среды в секторе Кольского п-ова является приоритетной. А это в свою очередь, несмотря на наличие на Кольском п-ове мощных источников промышленных выбросов ТМ, повышает значимость континентальных выбросов в процессе загрязнения вод Баренцева моря (табл.4.2.3.8).

Таблица 4.3.2.8. Расчетные данные потоков тяжелых металлов (ТМ) в Баренцево море, вследствие аэротехногенного их поступления на поверхность суши и моря (Голубева, 2007)

Параметр	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Hg
Вынос ТМ реками Кольского полуострова, т/год -	54	30	160	2000	770	7	0.2
«Влажный» поток ТМ на все Баренцево море, тыс. т/год	1.17	0.036	3.5	17.7	0.5	0.71	0.004
«Влажный» поток «вынос», тыс. т/год	22	1.2	22	8.8	1.3	101	20
Запасы ТМ в Баренцевом море, тыс. т	157	8.6	188	<14250	256	8835	0.57

Качество трансграничных поверхностных вод суши в РФ оценивается по результатам наблюдений в 52 пунктах, расположенных на 45 водных объектах на границе

России с сопредельными государствами (по состоянию на 2003 г.). Для АЗРФ трансграничный перенос ЗВ с речными водами имеет небольшое значение. Например, через малые реки Кольского полуострова (Колос-йоки, Вуокса, Патсо-йоки) осуществляется обмен ЗВ между Россией и Финляндией и Норвегией. Для приграничных районов Норвегии наиболее характерными ЗВ являются Cu, Zn, Ni, фенолы, сульфаты, Финляндии – Cu, Zn, Ni, фенолы.

**Океанские пути переноса.** Северный Ледовитый океан и окружающие моря получают загрязняющие вещества из воздуха, других океанов, рек и путем прямых сбросов с берегов и морского транспорта. Наиболее важное значение имеет Северо-Атлантическое течение. Поверхностные воды Атлантики более богаты тяжелыми металлами, чем воды Северного Ледовитого океана, и потому они являются источником поставки ТМ. Трансполярный дрейф и Восточно-Гренландское течение частично выносят загрязняющие вещества из Арктики в Атлантику, однако для многих загрязнителей Арктика становится конечным звеном транспорта загрязнителей (АМАР assessment, 2002).

В эстуариях, как уже отмечалось, осаждаются на дно и переносятся вдольбереговыми течениями на шельфе до 85-95% взвешенного речного материала. С учетом этих потерь, а также трансформации растворенных форм ТМ в зонах смешения речных вод Оби, Енисея и Лены и морских вод, оказывается, что в открытое море проникает лишь 40% Ni, 60% Cu и 11% Pb от их количества, приносимого реками к границе река-море (Gordeev, 2000). К сожалению, подобные оценки практически отсутствуют для других рек и ТМ.

Выпадающие на снег и лед из атмосферы ТМ в составе аэрозолей могут переноситься льдами или снегом на большие расстояния в Арктике и затем переходить в воду при таянии снега и льда. Концентрации ТМ в снегу и льдах часто выше, чем в нижележащей морской воде за счет выпадений из воздуха и вмержания взвесей. Кроме того, при замерзании морской воды происходит выдавливание солей из льда и формирование более тяжелых вод с повышенной соленостью, которые опускаются на дно и по понижениям рельефа растекаются на большие расстояния, увлекая с собой и возможные загрязняющие вещества.

Судьба этого материала определяется как циркуляцией вод в океане, так и стратификацией океанских вод. Основной приток океанских вод осуществляется из Атлантики через пролив Фрама и Баренцево море, а также из Тихого океана через Берингов пролив. Океанский перенос загрязнителей процесс медленный, может занимать годы и десятилетия.

#### 4.3.2.2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ВЫПАДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В АЗРФ

Детальные исследования процессов аэротехногенного загрязнения воздушной среды тяжелыми металлами проводились преимущественно в западном секторе, охватывающем Баренцево и Карское моря (Голубева, 1997), а также в пределах Кольского региона (Калабин, 2000), где функционируют медно-никелевые плавильные производства. Данные по Норильскому региону более ограничены. В.П.Шевченко выполнены исследования и оценки, характеризующие содержание аэрозольных веществ в приземном и приземном пространстве АЗРФ, а также в содержание металлов с снежным покрове (Шевченко, 2006; Шевченко и др., 2009).

##### 4.3.2.2.1. Концентрации тяжелых металлов в атмосферном воздухе

В целом, для АЗРФ характерны низкие концентрации металлов в воздухе, за исключением Норильского и Кольского региона, которые связаны с выбросами медно-никелевых производств. В таблице 4.3.2.9 приведены концентрации металлов в воздухе ряда арктических регионов по оценкам различных авторов. Концентрации Pb и Cd составляют 0.01 – 0.05нг/м<sup>3</sup>, повышаются в 2 раза над архипелагом Северная Земля, над о-вом Врангеля повышается концентрация свинца, что может являться следствием глобального обогащения северной хемосферы этим элементом (Norton, 1990). В историческом срезе концентрации Pb и Cd в атмосферном воздухе в районе Баренцева моря (арх. Шпицберген) снизились за период 1983-2001 гг.: концентрации Pb более чем на порядок, Cd - примерно в два раза. По-видимому, снижение концентраций связано главным образом с уменьшением объемов антропогенной эмиссии этих металлов в глобальном масштабе (Голубева, 2007).

Загрязнение атмосферы аэрозолями ТМ над Баренцевым морем формируется в результате дальнего переноса и с участием региональных источников выбросов. На Кольском п-ове значительная часть ТМ поступает в атмосферу в твердом дисперсном состоянии в составе неполно окисленных сульфидов металлов, которые разрушаются с образованием тонкодисперсных аэрозолей (Дончева, 1975), и, следовательно, вовлекаются воздушными потоками в процесс дальнего переноса. Доля аэрозолей ТМ, выпадающих в радиусе до 10 км от источника, может составлять от 10 до 30% (Бобовникова и др., 1986).

В воздушных массах, прошедших север Норвегии, западные и центральные районы Баренцева моря (таблица 4.3.2.10, зоны 1, 2, 6), уровни концентраций Cd, Pb, Cu, Ni, Co и Fe низкие. Концентрации Cu и Ni заметно возрастали в морском воздухе, когда ее траектория в течение суток проходила над Кольским п-овом, и снижалась по мере продвижения на север в Баренцево море (зоны 3- 5). В воздушных массах, пришедших из континентов Баренцева моря, также возрастала концентрация Fe.

Таблица 4.3.2.10. Концентрация тяжелых металлов в атмосферном воздухе над акваторией Баренцева, нг/м<sup>3</sup>, июль 2001 г.: 3-5 зоны влияния континентальных воздушных масс; 1, 2, 6 –зоны влияния западных воздушных масс из Норвегии (данные Голубевой, 2007).

	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Fe	
1	0,024		0,11	31,0	4,0	0,37	0,20	0,39	25,9
2	0,017		0,19	16,0	2,9	0,13	0,36	0,25	15,5
3	0,032		0,27	13,0	5,2	0,19	0,07	0,45	43,0
4	0,029	0,06	24,0	4,9	0,17	0,15	0,37		82,0

5	0,026	0,10	47,0	1,8	0,85	0,30	0,14	58,0
6	0,010	0,07	12,0	0,34	0,12	0,064	0,28	17,3
Средн.	0,023	0,13	24	3,8	0,3	0,19	0,31	40

Таким образом, несмотря на близость металлургического комплекса по производству Cu, Ni, Co, содержание ТМ в нижнем слое атмосферы в регионе Баренцева моря остается для большинства элементов в характерных для арктических широт пределах.

**Ртуть в атмосфере Арктики.** Ртуть является глобальным антропогенным, летучим загрязнителем атмосферы. Учитывая высокую значимость оценок последствий загрязнения арктических регионов ртутью, более подробно остановимся на загрязнении атмосферного воздуха этим элементом. С воздушными массами ртуть переносится в высокие арктические широты. Здесь, в отличие от других районов планеты, проявляются арктические особенности ее поведения в атмосфере.

Широкие исследования процессов загрязнения атмосферы ртутью в арктических районах начались в последние два десятилетия, когда появилась аналитическая аппаратура, позволившая с достаточной точностью измерять крайне низкие концентрации ртути в атмосферном воздухе и осадках. Систематические измерения начались на станциях мониторинга, расположенных на Аляске, в Канадской Арктике, на севере Гренландии, на арх. Шпицберген, на севере Финляндии. Полученные фактические данные выявили ряд закономерностей поведения ртути в атмосфере, характерных для арктических районов и обусловленных, в частности, режимом солнечной радиации в Арктике. В таблице 4.3.2.11. приведены концентрации ртути в атмосферном воздухе в различных регионах Арктики (Голубева, 2007).

По данным, приведенным в таблице 2.3, в Арктике от Канады до Урала вдали от урбанизированных очагов на суше и в прибрежной зоне устойчиво сохраняется средний уровень концентрации газообразной ртути в атмосферном воздухе 1,5-1,8 нг/м<sup>3</sup>. К востоку от Урала над морской акваторией уровень концентраций снижается почти в два раза. В полярных городах концентрации выше. В Мурманске в весенний период («ртутная разгрузка») средний уровень концентраций (2,2 нг/м<sup>3</sup>) остается выше «среднего арктического» в 1,5 раза, в зимний период концентрации могут быть значительно выше.

Над морями АЗРФ в пограничном с морской поверхностью слое воздуха концентрации ртути ниже, чем над сушей. Средний уровень концентраций ртути в Баренцевом и Карском морях составляет 0,76 нг/м<sup>3</sup>, снижаясь до 0,32 нг/м<sup>3</sup> в восточном направлении. В акватории Баренцева моря заметно снижение концентраций от прибрежных к центральным районам.

В АЗРФ так же, как на арх. Шпицберген, в арктических районах Финляндии, Канады, в Гренландии, на Аляске в весенний период происходят значительные флуктуации концентраций. Вариабельность (отношение максимального и минимального значений) суточных концентраций над сушей достигает 11. Над морскими акваториями - 2-3, при этом следует отметить, что значения концентраций осреднялись во времени и пространстве за 3-4 суток. Минимальные концентрации ртути, так же как и в других регионах Арктики, наблюдались при усилении ветра до 15-17 м/с (Голубева, 2007). Таким образом, несмотря на наличие на Кольском п-ове крупного промышленного узла, степень загрязнения атмосферного воздуха ртутью района Баренцева моря адекватна другим арктическим районам планеты.

В отличие от других районов планеты в арктических широтах наблюдается четкая цикличность в повторяемости случаев чрезвычайно сильного снижения концентраций газообразной ртути в атмосферном воздухе, совпадающая по времени с выходом солнца из-за горизонта по окончании полярной ночи. Этот феномен назван «ртутной разгрузкой». Случаи чрезвычайно низких концентраций систематически наблюдаются в течение всего

периода полярного дня (Brooks et al., 2002b);). Снижение концентрации элементарной ртути сопровождается ростом аэрозольной составляющей. Предполагается, что в этот период элементарная ртуть в результате фотохимических процессов превращается в менее летучую реакционноспособную двухвалентную форму, которая ассоциирует с аэрозольными частицами. В этом процессе принимает участие озон, о чем свидетельствует тесная корреляционная связь концентраций этих двух веществ. На Аляске, например, концентрация реакционноспособной ртути поднималась до  $1 \text{ нг/ м}^3$ , концентрация аэрозольной - порядка  $0,3 \text{ нг/ м}^3$  - удерживалась в течение 40 дней после выхода солнца из-за горизонта (Brooks et al., 2002 a). Таким образом, ртуть участвует в сложных фотохимических атмосферных процессах, благодаря которым изменяется соотношение ее форм (элементарная-реакционноспособная-аэрозольная) (AMAP assessment, 2002). С атмосферными осадками и без них ртуть поступает на подстилающую поверхность и далее в биоту.

В период таяния снежного покрова происходит высвобождение элементарной ртути и возникает поток из снежного покрова вверх с концентрацией до  $20 \text{ нг/м}^3$  (Brooks et al., 2002a). Как показали градиентные измерения в трещинах снежного покрова и над ним, после периода «разгрузки», концентрации газообразной ртути у поверхности значительно выше, чем в его глубине. Поток ртути из снежного покрова в атмосферу связывается с переходом выпавших из атмосферы форм ртути вновь в элементарную форму за счет фотохимических процессов (Brooks et al., 2002b). Закономерности поведения ртути в атмосфере Арктики нашли подтверждение на Шпицбергене (Berg et al., 2002) и в АЗРФ (эпизод измерений в Амдерме) (Steffen, Schroeder, 2002). Широкий географический спектр арктических районов, в которых наблюдались идентичные закономерности в поведении ртути в атмосфере, свидетельствует о том, что эти закономерности характеризуют процессы, происходящие в масштабе всей Арктики.

#### 4.3.2.2. Тяжелые металлы в атмосферных осадках

Детальные исследования последнего десятилетия влажных выпадений ТМ были проведены на Мончегорском полигоне Кольского Севера (Даувальтер и др., 2009), а также на станции Дальние Зеленцы в период 2001-2002гг., которые дали понимание потокам металлов на подстилающую поверхность в прибрежных регионах Баренцева моря (Голубева, 2007). Результаты этих наблюдений за концентрацией тяжелых металлов в атмосферных осадках, в отсутствие на Кольском п-ове стационарной станции мониторинга фоновое загрязнения природной среды, могут использоваться в качестве характеристики современного состояния загрязнения атмосферы ТМ над акваторией Баренцева моря, а также в качестве показателей оценки ТМ в арктических регионах.

**Мончегорский полигон.** ОАО «Комбинат «Североникель» перерабатывает полиметаллические руды, поэтому в атмосферных осадках содержится достаточно большой спектр тяжелых металлов. В последних исследованиях В.А. Даувальтера и др. (2009) даны характеристики содержания большого спектра металлов в дождевых водах на 6 станциях, расположенных на различном удалении от комбината. Выделены металлы – Ni, Cu, Zn, Cr и Co, содержание которых связано преимущественно с выбросами комбината, а также группа металлов – Cd, Pb и As, содержание которых в последние годы неуклонно возрастает в окружающей среде (табл.4.3.2.12.).

Таблица 4.3.2.12. Минимальное и максимальное (числитель) и среднее (знаменатель) содержание микрокомпонентов (мкг/л) в дождевой воде площадок Мончегорского полигона (Даувальтер и др., 2009).

Расстояние от источника	Ni	Cu	Co	Zn	Pb	Cr	As
-------------------------	----	----	----	----	----	----	----

загрязнения							
<5км	<u>2-14</u> 8	<u>0.3-42</u> 16.5	<u>0.5-4.0</u> 1.3	<u>1.7-164</u> 47.5	<u>0.5-18</u> 4.4	<u>0.5-5.9</u> 2.0	<u>0.25-3.0</u> 1.1
10-11 км	<u>19-81</u> 51	<u>0.3-90</u> 35.7	<u>0.5-13</u> 3.5	<u>1.8-89</u> 42.2	<u>0.5-32</u> 7.4	<u>0.5-3</u> 1.8	<u>0.3-3.4</u> 1.54
14-15 км	<u>1-211</u> 78	<u>0.3-130</u> 47.1	<u>1-22</u> 6.5	<u>2.6-45</u> 22.2	<u>0.5-7</u> 3.0	<u>0.5-3</u> 1.4	<u>1.3-5.8</u> 2.0
16-17 км	<u>2-81</u> 44	<u>0.3-118</u> 40.1	<u>0.5-12</u> 3.3	<u>0.5-170</u> 50.9	<u>0.5-10</u> 4.0	<u>0.5-3.1</u> 1.4	<u>0.3-2.5</u> 1.6
19-20 км	<u>28-59</u> 37	<u>0.3-94</u> 43.9	<u>0.5-12</u> 3.0	<u>3-55</u> 28.6	<u>0.5-13</u> 4.1	<u>0.5-56</u> 13.0	<u>0.3-2.8</u> 1.5
25 км	<u>7-43</u> 31	<u>0.3-145</u> 41.9	<u>0.5-20</u> 6.9	<u>0.5-32</u> 12.6	<u>0.5-7</u> 2.8	<u>1-3</u> 1.9	<u>0.3-8.5</u> 3.2
Расстояние от источника загрязнения	<b>Ti</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Ag</b>	<b>Mn</b>	<b>V</b>
<5км	<u>1.5-8</u> 4.1	<u>0.5-10</u> 3.4	<u>0.5-3</u> 2.1	<u>0.03-0.28</u> 0.12	<u>0.03-2.15</u> 0.48	<u>6.4-28.6</u> 12.7	<u>3-25</u> 10.8
10-11 км	<u>1.5-14</u> 6.0	<u>3.2-5</u> 4.1	<u>0.5-4</u> 1.5	<u>0.03-0.62</u> 0.25	<u>0.03-2.92</u> 0.64	<u>1.9-14.8</u> 6.8	<u>3-19</u> 14.3
14-15 км	<u>3-11</u> 6.0	<u>0.5-11</u> 4.5	<u>0.5-3</u> 1.5	<u>0.03-0.72</u> 0.26	<u>0.03-1.41</u> 0.37	<u>3.3-9.5</u> 6.6	<u>8-18</u> 13.7
16-17 км	<u>1.5-13</u> 7.1	<u>0.5-13</u> 5.8	<u>0.5-4</u> 1.5	<u>0.07-0.36</u> 0.26	<u>0.03-1.92</u> 0.45	<u>2.4-14.4</u> 5.4	<u>11-17</u> 14.8
19-20 км	<u>1.5-22</u> 9.1	<u>0.5-7</u> 4.9	<u>0.5-3</u> 1.4	<u>0.03-0.37</u> 0.20	<u>0.03-2.4</u> 0.53	<u>4.6-47.9</u> 16.4	<u>1-26</u> 10.5
25 км	<u>3-3</u> 3.0	<u>0.5-6</u> 3.1	<u>0.5-2</u> 1.0	<u>0.03-0.29</u> 0.19	<u>0.03-3.35</u> 0.86	<u>5.5-13.1</u> 9.6	<u>11-28</u> 17.0

Концентрации *никеля* в атмосферных осадках Мончегорского полигона находятся в пределах 1.0-211 мкг/л, среднее значение - 44.3 мкг/л (табл. 2.4), что в 4.5 раза больше, чем предельно допустимая концентрация Ni (10 мкг/л) для воды рыбохозяйственных водоемов (ПДК<sub>рГТ</sub>), и почти в 35 раз больше, чем в атмосферных выпадениях лесной северо-восточной части штата Миннесота, США (1.3 мкг/л) (Василенко и др., 1985). По исследованиям Н.Е. Раткина (2001) установлено, что концентрация Ni в снежном покрове в зоне влияния ОАО "Комбината "Североникель" в 1990 г. находилась в диапазоне от 60 до 25300 мкг/л, т.е. были значительно больше концентраций, определенных Даувальтером и др. (2009). Снижение уровня загрязнения дождевых вод объясняется сокращением выбросов комбината.

Другой приоритетный загрязняющий микроэлемент в составе атмосферных выбросов ОАО "Комбината "Североникель" - *медь*. Концентрации Cu в атмосферных осадках Мончегорского полигона находятся в пределах 0.25-145 мкг/л, среднее значение - 47 мкг/л (Даувальтер и др., 2009), что на порядок выше, чем в атмосферных выпадениях лесной северо-восточной части штата Миннесота, США (3.5 мкг/л) (Василенко и др., 1985). По исследованиям Н.Е. Раткина (2001) установлено, что концентрация Cu в снежном покрове в зоне влияния комбината в 1990 г. находилась в диапазоне от 40 до 19200 мкг/л, что значительно больше концентраций, определенных в более поздних исследованиях. *Кобальт* — также является элементом загрязнения. В атмосферных осадках Мончегорского полигона концентрации Co значительно ниже, чем описанных выше тяжелых металлов (Ni и Cu), что связано, в первую очередь, с объемом атмосферных выбросов, и находятся в пределах 0.5-22 мкг/л, среднее значение - 6.2 мкг/л,

что меньше ПДК<sub>рбхз</sub> (10 мкг/л). Содержание *цинка* - сравнимо с содержанием Ni и Cu (табл. 2.4), что может быть связано не столько с соразмеримым количеством выбросов комбината, сколько, в первую очередь, с большей растворимостью этого элемента по сравнению с Ni и Cu. Концентрации Zn в атмосферных осадках Мончегорского полигона находятся в диапазоне от 0.5 до 170 мкг/л (среднее значение - 42.7 мкг/л). В состав полиметаллической руды, перерабатываемой ОАО "Комбинатом "Североникель", в повышенных концентрациях входит также и *хром*, поэтому разумно ожидать увеличения концентраций этого тяжелого металла в атмосферных осадках Мончегорского полигона. Концентрации Cr в них находятся в диапазоне от 0.5 до 56 мкг/л, среднее значение составляет 5.5 мкг/л, что почти в 40 раз больше, чем содержание Cr в атмосферных выпадениях лесной северо-восточной части штата Миннесота, США (0.15 мкг/л)

В последние десятилетия *свинец* становится все более значимым элементом загрязнения окружающей среды вследствие его чрезвычайной токсичности и все увеличивающимися атмосферными выбросами этого тяжелого металла в составе компонентов после сжигания углей, нефтепродуктов, применения тетраэтилсвинца в качестве антидетонационной добавки к бензину. Pb встречается в повышенных содержаниях практически во всех звеньях окружающей среды на значительных расстояниях от промышленных центров. Максимальные концентрации Pb в атмосферных осадках Мончегорского полигона зафиксированы в сентябре 2002 г. Наибольшее значение 32 мкг/л отмечено на станции 2. Концентрации Pb находятся в диапазоне от 0.5 до 32 мкг/л (среднее значение — 6.4 мкг/л и сравнимо с содержанием Pb в атмосферных выпадениях лесной северо-восточной части штата Миннесота, США (7.1 мкг/л) (Василенко и др., 1985). *Кадмий* становится также одним из наиболее значимых элементов глобального загрязнения. Это чрезвычайно токсичный тяжелый металл даже в очень малых концентрациях. Содержание Cd в атмосферных осадках Мончегорского полигона находится в пределах от 0.025 до 0.72 мкг/л, среднее значение - 0.23 мкг/л, что сравнимо с содержанием Cd в атмосферных выпадениях лесной северо-восточной части штата Миннесота, США (0.15 мкг/л). *Мышьяк*, как и последние два описанных выше микроэлемента, также причислен к ряду глобальных элементов загрязнения. Он очень токсичен, способен мигрировать в атмосфере на значительные расстояния и оказывать отрицательное влияние на жизнедеятельность организмов. Содержание As в дождевых водах Мончегорского полигона находится в диапазоне от 0.25-8.5 мкг/л, среднее значение (2.1 мкг/л) на порядок меньше ПДК<sub>рбхз</sub> (50 мкг/л).

**Полигон Дальние Зеленцы.** Согласно последним данным Голубевой (2007) средние за годовой период концентрации тяжелых металлов в осадках на Мурманском берегу устойчивы (п. Дальние Зеленцы) во времени и характеризуют значительную часть побережья Баренцева моря. Это подтверждается тем, что концентрации, средние взвешенные по сумме осадков за весь период наблюдений (19 мес.) и за годовой период совпадают в разумных пределах (табл. 4.3.2.13). По элементам Pb, Cd и Hg хорошо согласуются с оценками, полученными в 2000 г. на норвежских станциях мониторинга Svanvik и Karasjok, расположенных на широтах Кольского п-ова, и шведской станции Vredkalen, расположенной южнее. Исходя из сравнения полученных данных с данными по станции Краснощелье, за последние 15 лет произошло сильное снижение концентраций основных загрязняющих веществ для Кольского п-ова техногенных ТМ: Ni - более чем в 60 раз, а Cu почти в 5 раз.

Детальное рассмотрение месячных концентраций показывает значительную изменчивость этой величины. В годовом цикле перепад концентраций от минимума к максимуму для большинства элементов составляет один - два порядка, а для Cd возрастает до трех порядков. Концентрации возрастают, когда месячная сумма осадков < 20 мм, а их выпадение чередуется с длительными сухими промежутками. Росту концентраций также способствует усиление конвекции, как это происходит в случае осадков - «зарядов». (Голубева, 2007)

Максимальные концентрации микроэлементов, связанных с атмосферными аэрозолями, наблюдаются весной и летом. Максимумы Cd, Ni и Zn - в апреле, когда природный источник атмосферных аэрозолей - почвенный покров Кольского п-ова - покрыт полностью снегом и влияние выветривания почв на содержание микроэлементов в осадках исключается. Максимумы Pb и Cu наблюдаются в июне-июле, когда подстилающая поверхность свободна от снежного покрова и терригенные аэрозоли могут присутствовать в осадках. Несмотря на значительные колебания среднемесячных концентраций, годовая динамика сезонных изменений имеет более определенную тенденцию, которая характеризуется для большинства элементов зимним минимумом и летним максимумом (Голубева, 2007).

Таблица 4.3.2.13. Концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках (дожди) в Дальних Зеленцах, мкг/дм<sup>3</sup> (Голубева, 2007).

Значения концентраций	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Hg
<b>Дальние Зеленцы, апрель 2001 г. - сентябрь 2002 г.</b>							
Минимальные *	0.48	0.004	1.5	18	0.34	0.25	0.002
Максимальные*	6.7	0.45	11.5	98	6.0	5.4	0.029
Средние взвешенные по сумме осадков	1.5	0.042	5.8	35	1.2	1.3	0.011
Средние взвешенные по сумме осадков за годовой период	1.7	0.038	4.9	25	0.71	0.62	0.006
<b>Изменения по сезонам</b>							
Зима	1.4	0.031	5.7	24	0.5	0.38	0.006
Весна	1.2	0.044	3.7	38	2.0	1.1	0.017
Лето	2.1	0.044	9.5	36	2.5	1.3	0.013
Осень	1.6	0.019	3.3	49	0.68	1.9	0.007
Лето/зима	1.5	1.4	1.7	1.5	5.0	3.4	2.21

Концентрация ртути в мокрых выпадениях весной резко увеличивается, то объясняется вымыванием реакционноспособной и аэрозольной форм ртути из атмосферы. После периода «ртутной разгрузки» концентрация ртути в атмосферных осадках возрастает, в Канадской Арктике, например, в 3 раза (Steffen, Schroeder, 2002), а в 2000 г. наблюдалось повышение в 20 раз (Steffen et al., 2002).

#### 4.3.2.2.3. Тяжелые металлы в аэрозолях

Как известно, химический состав, так же как и минеральный - один из важнейших маркеров происхождения аэрозолей и характеризуется значительной пространственной и временной изменчивостью. В табл. 4.3.2.14. представлены результаты исследований Шевченко и др. (2009) элементного состава аэрозолей Арктики в пробах, отобранных методом фильтрации. При этом изучался состав частиц крупнее 0,5 мкм.

В летний период содержание большинства химических элементов в аэрозолях АЗРФ соответствует уровню, отмеченному в других районах Арктики. Катастрофического повышения содержания химических элементов (в том числе тяжелых металлов и других антропогенных элементов) в аэрозолях Арктики в летний и осенний периоды не

обнаружено. При этом подчеркнем, что эти значения в летний период на один-два порядка ниже, чем обычно наблюдаемые в Арктике в конце зимы - начале весны. Исключение составляют районы, близкие к локальным источникам загрязнения (Норильск, Кольский п-ов). Отметим также, что большая часть антропогенных микроэлементов сосредоточена на субмикронных аэрозольных частицах, составляющих 53-79% для V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, что свидетельствует об их дальнем переносе.

Эти исследования элементного состава арктических аэрозолей позволили выявить следующие закономерности их пространственного распределения в АЗРФ.

Аэрозоли состоят из растворимых и нерастворимых частиц, соотношение и состав которых характеризуются значительной пространственной и временной изменчивостью.

Терригенный компонент нерастворимой фракции в среднем составляет около 1/3 массы, тогда как на биогенную часть приходится около 2/3.

Основной (по массе) компонент нерастворимого аэрозоля Арктики - это углерод, составляющий  $30,2 \pm 12,5\%$ . Отношение сажевого (поглощающего свет) углерода к общему углероду близко к значению, свойственному аэрозолю промышленно развитых территорий, что свидетельствует о том, что сажа в Арктику поступает от антропогенных источников или с территорий пожаров.

В целом содержание большинства терригенных химических элементов (Na, Al, K, Ca, Sc, Fe, Co, Rb, Zr, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, Th, U) в нерастворимой фракции арктических аэрозолей ниже средних значений, характерных для земной коры. Содержание Cr, Cu, Zn, As, Se, Br, Ag, Sb, Ai, Pb значительно выше их средних значений для земной коры, что свидетельствует о преимущественно антропогенном происхождении этих элементов в аэрозоле Арктики. Наиболее существенные источники загрязнения аэрозолями АЗРФ - ближайшие горно-металлургические комбинаты Норильска, Кольского п-ова, а также лесные пожары; зимой важным фактором является дальний перенос вещества из среднеширотных районов материков.

#### 4.3.2.2.4. Тяжелые металлы в снежном покрове

Более детальную картину территориального распределения металлов в Арктике дает информация о содержании их в снежном покрове. Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором состояния экосистемы в силу следующих причин (Шевченко, 2006; Шевченко и др., 2009):

1. Снег вымывает из атмосферы твердые (аэрозоли) и растворенные вещества (влаги и все виды загрязнений).

2. В отличие от дождя, который уходит в почву или стекает с поверхности льдов, снег сохраняется на поверхности почвы и дрейфующих льдов, таким образом, фиксируя все атмосферные выпадения за снежный период года - в Арктике для большей части года, а севернее 80° с.ш. - практически для всего года.

3. Осадочное вещество снега (жидкое и растворенное) характеризует зимнюю атмосферу, когда окружающая суша покрыта слоем снега, а реки и моря - льдом, т.е. поступление аэрозольного минерального вещества и солей из водосбора и с поверхности моря отсутствует или минимально. Главное значение поэтому приобретает вещество дальнего (тысячи км) и сверхдальнего переноса (>10тыс. км).

4. В Арктике при отборе всей толщи накопившегося снега (с первого снегопада и до времени отбора) с поверхности льда можно определить скорость его накопления на единицу поверхности, т.е. количественную и качественную характеристику поступления эолового материала на поверхность льдов в морях (Шевченко, 2006).

**Норильский регион.** Атмосферные промышленные выбросы являются основным источником загрязнения природной среды Норильского промышленного района. Загрязнение снежного покрова пылью приводит к изменению его альбедо и яркостных

характеристик, в результате чего ореолы загрязнения достаточно четко фиксируются на космических снимках.

Проведенные В.М. Игамбердиевым и др.(1994) исследования показали, что зона наивысшего загрязнения снега располагается в пределах 2-3 км от источника (рис. 4.3.2.6.) и зависит от высоты выбросов из труб металлургического завода. На расстоянии 2 км от медеплавильного завода концентрация нерастворимых частиц в снеге составляла 2925 мг/л и по мере удаления от источника резко уменьшалась, хотя и на расстоянии 16 км оставалась очень высокой (175 мг/л), значительно превышая фоновые значения.

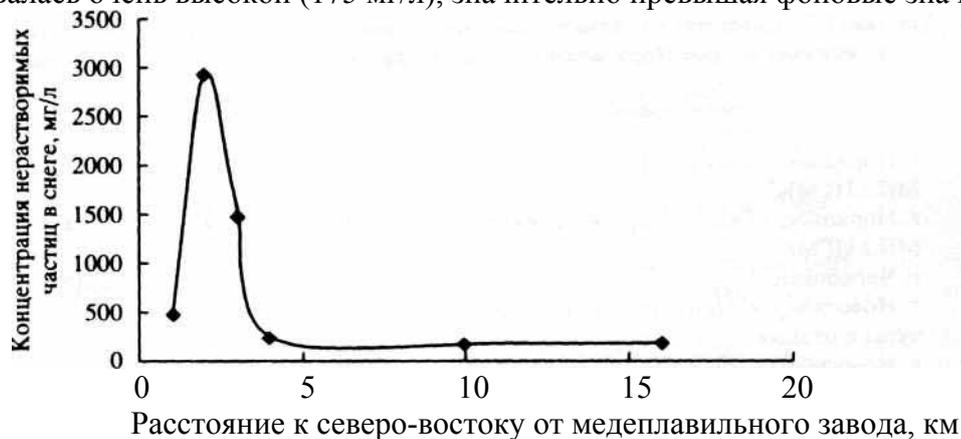


Рис. 4.3.2.6. Зависимость концентрации нерастворимых частиц в снежном покрове Норильского региона от расстояния к северо-востоку от медеплавильного завода (Игамбердиев и др., 1994)

Химический состав твердого осадка в 2-км зоне характеризуется высоким содержанием таких тяжелых металлов (мкг/г), как железо - 66190, медь - 2530, никель - 1300, марганец - 489, хром - 118, цинк - 68, свинец - 28, кадмий - 0.77. По мере удаления от источника выбросов (16 км к северу от Норильска) в твердом осадке снеговой воды быстро убывает содержание элементов (мкг/г): Cr - 23, Mn - 23, Fe - 6114, Ni - 257 и Cu - 543, незначительно снижается содержание Zn (45.7), однако при этом возрастает содержание Cd (1.14) и Pb (52).

В снеге Норильска и его окрестностях отмечены аномально высокие концентрации тяжелых металлов и в талой фильтрованной воде. Сравнение данных средних значений концентраций тяжелых металлов Норильского региона с данными по другим импактным и фоновым районам представлено в табл. 4.3.2.15. В непосредственной близости от промышленных зон концентрации Cu в фильтрованной талой снеговой воде составляют от 105 до 171 мкг/л, Ni - от 43 до 138 мкг/л, Co - от 1,5 до 20 мкг/л, Cr - от 0,2 до 6,2 мкг/л, Pb - от 0,8 до 37 мкг/л, Cd - от 0,64 до 3,55 мкг/л (Евсеев, Красовская, 1996). Резкое уменьшение концентраций этих элементов в снеге по мере удаления от промышленных зон указывает на местное обогащение снежного покрова целым рядом компонентов. Коэффициенты корреляции между большинством элементов высокие, значимые даже на 1%-м уровне значимости. Исключение составляет цинк. Это может свидетельствовать, что основным источником перечисленных выше химических элементов является промышленность Норильского региона, в то время как для цинка возможно влияние и других источников (например, дальний атмосферный перенос).

**Промышленные районы Северо-Востока Европейской части России.** Для промышленности Северо-Востока Европейской части России главным является добыча угля, нефти, газа. Основной центр угледобывающей промышленности в этом районе - г. Воркута. Переработка нефти и газа производится на Ухтинском нефтеперерабатывающем заводе, газа - в г. Сосногорск. Аэрозольные выпадения в зимний период четко фиксируются снежным покровом, сохраняющимся в данном регионе в течение примерно 8 месяцев.

Исследование снежного покрова на разрезах, проходящих через города Инта, Воркута и Усинск в марте-апреле 1998 и 1999 гг. показало, что концентрация нерастворимых частиц в них составляет в среднем 46, 37 и 13 мг/л соответственно. На удалении более 30 км от Инты и Воркуты концентрация взвеси в снежном покрове снижается в несколько раз и выходит на фоновый уровень, тогда как в Усинске она находится на фоновом уровне. Связано это с тем, что основным компонентом взвеси в снеге Инты и Воркуты является пепел (зола), образующийся при сжигании угля на местных ТЭЦ. Важным компонентом взвеси в Воркуте является также цементная пыль, выбрасываемая в воздух местным цементным заводом. В Усинске в качестве топлива на ТЭЦ используется природный газ, что резко снижает загрязнение окружающей среды (Шевченко, 2006)

На разрезах, проходящих через Воркуту и Инту (в самих городах и их окрестностях) были отмечены высокие концентрации As, Ba, Mn и Sr в растворенной фазе талой снеговой воды. В Воркуте дополнительно были зарегистрированы аномальные концентрации растворенных Ca и K, что может свидетельствовать об основном вкладе пепла ТЭЦ в загрязнение снежного покрова этого города. Концентрации растворенных Cd, Cu, Ni, Pb и Zn находятся на низком фоновом уровне как в рассматриваемых городах, так и на удалении в десятки километров от них (табл.4.3.2.15). Низкие концентрации таких тяжелых металлов, как Си, Ni, Pb и Zn в растворенной фазе талой снеговой воды в промышленных центрах Северо-Востока Европейской части России, по-видимому, связаны с их сорбцией на щелочном пепле, так как их концентрации в нерастворимой фазе имеют четко выраженные городские максимумы.

Особую роль на Северо-Востоке Европейской части России играет производство геологоразведочных работ по поиску нефти и газа и освоение новых месторождений (Евсеев, Красовская, 1996). Эта форма воздействия на местные геосистемы имеет пока ограниченные масштабы и локальный характер, однако, уже влияет на геохимический фон ряда районов. Изучение снежного покрова вблизи буровых (до 500 м) показало увеличение концентрации в снеге нерастворимых частиц и тяжелых металлов. Большая часть атмосферных выбросов загрязняющих веществ связана с работой транспорта и дизельных установок.

**Район Архангельска.** Исследование загрязнения снежного покрова Архангельска проводилось сотрудниками Росгидромета. Проведенный О.А. Лобановой и др. (2001) анализ данных Архангельской и Северодвинской метеостанций показал, что в снеге при одной и той же интенсивности осадков сульфатов и нитратов содержится больше, чем в дождевой воде.

Распределение нерастворимых частиц в снежном покрове на льду в устьевой зоне р. Северная Двина было изучено в 2005 г (Шевченко, 2006). Исследования охватывали район от г. Новодвинск до о-ва Мудьюгский в Двинском заливе Белого моря. Показано, что концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове на льду реки на большей части исследованных станций варьировала от 2,73 до 22,7 мг/л. Наиболее низкие концентрации частиц зарегистрированы в снеге районов, находящихся вдали от антропогенных источников, расположенных около юго-восточного берега о. Кумбыш (от 2,73 до 4,07 мг/л). Среднее значение концентрации нерастворимых частиц в снежном покрове устьевой зоны р. Северная Двина во второй половине марта 2005 г. для 20 проб (за исключением двух аномальных) составляло 9,54 мг/л (при стандартном отклонении 5,5 мг/л). Эти значения в несколько раз превышают фоновые для снежного покрова Арктики, но близки к данным для городов со средней степенью загрязнения атмосферы.

Аномально высокие концентрации нерастворимых частиц в снеге были обнаружены около ТЭЦ (76,7 мг/л) и в районе Новодвинска (8800 мг/л), что несомненно свидетельствует о сильном локальном загрязнении. Золошлаки тонкозернисты и имеют низкую плотность, поэтому легко поднимаются ветром в воздух и переносятся на расстояние в несколько километров. Зола ТЭС представляет собой источник экологической опасности, так как содержит ряд токсичных элементов и соединений, как было рассмотрено в разделе 4.3.2.1.

Например, зола Северодвинской ТЭЦ-1 обогащена кадмием и мышьяком (Шевченко, 2006).

**Кольский полуостров и прилегающие к нему районы.** Большая часть территории Кольского полуострова расположена за полярным кругом, что обуславливает наличие снежного покрова в течение 180-220 дней в году. Наиболее загрязнен снежный покров в окрестностях центров цветной металлургии и переработки апатито-нефелинового сырья и крупных городов. Концентрации химических элементов в фильтрованной воде в пробах снега в ряде регионов Кольского п-ова представлены в таблице 4.3.2.15. Проведенные исследования показали, что снежный покров Кольского полуострова испытывает повышенные антропогенные нагрузки, в нем накапливаются и перераспределяются токсичные химические соединения и элементы, впоследствии влияющие и на другие геосистемы полуострова.

Концентрации ТМ в снежном покрове на территории Кольского п-ова, по данным Голубевой (2007), во всех опробованных районах береговой зоны существенно выше, чем в атмосферных осадках, включая район с минимальным суммарным коэффициентом накопления - Дальние Зеленцы (табл. 4.3.2.16). Это означает, что на Кольском п-ове с его промышленным узлом и отсутствием дефицита в годовой сумме осадков даже на побережье Баренцева моря «сухие» выпадения в холодное полугодие играют определяющую роль в загрязнении подстилающей поверхности всеми рассматриваемыми элементами, кроме Cu и Cr.

Таблица 4.3.2.16. Концентрации тяжелых металлов в снежном покрове и атмосферных осадках в Дальних Зеленцах, мкг/дм<sup>3</sup> (Голубева, 2007)

<b>Pb</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Hg</b>
Осадки, средние взвешенные за период залегания снежного покрова						
1.2	0.037	5.3	25.0	0.54	0.41	0.008
Снежный покров						
4.3	0.34	8.4	98	17.4	0.49	0.025
Снежный покров/осадки						
3.6	9.2	1.6	3.9	32.2	1.2	3.1
Доля «сухих» выпадений, %						
72	89	36	74	97	16	68

Процесс распространения и «сухого» выпадения антропогенных аэрозолей в регионе расположения источников эмиссии в значительной степени зависит от ветрового режима, характерного для данной территории. Значительная часть территории Кольского п-ова имеет сильно расчлененный горными хребтами рельеф, который определяет режим приземного ветра. Неровности рельефа при наличии ветра, обусловленного общециркуляционными причинами, приводят к перетеканию воздуха через возвышенности, обтеканию их с боков и ослаблению скорости или затишью в защищенных от ветра местах. Создаются условия для повышенных скоростей ветра на выпуклых и ослабления скоростей ветра на вогнутых формах рельефа. Такой характер перемещения приземного воздуха влияет и на пространственное распределение массы выпадающего из атмосферы на подстилающую поверхность аэрозоля. Пространственное распределение концентраций микроэлементов в снежном покрове Кольского региона отражено в таблице 4.3.2.17.

Голубева (2007) выделяет три группы элементов, имеющих повышенные содержания в снежном покрове. В первую группу входят основные элементы загрязнения для выбросов промышленного узла Кольского п-ова - Cu, Ni и к ним примыкает Zn, элемент,

всегда присутствующий в выбросах цветной металлургии, но в меньших количествах. Перепад значений концентраций этих элементов на Мурманском берегу составляет 5-10 раз, т.е. пространственное распределение имеет явно выраженный пятнистый характер, связанный с особенностями ветрового режима в условиях расчленённости рельефа.

Вторая группа включает наиболее опасные элементы Pb, Cd и Hg. Их пространственное распределение относительно равномерно. Перепад концентраций составляет не более 2,5. Третья группа включает элементы, концентрации которых в районе Кандалакши, где размещается алюминиевое производство, выше, чем на Мурманском берегу, или сопоставимы. Это Cr и Cd, которые, по-видимому, сопутствуют выбросам металлургии А1.

В целом на северном побережье Кольского п-ова концентрации Cu, Zn, Ni и Cr убывают от Печенги к Дальним Зеленцам. Максимальные концентрации Cu и Zn - в районе Печенги, Ni - в районе Ура-губы.

Из сравнения концентраций Cu и Ni, измеренных в 1979, 1983 гг., с современными оценками видно явное снижение последних. Вместе с тем содержание Pb, Cu и Ni остается выше, чем в снежном покрове в районе Печорского моря и в других районах Арктики.

Таблица табл.4.3.2.17. Концентрации тяжелых металлов в снежном покрове на Кольском побережье Баренцева моря и в других районах Арктики, мкг/дм<sup>3</sup> (Голубева, 1997)

Район	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	Hg
<b>Кольский п-ов</b>							
Печенга	5.3	0.16	28.0	369	65.3	1.1	0.01
Титовка	8.6	0.14	5.4	54.2	10.0	1.6	0.023
Ура-губа	5.4	0.19	9.9	40.0	116.0	0.40	0.018
Тириберка	5.3	0.34	138.	197	58.5	0.70	0.021
Дальние Зеленцы	4.3	0.34	4.0	98	17.4	0.49	0.025
Кандалакша	4.1	0.38	2.0	120	10.3	2.9	0.017
Краснощелье, 1979-1983 (Крючков, Макарова, 1992)			14	22			
<b>Печорское море, Обская губа</b>							
	0.6	0.37	4.2		9.5	1.2	0.023
<b>Фоновые районы АЗРФ</b>							
	0.2	0.2	2.2		0.6	0.3	0.01

Таким образом, исходя из пространственного распределения элементов в снежном покрове, на Мурманском берегу по таким элементам, как Cu, Zn, Ni, заметно проявляется влияние региональных источников антропогенной эмиссии. Для элементов Pb Cr, Cd и Hg влияние региональных источников невелико.

#### 4.3.2.3. МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ В ИМПАКТНЫХ И ФОНОВЫХ ЗОНАХ.

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ металлургическими комбинатами, горнодобывающими и энергетическими предприятиями, оказывают серьезное воздействие на почвы и наземные экосистемы в пределах промышленных центров Кольского полуострова, Архангельской области, районов гг. Воркуты и Норильска.

Аккумуляторами тяжелых металлов в лесных экосистемах являются почвы. Продолжительность пребывания тяжелых металлов в почве, как правило, превышает продолжительность жизни нескольких поколений растительных организмов - до 1000 лет и более. Вынос этих элементов за пределы почв не превышает 10% от их поступления (Глазовская, 1990).

Пораженные территории вокруг металлургических комбинатов можно разделить на три зоны, границы и очертания которых зависят от местных особенностей атмосферной циркуляции и рельефа.

Первая зона - импактная зона загрязнения распространяется на 10-15 км вокруг Никеля и Мончегорска и на 50 км к югу от Норильска. Аэрозоли тяжелых металлов (ТМ) и ртуть, перемещаясь с воздушными массами в атмосфере в составе оседающей пыли (сухое выпадение), а также твердыми и жидкими осадками (влажное выпадение), попадают на подстилающую поверхность, провоцируя в Арктике осложнение экологической обстановки в наземных экосистемах (Евсеев, Красовская, 1996).

Вблизи комбинатов (техногенная пустошь - 0-10 км.) погибли леса и большая часть растительности, почти отсутствуют позвоночные и беспозвоночные животные, микробиальная активность почв минимальна, почти отсутствует плодородный слой из-за пожаров и эрозии. Резко снижается кормовая база птиц и животных.

Вторая зона размещается в 10 –20 км от Никеля и Мончегорска и в 50 км от Норильска. В этой зоне наблюдается интенсивный опад хвойных древостоев (зона интенсивной дефолиации), замедляется их рост. Нарушается естественный химический и микробиологический состав почв. Кумулятивный эффект негативного воздействия всех загрязняющих веществ на экосистемы до конца еще не выявлен.

Третья зона (условно - фоновая) без видимых негативных изменений во внешней среде распространяется на 80 - 100 км от источника загрязнения. В этой зоне фиксируются первичные изменения в физиологическом функционировании и микроскопической структуре растительных тканей. Особенно чувствительны к воздействию ЗВ хвойные породы деревьев. В третьей зоне они могут выживать, но многолетнее накопление ТМ в их тканях, в конечном счете, может достичь токсического уровня.

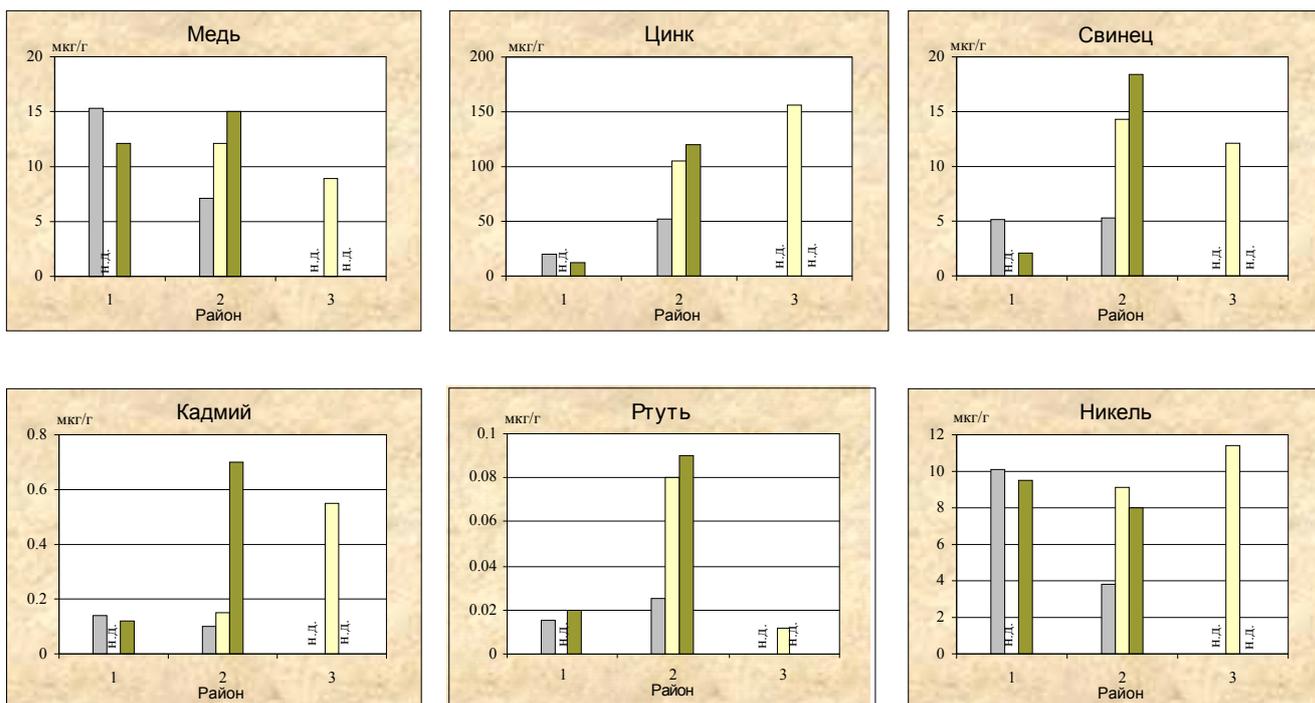
##### 4.3.2.3.1. Металлы в тундровых почвах отдаленных районов Арктики

Химический состав почв в значительной степени определяется составом материнских пород. В Арктике распространены Al-Fe-гумусовыми подзолы, которые характеризуются относительно маломощной толщей, легким гранулометрическим составом, хорошо развитой подстилкой, высоким промывным водным режимом. На рисунке 4.3.2.7. представлены содержания ряда металлов в тундровых почвах Арктического побережья и островов.

**Большеземельская тундра.** Концентрации определявшихся ТМ изменялись в пространстве: для железа - от 1011 до 4245, марганца - от 14.4 до 544, цинка - от 1.2 до 68.9, меди - от 2.8 до 25.3, никеля - от 2.2 до 49.2, кобальта - от 0.9 до 11.1, свинца - от 0.6 до 17.1, кадмия - от 0.03 до 0.34, хрома - от 2.25 до 38.7, олова - от 1.49 до 12.7, ртути - от < 0.01 до 0.07 мкг/г сухого веса. Максимальные концентрации железа, кадмия, ртути зафиксированы в супесчаных почвах; марганца, цинка, меди, никеля, кобальта, свинца, хрома и олова в песчаных

**Западное побережье полуострова Ямал.** Концентрации идентифицированных ТМ находились в пределах: для цинка - от 12.2 до 380, меди - от 6.6 до 54.2, никеля - от 3.5 до 36.1, кобальта - от 2.6 до 12.6, свинца - от 3.5 до 29.8, кадмия - от 0.04 до 3.42, олова - от 0.21 до 3.7, ртути - от 0.05 до 0.46 мкг/г сухого веса. Максимальные концентрации ТМ зафиксированы в супесчаных почвах.

**Восточное побережье Югорского полуострова.** Концентрации идентифицированных ТМ в почвах восточного побережья Югорского полуострова находились в пределах, характерных для материнских пород: в суглинке содержание цинка - от 134 до 180, меди - от 8.6 до 10.1, никеля - от 8.1 до 16.9, кобальта - от 5.8 до 6.3, свинца - от 8.3 до 17.5, кадмия - от 0.43 до 0.87, олова - от 0.65 до 0.80, ртути - от 0.10 до 0.15 мкг/г сухого веса.



### Условные обозначения

Район:

- 1 – Большеземельская тундра
- 2 – Западное побережье полуострова Ямал
- 3 – Восточное побережье Югорского полуострова

- - песок
- - суглинок
- - супесь
- н.д. - нет данных

Рисунок 4.3.2.7. Содержание тяжелых металлов в различных типах почв АЗРФ

**Норвежский архипелаг Шпицберген не входит АЗРФ.** Однако этот регион является достаточно хорошо исследованным полигоном. Содержание и распределение металлов в почвах этого региона, как типичного тундрового региона, может дать понимание распределения элементов в почвах отдаленных тундровых регионов всей Арктики (Табл. 4.3.2.18.). Содержания As, Co, Cr, Fe, Mn, Ni и Pb в почвах фактически на всех точках наблюдений Шпицбергена находятся в пределах кларковых величин (Алексеев и др., 2007). Напротив, концентрация Cd на высотной отметке 40 м

побережья Вейде-фьорда превышает кларк почти в 5 раз, в Бокк-фьорде - в 2.3 раза, здесь же зафиксировано и повышенное содержание Zn.

К оценке их генезиса, однако, следует подходить с определенной осторожностью, поскольку накопление Cd, равно как и Zn, в обогащенном органическим материалом поверхностном слое грунта является отличительной чертой почвообразования в холодных гумидных условиях (Кашулина, 2006). Содержание Cu в поверхностном почвенном слое, составляющее 4 кларка, зафиксировано на высоте 100 м побережья пролива Хинлопен, концентрации Hg в ряде районов превосходят среднее содержание в почвах в 2-6 раз.

Таблица 4.3.2.18. Концентрация некоторых металлов в почвенном слое северной части западного побережья Шпицбергена, мг/кг (Алексеев и др., 2007)

Район	Высота, м	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg
Бухта Петунья,	13	<2.5	0.299	2.793	24.747	11.765	15322	161.93	17.575	7.749	64.850	0.030
Вейде-фьорд,	40	<2.5	1.639	0.799	3.269	19.298	2636.7	81.512	4.092	3.563	181.630	0.150
Пролив Хинлопен,	3	<2.5	<0.06	1.799	9.217	8.693	14843	224.52	7.904	6.198	34.796	0.014
Пролив Хинлопен, о.	20	3.243	0.442	<0.10	11.323	48.427	12614	329.27	5.124	14.584	53.976	0.153
Крест-Ойя												
Пролив Хинлопен,	100	<2.5	<0.06	<0.10	4.412	127.520	20018	210.77	8.719	6.270	54.151	0.401
Экол.-9												
Лум-фьорд,	4	3.166	<0.06	<0.10	20.332	24.063	18318	202.07	15.350	6.742	43.669	0.035
Экол.-97/17												
Тинейрибухта,	5	3.184	<0.06	<0.10	6.971	8.343	10148	52.069	6.150	11.965	17.427	0.118
ТМ-3												
Гора Моталафьелла,	250	<2.5	0.177	<0.10	0.673	<8.0	707.31	13.830	0.669	6.938	38.611	0.090
ТМ-4												
Бокк-фьорд,	55	<2.5	0.808	0.770	3.480	11.022	323.8	219.99	4.009	6.194	137.280	0.098
Экол.-3/1												
Земля Диксона,	600	<2.5	<0.06	<0.10	23.263	<8.0	24.673	452.95	21.684	11.850	62.900	0.012
Экол.-26												
Мыс Велкомтгаонтен,	3	<2.5	0.215	0.745	3.212	<8.0	28845	131.62	3.661	4.456	29.137	0.269
Экол.-574/1												
Гора Сёрколен,	200	<2.5	<0.06	<0.10	42.071	24.414	36124	768.50	46.046	11.819	91.818	0.047
Экол.-636/1												
Элементы в почвах (Геохимическая ..., 1999)		6.0	0.35	8.0	70	30	40000	1000	50	12	90	0.06

Вместе с тем, подобные аномалии вряд ли можно с полной уверенностью квалифицировать как техногенные. В значительной мере они обусловлены природными факторами, в частности, распределением и составом горных пород береговой зоны архипелага.

Особого внимания заслуживают данные обследования почв окрестностей пос. Баренцбург - района угледобычи на архипелаге Шпицберген. Здесь содержание Cu в поверхностном слое (до 26.9 мг/кг) отвечает кларковому значению; Ni (до 68.5 мг/кг) - превосходит его в 1.4 раза; Zn (88.6-192.4 мг/кг) - превышает двойную величину; Co (до 31.8 мг/кг) - в 4 раза больше среднего показателя для почв. На первый взгляд, весьма неблагоприятная картина складывается здесь по Cd, концентрация которого в почвенном

слое Баренцбурга (1.54-2.42 мг/кг) в 4—7 раз превышает кларковую величину. Эти аномалии, учитывая специфику накопления Cd и Zn в арктических почвах (Кашулина, 2006), также вполне объяснимы и имеют, скорее всего, естественное происхождение.

Таким образом, содержания тяжелых металлов в почвах этих отдаленных регионов Арктики находятся в пределах кларковых или близких к ним значений, а их повышенные концентрации носят, главным образом, природный характер.

#### 4.3.2.3.2. Норильский полигон

Ситуация в Норильском промышленном районе особенно серьезна, если не катастрофична. Город Норильск, построенный в 1953 г., с населением 151 тыс.чел (2007 год – 207.5 тыс.ч.), находится в центре промышленной зоны и блокирован плавильными производствами со всех сторон. Из-за выбрасываемых ОАО “ГМК Норильский никель” во внешнюю среду тяжелых металлов концентрации ряда из них в почвах, мхах и лишайниках достигают экстремально высоких значений. Содержание основных, характерных для выбросов данного предприятия металлов, составило: в почвах – Cu - 0,4%, Ni - 0,4%, Co - 0,02%, во мхе – Cu - 0,07-0,14%, Ni-0,025-0,05%. Превышение ПДК в почвах, вблизи комбината, составляет 150-200 раз и более. В верхнем горизонте почв на удалении 0.6-1 км от Медного завода содержание меди превышает 2%. В зимнее время, когда преобладающая роза ветров направлена в сторону Арктики, газовые выбросы иногда достигают территории Канады (Недра России, 2002). Ландшафтно-геоэкологическая карта Норильского промышленного района представлена на рисунке 4.3.2.8.

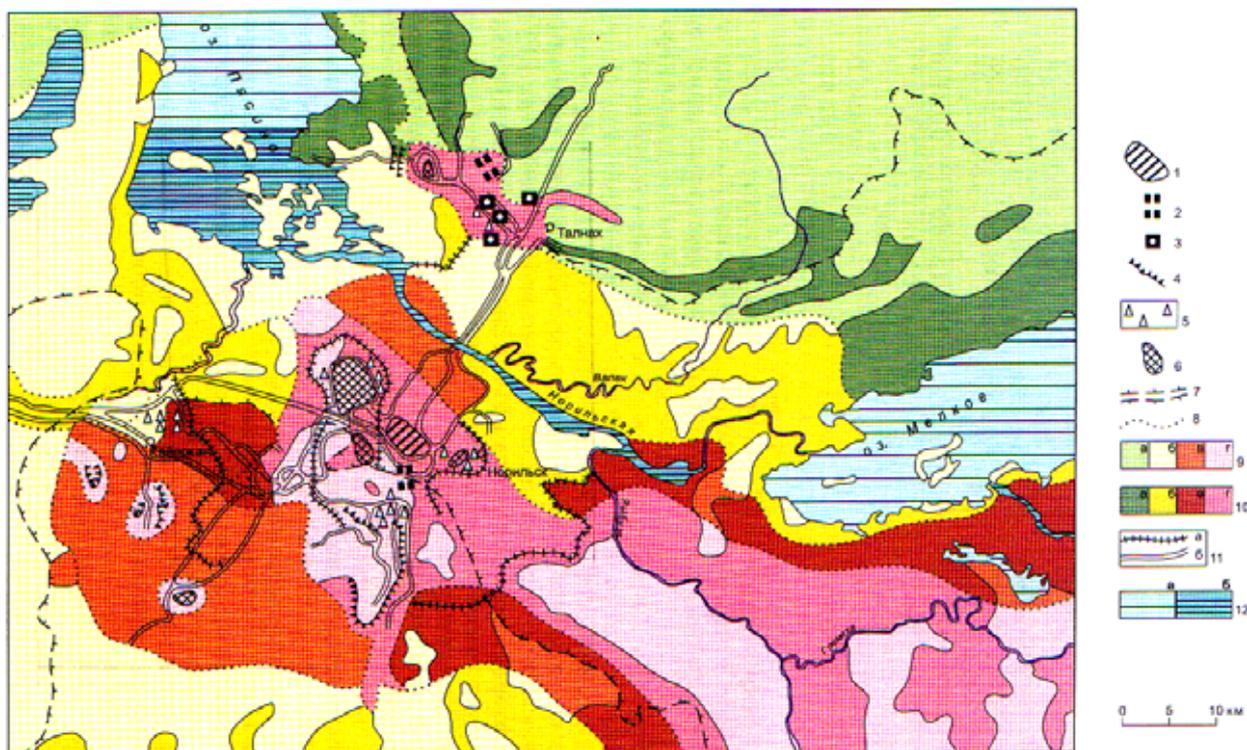


Рисунок 4.3.2.8. Ландшафтно-геоэкологическая карта Норильского промышленного района (Недра России, 2002).

1 – селитебные зоны; 2 – промышленные зоны; 3 – рудники; 4 – границы карьеров; 5 – отвалы пустой породы; 6 – хвостохранилища и отстойники; 7-8 – границы: тундровых и лесных ландшафтов, 8 – ландшафтных зон разной степени деградации; 9-10 – степень нарушенности ландшафтов; 9 – тундровых, 10 – лесных и редколесных (а – незначительная, б – умеренная, в – сильная, г – катастрофическая); 11-12 – водные объекты загрязненные (а) и грязные (б): 11 – поверхностные водотоки, 12 – озера

В результате длительного воздействия выбросов комбината к 80-м годам прошлого столетия произошла деградация растительного покрова и образовались техногенные пустоши (рис. 4.3.2.9.). Широкомасштабные изменения в окружающей природной среде привели к разрастанию техногенной пустоши на территории 900 кв.км. На Таймыре резко сократилась площадь ягельников, что негативно отражается на оленеводстве, составляющем основу хозяйственной деятельности народов Севера.



Рисунок 4.3.2.9. Техногенные пустоши (угнетенные леса) в Норильском районе

В последующие годы процессы деградации продолжали развиваться, но более медленными темпами, восстановление растительности не происходило. На рисунке 3.4 приведены космические снимки состояния территории вокруг комбината в 1999г. по сравнению с 1988г. В таблице 3.2. представлены результаты дешифрирования и расчеты динамики техногенного изменения территорий вокруг предприятий Норильского ГМК по каждому из снимков (рис. 4.3.2.10 а,б) за 11 лет.



а) 1988 год.

б) 1999 год.

Рисунок 4.3.2.10. Динамика техногенных изменений вокруг ОАО “ГМК Норильский никель”,

Таблица 4.3.2.19. Сводная таблица расчетов динамики техногенного изменения территорий вокруг предприятий Норильского ГМК (Калабин и др., 2010)

Годы	1988	1999
1) Площадь территории на космоснимках, $S_o$ , км <sup>2</sup>	980	
2) Площадь биоты $S_b$ , км <sup>2</sup>	388	371
В том числе первичной $S_m$	116	90
вторичной $S_{втор}$	272	281
Убыль первичной биомассы $\Delta S_m$ , 10 <sup>7</sup> ц	0,29	
3) Общая площадь антропогенных объектов $S_y$ , км <sup>2</sup>	108	125
В том числе:		
- Площадь карьеров	15,1	17,8
- Площадь отвалов	42,8	49,6
- Площадь хвостохранилищ	28,7	33
- Площадь промплощадок	5,7	6,9
- Площадь населенных пунктов	16	18
4) Коэффициент сокращения видов-эпифитов $K_{сэ}$ , %	70	76

Как видно из таблицы 4.3.2.19 к 1988 году в основном сформировалась существующая структура нарушенных ландшафтов. Однако в 1999 году, хотя и медленными темпами, продолжала увеличиваться площадь антропогенных объектов и убыль первичной биоты (2900 т за 11 лет). Следует также отметить, что в 1999 году наблюдался прирост вторичной биоты, что указывает на появление процессов самовосстановления растительности.

Понимая серьезность экологической ситуации, руководство ОАО “ГМК ”Норильский никель” приняло программу модернизации устаревших технологий на период до 2015 года, направленную на коренное улучшение экологической обстановки в районе. Так, реконструкция Надеждинского металлургического завода позволит улавливать пылевой никелевый концентрат и возвращать его в производство. Это дает возможность сократить объем пылевых выбросов в атмосферу примерно в 3 раза, что приведет к частичному снижению концентраций металлов в окружающей среде.

#### 4.3.2.3.3. Мончегорский полигон

Наиболее изучено воздействие тяжелых металлов на наземные экосистемы в районе ОАО “Комбинат «Североникель»”, что позволяет дать оценку экологическим последствиям загрязнения почв и наземных экосистем тяжелыми металлами. С помощью параметров продуктивности и биогеохимических циклов элементов выявлены основные типы состояния лесных биогеоценозов в зоне загрязнения медно-никелевыми плавильными

производствами: условно фоновый (>100 км от источников выбросов) → дефолирующий (20-100 км) → техногенные редколесья (10-20 км) → пустоши (<10 км) (Лукина и др., 2005)

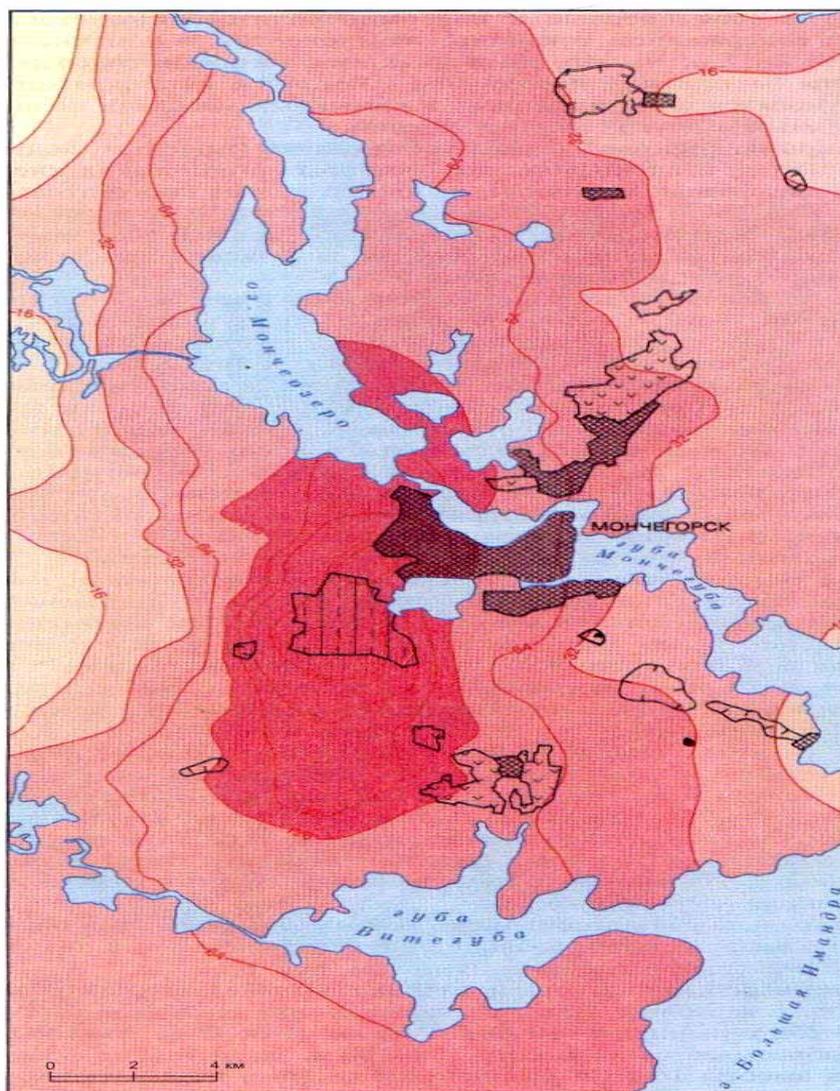


Рис. 4.3.2.11. Картосхема интенсивности загрязнения почв металлами в Мончегорском районе (Экологический атлас, 1999). Повышение интенсивности загрязнения отражено цветом от светло-розового (буферные зоны) через красный цвет до темно-бордового вблизи комбината (импактные зоны).

На рисунке 4.3.2.11 выделены зоны загрязнения вокруг комбината «Североникель». Зона наиболее сильно загрязненной территории вокруг комбината или «техногенные пустоши» характеризуется высокими средними содержаниями металлов в горизонте А<sub>0</sub>: концентрация подвижного Ni составляет 186 мг/кг (46 ПДК), Cu – 368 мг/кг (122 ПДК). Эта зона с полностью уничтоженным почвенно-растительным покровом устойчиво существует на 4-5 км к северу и югу от комбината (рис. 4.3.2.12). По ее периферии, на расстоянии 5-8 км к югу значительно повреждена лесная растительность (80-100%), которая не возобновляется. Кроме основных компонентов выбросов, Ni-Cu, в горизонте А<sub>0</sub> отмечено накопление As (5 ПДК), Mo (превышение фоновых значений в 16 раз) и Cd (в 5 раз аналогично).

Техногенная пустошь рассматривается как заключительная стадия техногенно-пирогенных дигрессий еловых и сосновых лесов. Площадь пустошей в окрестностях медно-никелевых комбинатов на Кольском полуострове превышает 20000 га (Калабин, 2000).



Рисунок 4.3.2.12. Техногенная пустошь в районе комбината “Североникель”.

На расстоянии 5 -10 км растительность сильно фрагментирована и разрежена, покрывает не более 20% поверхности, поэтому эту зону также можно отнести к разряду техногенных пустошей. Древесный ярус отсутствует. Изредка встречаются невысокие молодые особи *Betula pubescens*. Преобладают деревца семенного происхождения, но отмечены единичные порослевые клоны вокруг засохших растений 10-20-летнего возраста. Местами произрастают молодые деревья *Salix caprea* и, реже, *Salix phylicifolia* (как семенного, так и порослевого происхождения). Отдельными разбросанными куртинами встречается *Empetrum hermaphroditum*, под пологом деревьев и кустов отмечены единичные экземпляры *Vaccinium vitis-idaea*. В ложбинах стоков, где водный и питательный режим гораздо более благоприятны, чем в автоморфных условиях, видовой состав растений значительно богаче и сложен несколькими видами: ерезой, осинкой, хвощами, злаками и травами (Лукина и др., 2005).

Зоны опасного и умеренного загрязнения (зона техногенного редколесья и интенсивной дефолиации), составляют 1100 км<sup>2</sup>, для которых характерны высокие уровни выпадения тяжелых металлов, четкое проявление изменения состава растительного покрова, выражающееся в частичном его разрушении (40-80%, стадия интенсивной дефолиации). Эти зоны сформировались на расстоянии 10-15 км и до 25 км от комбината при ширине 14 км. Здесь существенно повреждены леса, много сухостоя, большие площади подвержены пожарам, высокий риск возникновения которых связан с потерей почвами природных свойств, в первую очередь, структуры и влажности.

Зона слабого уровня загрязнения (затухающая дефолирующая) характеризуется частично или слабо поврежденными лесами (<40%, стадия начальной дефолиации), которые испытывают локальное ухудшение, заметные нарушения травяного покрова незначительны, а уровни годовых выпадений тяжелых металлов варьируют от допустимых ПДК до природных накоплений в гумусовом горизонте А<sub>0</sub> фоновых районов. Эта зона сформировалась на расстоянии 22-28 км к югу от комбината (Лукина и др., 2005).

#### 4.3.2.3.4. Формы миграции металлов в почвенном слое

Общее содержание металлов в почвах, содержание и соотношение их подвижных форм, закономерности пространственного распространения, их миграция по почвенному профилю могут служить основой для понимания формирования

токсичности почв в Арктике, подвергнутых загрязнению тяжелыми металлами. Установлено, что почвенный горизонт А<sub>0</sub> является основным аккумулятором техногенного загрязнения и, одновременно, барьером на пути проникновения элементов-загрязнителей в нижние почвенные горизонты и подземные воды. Высокий уровень загрязненности минеральных почвенных горизонтов В и С отмечен только на территориях, примыкающих к промплощадке комбината «Североникель», где более всего нарушен почвенно-растительный покров, максимально влияние подстилающих ультраосновных пород Мончегорского плутона и наиболее интенсивен процесс выпадения на ландшафты приоритетных элементов-загрязнителей (Ni,Cu,Co) (Экологический атлас, 1999)

Концентрация тяжелых металлов в почвенном горизонте В достигает уровня опасной и чрезвычайно опасной степени загрязнения, а для горизонта С умеренно опасной. Для остальной территории Мончегорского района загрязненность почвенных горизонтов В и С соответствует допустимому уровню, причем, максимальные концентрации наблюдаются, как правило, в горизонте С. Это связано с составом подстилающих пород и ландшафтными условиями.

Детальные исследования распределения и формирования токсичности почв проведены на примере зон загрязнения вокруг комбината «Североникель» в техногенных пустошах в сопоставлении с условно-фоновыми районами (Лукина, Никонов, 1998; Мутузова и др., 2004). Подзолы сосняков и ельников Кольского п-ова способны в разной степени защищать от металлов и сульфатов грунтовые воды. Металлы интенсивно поглощаются почвами, особенно их подстилочными горизонтами. В подстилках почв техногенного редколесья содержание металлов в 25-50 раз выше, чем в условно-фоновой зоне. Часть соединений Ni и Cu проникает в минеральные горизонты техногенной зоны, вызывая в них превышение в 2-3 раза общего содержания металлов по сравнению с условно-фоновой зоной. Загрязнение почв металлами может проявляться на глубине >50 см. При этом изменение общего содержания металлов в почвах региона проявляет определенную линейную зависимость от расстояния до металлургических комбинатов. Эти закономерности отмечались и ранее (Никонов и др., 1999).

Наибольшее экологическое значение имеют потенциально подвижные соединения металлов в составе твердых фаз почвы. Вытяжка 0.01 N KNO<sub>3</sub> характеризует наиболее подвижные соединения металлов, а вытяжка 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> с pH 4.8 - общий запас потенциально подвижных соединений металлов (табл. 4.3.2.20).

Таблица 4.3.2.20. Среднее содержание Ni (числитель) и Cu (знаменатель) и их соединений, мг/кг, в Al-Fe-гумусовых подзолах ельников и сосняков Кольского п-ова (здесь «н.о.» - элементы не определялись) (Мутузова и др., 2004)

Горизонт почв	Общее содержание	В вытяжке 1N CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	В вытяжке 0.01 N KNO <sub>3</sub>	В вытяжке H <sub>2</sub> O
Ельник, техногенная пустошь				
AO	1922/806	462/240	96/67	1.85/5.84
A2	124/16	9/7	2/2	0.50/0.25
Bhfal	137/21	28/19	1/3	1.03/0.38
BC	139/19	7/9	1/1	0.73/0.24
Ельник, условно-фоновая территория				
AO	137/30	3.0/2.4	1.9/1.7	0.06/0.19
A2	19/6	1.1/1.0	0.3/0.7	0.03/0.03
Bhfal	30/7	1.3/0.9	0.4/0.6	0.06/0.05
BC	32/10	0.8/1.0	0.2/0.7	0.03/0.04
Сосняк, техногенная пустошь				
AO	3040/1107	390/30	78/53	1.79/2.90

A2	61/13	8/8	1.7/0.9	0.64/0.37
Bhfal	112/22	10/40	2.1/1.9	0.83/0.46
BC	19/33	2/4	2.5/0.7	0.28/0.19
Сосняк, условно-фоновая территория				
AO	78/24	20/1.8	1.2/1.3	0.06/0.19
A2	35/10	0.5/0.4	0.2/0.3	н.о.
Bhfal	46/19	0.7/0.6	0.3/0.4	н.о.
BC	55/10	0.2/0.3	н.о.	н.о.

Подстилочные горизонты почв условно-фоновых территорий по сравнению с нижележащими минеральными горизонтами обеднены подвижными соединениями металлов. При аэротехногенном загрязнении относительное обогащение запаса подвижных соединений металлов в составе твердых фаз и водорастворимых соединений составляет 160-200 и 20-30 раз соответственно, что превышает таковое для общего содержания металлов в почвах. Имеющиеся данные о составе лизиметрических вод подтверждают эти закономерности и показывают увеличение содержания металлов в водах техногенного редколесья более чем на порядок (Лукина, Никонов, 1996). Относительное содержание подвижных соединений металлов увеличивается от 1.5-2.3% на условно-фоновых территориях до 12-30% на техногенных. Несмотря на высокую поглонительную способность подстилок в отношении металлов, их сорбционная емкость не обеспечивает в полной мере защиту от металлов, лежащих под подстилкой минеральных почвенных горизонтов. Наблюдается повышение массовой доли подвижных соединений Cu и Ni в иллювиальных горизонтах загрязненных почв по сравнению с условно-фоновыми почвами, которое в некоторых случаях достигает 15-20 раз. Это свидетельствует как о способности металлов достигать с нисходящими водными потоками глубин 25-30 см, так и о способности частично задерживаться на этих глубинах в составе подвижных соединений.

#### 4.3.2.3.5. Механизмы деградации лесных экосистем в условиях загрязнения почв металлами

**Нарушения микробного сообщества.** Многолетние исследования микробного компонента почв (Евдокимова, Мозгова, 1998) в зоне воздействия комбината «Североникель» показали, что грибы, дрожжи, водоросли (микроэукариоты) устойчивее к воздействию тяжелых металлов, чем бактерии, цианобактерии и строптомицеты (прокариоты). В незагрязненной почве выявлено 28 видов грибов с частотой встречаемости 30-60%. В буферной зоне видовое разнообразие не снизилось, в импактной – число видов уменьшилось до 19, а в эпицентре – до 15. Среди часто встречающихся водорослей в незагрязненной почве выявлено 27 видов, по мере приближения к комбинату число их снизилось до 9. Из бактерий наиболее чувствительны к повышенным концентрациям меди и никеля являются нейтрофилы. Из почв, подверженных воздействию выбросов комбината в течение нескольких десятков лет, на расстоянии 7-10 км по розе ветров выпали целые физиологические группы бактерий.

**Нарушение питательного режима лесов.** Наиболее обоснованным механизмом влияния тяжелых металлов на лесные экосистемы в настоящее время является их негативное воздействие на почвенные микроорганизмы, главным образом микроскопические грибы, что приводит к угнетению микоризообразования и замедлению процессов разложения органического вещества в бореальных лесах (Лукина и др., 2005). Таким образом, можно предположить, что аккумуляция токсичных для микроорганизмов соединений тяжелых металлов приводит к нарушению циклов элементов минерального питания и углерода, к изменению питательного режима почв.

Вследствие угнетения микоризы и снижения содержания доступных соединений элементов питания, особенно в органогенных горизонтах почв, возможно снижение продуктивности лесов. К тому же накопление тяжелых металлов в лесных почвах приводит к их распространению по пищевым цепям.

В лесах, подверженных действию выбросов комбинатов "Североникель" и "Печенганикель" и представленных в настоящее время луговиково-кустарничковыми ельниками и сосняками, происходят следующие серьезные нарушения питательного режима (Лукина, Никонов, 1998):

- изменяется состав атмосферных выпадений - источника питания лесов;
- снижается эффективность использования атмосферной составляющей питательного режима в результате выпадения из сообщества лишайников и мохообразных, которые способны концентрировать элементы питания из атмосферы, где они находятся в рассеянном состоянии, и постепенно "передавать" их растениям с корневой стратегией питания при разложении;
- возрастает кислотность почв и почвенных растворов и интенсифицируется выщелачивание элементов питания из органогенных горизонтов почв;
- обеднение почв доступными для растений соединениями элементов питания может быть обусловлено также нарушением микоризы и снижением интенсивности разложения органического вещества в результате ингибирования микроорганизмов (главным образом, грибов) тяжелыми металлами;
- наблюдается дисбаланс в питании ели и сосны, выражающийся в обеднении хвои кальцием, магнием (вплоть до дефицита), марганцем и цинком и обогащении наиболее мобильными элементами, азотом, калием, фосфором, а также поллютантами - серой, никелем и медью (Лукина и др., 2005).

В таблице 4.3.2.21. приведены данные по содержаниям элементов питания, а также основных тяжелых металлов в органических и минеральных горизонтах почв в фоновых условиях и техногенных пустошей. Почвы пустошей, сформированных вокруг комбинатов «Североникель» и «Печенганикель», характеризуются значительным обеднением основными элементами питания (N, C, Ca, Mg, K, Na, Mn, Zn, P), что связано с вымыванием органических веществ из почв под действием кислотных осадков, а также частыми пожарами. Содержание тяжелых металлов в органогенных горизонтах почв значительно возрастает – Ni – 50 раз, меди – почти в 100 раз. Отношение C/N ниже фоновых значений.

Таблица 4.3.2.21. Сравнение содержания элементов питания в органических и минеральных горизонтах почв в фоновых условиях и на пустоши (мг/кг) (Лукина и др., 2005)

Элемент	Органические горизонты			Минеральные горизонты		
	Фон (n = 58)	П-1 (n = 16)	p	Фон (n = 58)	П-2 (n = 26)	p
Ca	2778	264	***	104	39	**
Mg	508	66	***	19	10	**
K	1047	26	***	31	11	***
Na	110	21	***	19	7	
Fe	73	1537	***	282	471	*
Mn	337	2	***	11	2	*
Zn	36	2	***	1	0.35	***
Ni	3	151	***	0.55	37	***

Cu	4	383	***	0.86	138	***
P	271	26	**	18	8	
S	150	144	НД	45	65	**
N	14 026	2806	***	832	399	***
C, %	52	9.4	***	3	0.70	***
C:N	38	34	НД	34	19	*

Примечание: П-1 - почвы с сохранившимся органогенным горизонтом; П-2 - почвы, лишенные органогенного горизонта; \*, \*\*, \*\*\* - различия достоверны при  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$  соответственно, НД – не достоверно.

**Деградация ассимилирующих органов.** В природных условиях в ельниках кустарничково-зеленомошных Кольского полуострова хвоя ели сохраняется 8-13 лет. Количество возрастных классов хвои связано с порядками ветвления побега, количество которых не превышает 5. Максимального возраста достигает хвоя на побегах I и II порядков, минимального - на побеге V порядка. Основная масса хвои в природных условиях не имеет признаков повреждения.

Под воздействием воздушного загрязнения от медно-никелевых комбинатов (на стадиях затухающей дефолиации и техногенного редколесья) продолжительность жизни хвои значительно снижается (число возрастных классов сокращается до 2 раз), происходит также уменьшение порядков ветвления побега: отсутствуют побеги V порядка ветвления. Значительно увеличиваются повреждения у ассимилирующих органов (площадь повреждения затрагивает более 75% поверхности хвоинки), в 2-4 раза возрастает количество хвои, имеющей следы сильного повреждения. Происходит увеличение доли поврежденных многолетних ассимилирующих органов относительно фоновых значений. На долю поврежденной хвои приходится до 30% от общей массы, что почти в 2 раза превышает фоновые показатели (Лукина и др., 2005).

Воздушное промышленное загрязнение, вызывая образование больших количеств горючего материала, способствует возникновению пожаров, тем самым не только прямо, но и косвенно снижая биоразнообразие растительных сообществ.

Таким образом, в настоящее время специфика функционирования бореальных лесов, широко представленных на южной границе Арктической зоны в нашей стране, определяется, с одной стороны, сложившимися природными механизмами, с другой стороны - продолжительным и интенсивным действием антропогенных факторов в промышленных зонах загрязнения. Поскольку одной из основных причин повреждения лесов в условиях распространяющегося аэротехногенного загрязнения является нарушение их питания, поиски путей направленного регулирования питательного режима, позволяющего поддерживать жизнеспособность бореальных лесов России, сохранять сырьевые, природоохранные и социальные функции и предотвращать их деградацию, приобретают особую актуальность.

#### 4.3.2.4. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СУШИ

Поверхностные воды суши являются компонентом природы, сознательные преобразования или попутные изменения которых в результате человеческой деятельности наиболее существенны. Металлы поступают в водные бассейны в составе стоков различных производств, диффузных источников, выщелачиваются из минеральных пород кислотными осадками, а также трансграничными переносами на дальние расстояния. Особенностью влияния трансграничного переноса в Арктику является более активное высаживание микропримесей на водосборы при соприкосновении их с более холодным воздухом.

Наибольшее загрязнение водных объектов металлами, как и в целом природы, происходит в импактных зонах промышленных производств. Плавильные медно-никелевые (ОАО “Кольский ГМК” – комбинаты «Североникель», «Печенганикель», ОАО “ГМК Норильский никель”), алюминиевые и железорудные производства и др., сбрасывают в поверхностные воды сточные воды с высоким содержанием металлов. Вскрышные породы, отвалы горных пород, “хвосты” обогащения являются также источником техногенной миграции многих элементов. Положение усугубляется кислотными выпадениями, которые приводят к повышенному выщелачиванию металлов из природных и техногенных геохимических аномалий. Два региона за Полярным кругом (Кольский и Норильский) являются наиболее загрязненными тяжелыми металлами. Последние данные по изучению экологического состояния бассейна рек Печора и Северная Двина также выявило высокий уровень загрязнения вод и донных отложений большим спектром металлов.

Выделяются 3 основных процесса, приводящих к высоким уровням содержания металлов в поверхностных водах суши импактных зон:

- 1) распространение в составе сточных вод металлургических производств;
- 2) распространение с дымовыми выбросами в атмосферу;
- 3) кислотное выщелачивание из горных пород, в особенности природных геохимических формаций.

Миграционная способность металлов с водосборов северных регионов высока, их циркуляция в водоемах продолжительна, процессы биодegradации и захоронения замедленны, а токсичные воздействия в слабоминерализованных водах много выше. Слабое развитие растительности и тонкий почвенный покров обеспечивают высокий дренаж выпадающих металлов и в летнее время. Низкое видовое разнообразие и короткие пищевые цепи способствуют быстрому продвижению токсичных компонентов к конечным продуцентам - рыбам и соответственно - их потребителям.

Серьезную экологическую угрозу для водных ресурсов Севера представляют предприятия, расположенные в верховьях северных рек. Вбирая в себя различного типа промышленные стоки производств, расположенных вдоль рек, в более южных районах, загрязненный поток вод движется в суб- и арктические регионы, где механизмы миграции и поведения поллютантов имеют свою специфику, а токсичные эффекты более значимы. В настоящее время сильно загрязнены тяжелыми металлами практически все крупные реки Арктического бассейна: Печора, Северная Двина, Обь, Лена, Енисей и др. (Ежегодники качества вод....., 1992 - 2005). Однако эти оценки по различным участкам крупнейших рек не однозначны.

Защелачивание атмосферных осадков выбросами промышленных предприятий дополнительно приводит к интенсивному выщелачиванию металлов из рудных тел и росту их концентрации в поверхностных водах, особенно в бассейнах. Воздействие естественных факторов выветривания, а также закисленных выбросами промышленных предприятий атмосферных осадков приводит к интенсивному выщелачиванию металлов из рудных тел и росту их концентрации в поверхностных водах. В устьевых участках рек Печенга, Кола, Патсойоки в 60 % наблюдений концентрация Fe, Mn, Zn, Си превышает

предельно допустимую концентрацию для воды рыбохозяйственных водоемов в 2-6 раз (Обзор ..., 2001; Отчет, 2002).

#### 4.3.2.4.1. Крупные реки водосбора АЗРФ

**Содержания в воде.** В большинстве случаев воды арктических рек, по данным Росгидромета, загрязнены Cu, Zn, Fe, Mn, иногда Pb, Cd и другими металлами, в том числе и в устьевых областях рек. Однако в нижнем течении Оби, Енисея и Лены высокоточные определения растворенных Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, As, Fe, Mn, выполненные в рамках Российско-Французско-Нидерландской Программы Scientific Program on Arctic and Siberian Aquatoria) (1989-1995), показали, что эти крупнейшие реки Сибири по уровню тяжелых металлов относятся к наиболее чистым рекам мира (AMAP assessment, 2002). Это объясняется относительно низкой плотностью населения на берегах сибирских рек и большими объемами стока воды. В таблице 4.3.2.22 приведены концентрации растворенных форм металлов в воде крупных рек АЗРФ (AMAP assessment, 2002). Сравнительная характеристика показывает, что в реке Лена присутствуют более высокие концентрации растворенных форм Cd и Hg, тогда как в р.Оби - более высокие концентрации меди и никеля, в р. Енисей – цинка. Остальные элементы находятся в сопоставимых пределах варьирования.

Таблица 4.3.2.22. Концентрация (средняя и пределы варьирования) растворенных форм металлов в воде крупных рек (AMAP assessment. 2002).

Водные объекты	Cu мкг/л	Zn мкг/л	Ni мкг/л	Pb мкг/л	Fe мкг/л	Hg мкг/л	Cd мкг/л
Обь	2.12	0.30	1.32	0.014	25.8	0.56	0.70
	(1. 58- 2.43)	(<0.1- 0.43)	(1.24- 1.41)	(0.011- 0.017)		(0.48- 0.64)	(0.56- 0.90)
Енисей	1.62	1.32	0.54	0.0055	14.3	0.30	1.5
	(1.41- 1.85)	(0.51- 2.0)	(0.52- 0.55)	(0.005- 0.006)		(0.16- 0.42)	(1.2- 1.8)
Лена	0.81	0.42	0.30	0.035	32.6	1.0	6.0
	(0.47- 1.0)	(0.08- 1.37)	(0.23- 0.38)	(0.015- 0.083)	(21.6- 48.5)	(0.9- 1.08)	(2.2- 12.0)
Евразийские Арктические реки (среднее)	1.48	0.74	0.67	0.018	23.5	0.60	2.8
Глобальное среднее	1.5	0.6	0.6	0.03	40	0.68	10

Однако в верхнем и среднем течении этих рек концентрации ТМ могут быть более высокими.

На рисунке 4.2.2.13 приведены в сопоставлении концентрации основных элементов загрязнения в воде крупных рек. Более детальную характеристику содержаний металлов в различных реках Арктического бассейна приводит (Gordeev, 200; Гордеев, 2009).

*Река Печора.* Содержание в воде ТМ (ртути, свинца, кадмия) в поверхностном горизонте вод достигало 0.013, 1.52, 0.05 мкг/л, соответственно, в придонном слое вод – соответственно 0.09, 1.14, 0.05 нг/л, что не превышает значений регионального геохимического фона.

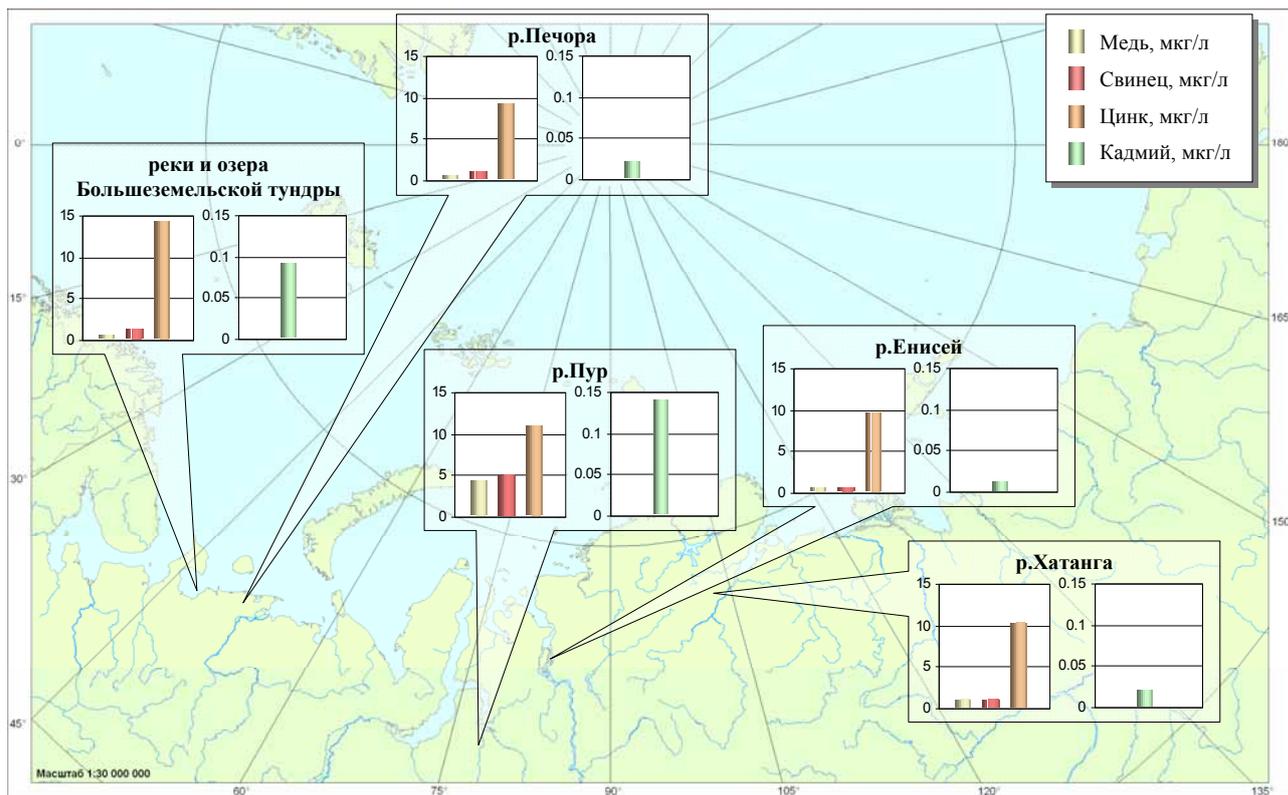


Рисунок 4.3.2.13. Содержание тяжелых металлов в поверхностных водах рек АЗРФ

*Река Енисей.* Наиболее высокие уровни содержания ТМ (ртути, свинца и кадмия) в поверхностном горизонте достигали 0.017, 0.87, 0.03 мкг/л, соответственно, в придонном слое вод, соответственно 0.008, 1.48, 0.03 мкг/л. Концентрация ртути в пробах, отобранных с поверхностного горизонта, была в среднем выше ПДК.

*Река Хатанга.* Содержание ТМ не выходит за пределы регионального геохимического фона. Наиболее высокие концентрации определявшихся ТМ (ртути, свинца, кадмия) в поверхностном горизонте речных вод составили соответственно 0.027, 3.2 и 0.047 мкг/л. Следует отметить превышение измеренных концентраций ртути относительно ПДК в 2.7 раза.

*Притоки р. Пур.* Уровни содержания ТМ в речных водах изменялись в следующих пределах: марганца – от 2.6 до 73.0 мкг/л; цинка – от 3.40 до 68.8 мкг/л; меди – от 2.90 до 5.62 мкг/л; никеля – от 0.73 до 15.8 мкг/л; кобальта – от 0.09 до 0.32 мкг/л; свинца – от 1.14 до 9.10 мкг/л; кадмия – от 0.04 до 0.58 мкг/л; хрома – от 0.42 до 1.40 мкг/л; ртути – от 0.007 до 0.031 мкг/л.

*Протоки Большеземельской тундры.* Содержание большинства ТМ в воде тундровых озер и проток было значительно ниже ПДК, лишь концентрации железа и марганца были выше ПДК соответственно в 1.3 и 3.2 раза. Уровни содержания ТМ в воде озер и проток находились в следующих пределах: железа – от 26.4 до 131 мкг/л, марганца – от 2.26 до 32.5 мкг/л, цинка – от 0.20 до 23.7 мкг/л, меди – от 0.20 до 0.95 мкг/л, никеля – от 2.05 до 6.16 мкг/л, кобальта – от 0.06 до 2.59 мкг/л, кадмия – от 0.03 до 0.17 мкг/л; хрома – от 1.07 до 3.42 мкг/л; олова – от 0.03 до 0.49 мкг/л; ртуть – от 0.002 до 0.008 мкг/л.

Сток растворенных микроэлементов в моря определяется в основном водным стоком рек и содержанием микроэлементов в водной среде. Наибольший сток микроэлементов характерен для крупных рек азиатской части арктического побережья (рр. Обь, Енисей, Лена) (табл. 4.3.2.23.). Модули стока марганца - для рр. Мезень, Онега, Пур и Таз, никеля - для рр. Печора и Таз, молибдена - для р.Таз, цинка - для рр. Онега, Мезень и Печора. Арктические реки азиатской части России имеют пониженный модуль стока молибдена и

ванадия, что связано с ландшафтными особенностями их водосборов. Ванадий и молибден малоподвижны в характерных для низовьев арктических рек кислых ландшафтах с ярко выраженными восстановительными свойствами. В целом для изученных микроэлементов характерно консервативное поведение в устьях северных рек. Тем не менее, не исключена возможность их дополнительного поступления или удаления в результате внутриводоемных процессов, протекающих в зоне смешения речных и морских вод.

Для микроэлементов с невысокими значениями коэффициентов биологического накопления наибольшее значение имеют сорбционно-десорбционные процессы, поскольку в устьях рек происходит резкое изменение концентраций растворенных компонентов, сопровождающиеся изменением состава поглощенного комплекса речных взвесей.

Таблица 4.3.2.23. Средние многолетние (1955-1980 гг.) характеристики стока некоторых микроэлементов в нижнем течении арктических рек (Гидрохимический атлас..., 1990). Первая строка - величина стока, т/год, вторая строка- модуль стока, кг/(км<sup>2</sup>год).

Река, створ	Медь	Цинк	Марганец	Никель	Ванадий	Молибден
Онега, Порог	78 1,4	560 10,1	510 9,2	39 0,7	10 0,18	10 0,18
Северная Двина, Усть-Пинега	560 1,90	2200 6,32	2100 6,03	280 0,80	90 0,26	77 0,22
Мезень, Малонисогорское	140 1,96	510 7,31	580 8,11	42 0,59	20 0,23	10 0,14
Печора, Оксина	370 1,5	2500 10,1	2200 8,9	300 1,2	46 0,2	10 0,17
Обь, Сале-хард	3700 1,52	9800 4,03	8400 3,45	1100 0,45	260 0,11	370 0,15
Пур, Самбург	180 1,89	590 6,20	790 8,31	1100 0,69	10 0,11	7 0,07
Таз, Сидоровск	140 1,4	330 3,3	1100 11,0	89 0,89	10 0,10	99 0,99
Енисей, Игарка	2600 1,05	9500 3,84	5300 2,14	1300 0,53	600 0,24	470 0,19
Лена, Кюсюр	1300 0,53	13000 5,35	8400 3,60	960 0,40	330 0,14	250 0,10
Яна, Джангкы	210 0,94	370 1,65	420 1,88	94 0,42	20 0,09	33 0,15
Индибирка, Чокурдах	260 0,81	870 2,70	1200 3,73	93 0,29	30 0,09	42 0,13
Колыма, Черский	200 0,32	1300 2,04	980 1,54	ПО 0,17	ПО 0,17	24 0,04

**Содержания во взвешенной фракции.** Многие металлы переносятся в Арктику в составе тонкодисперсных взвесей или адсорбированных на их поверхности. В отличие от растворенной формы содержание в составе взвесей наиболее опасных металлов – ртути и кадмия в Сибирских арктических реках более высокое по сравнению со среднеглобальным уровнем, что может объясняться дальним переносом этих элементов.

Также повышены концентрации меди, цинка и никеля, как следствие влияния локального загрязнения и его распространения (табл. 4.3.2.24).

Таблица 4.3.2.24. Содержания металлов (мкг/л) во взвешенной фракции вод крупных рек АЗРФ (АМАР assessment, 2002).

Водный объект	Количество проб	Cu	Zn	Ni	Pb	Hg	Cd	As	Bi	Co	Mo	Sb	Sn	V	Fe
Лена	2	28	143	31	23	0,12									
	6	28	160	34	36		0,25			13					3,32
	5	42	185	42	42		0,96								4,84
	31	35	141	53	24		0,065	9,1	0,24	18	1,23	0,57	1,9	97	3,8
Обь	6	50	104	38	16	0,5	0,53			19					6,0
Енисей	6	144	220	77	30	0,5	2,2			23					5,8
Хатанга	12	82	104	84	12		0,22	9,3	0,13	35	0,88	0,43	1,6	349	6,12
Яна	7	30	130	39	23		0,32	26,7	0,23	17	0,96	2,1	1,5	110	3,80
Евроазиатские арктические реки (среднее)	75	55	138	47	22	0,07	0,63	11,8	0,23	19	1,1	0,8	1,8	118	5,0
Глобальное среднее		80	250	84	35	0,06	0,7	5	-	20	3,0	2,0	-	130	5,1

**Химический состав наносов арктических рек России.** Взвешенные наносы являются важнейшей частью потоков вещества, поступающих в океан с поверхности суши. На их долю приходится свыше 80% всех твердых и растворенных веществ, переносимых в моря и океаны с суши. Для изучения химического состава речных взвесей использованы данные (Савенко 2007), характеризующие устьевые области 3 крупных рек АЗРФ: Северной Двины, Оби и Енисея (табл. 4.3.2.25). Сравнение химического состава взвесей Оби, Енисея и Лены с составом континентальных глин и сланцев показало, что взвеси Оби и особенно Лены очень мало отличаются от состава последних. Именно продукты выветривания верхней континентальной коры составляют основу взвесей этих рек и определяют их химический состав. На состав взвесей Енисея большое влияние оказывают траповые базальты плато Путорана, что приводит к повышенному по сравнению с взвесью Оби содержанию характерных для базальтов химических элементов. Распространение базальтов в бассейне Енисея частично сказывается и на составе взвеси Оби (Гордеев, 2009).

Для химического анализа образцов речных взвесей использовался метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Содержание основных петрогенных элементов во взвесьях рек АЗРФ (Северная Двина, Обь, Енисей) достаточно близко соответствует среднему составу взвешенных наносов рек тундры и тайги. Для взвешенных наносов рек мира и АЗРФ наиболее сильные расхождения наблюдаются по железу и калию. Отсутствие накопления калия во взвешенных наносах арктических рек может быть связано с низкой скоростью образования глинистых минералов в условиях холодного климата (при выветривании первичных алюмосиликатов калий, в отличие от натрия, входит в кристаллическую структуру новообразованных глинистых минералов и там накапливается). Возникновение высоких концентраций железа объяснить труднее. Скорее всего, они обусловлены присутствием больших количеств железосодержащих органических кислот. Микроэлементный состав

взвешенных веществ рек АЗРФ близко соответствует среднему составу глин и глинистых сланцев. Сходная распространенность микроэлементов во взвесах изученных рек связана, по-видимому, с большой площадью их водосборов, благодаря чему происходит элиминирование локальных литологических неоднородностей эрозионных бассейнов (Савенко, 2007).

Полученные данные позволяют с высокой долей уверенности говорить о близком соответствии составов взвесей арктических рек и глинистых осадочных пород. Это означает, что влияние антропогенных источников загрязнения на химический состав взвешенных наносов на региональном уровне не проявляется.

Таблица 4.3.2.25. Микроэлементный состав взвешенных наносов рек АЗРФ и глинистых осадочных пород (Савенко, 2007).

Элемент	Северная Двина	Обь	Енисей	Глины и глинистые сланцы (Мейсон,1971)
Ti	4 080	4 140	1620	4 600
V	ПО	141	153	130
Cr	140	111	-	90
Mn	1700	3 480	1470	850
Fe	51700	62 700	64 600	47 200
Co	19,5	25,0	27,7	19
Ni	59,4	60,2	—	68
Cu	-	34,1	—	45
Zn	—	115	—	95
Ga	16,7	17,3	17,2	19
Ge	1,71	1,48	1,37	1,6
As	16,6	9,58	8,79	13
Rb	90,2	95,5	62,5	140
Sr	153	125	226	300
Y	20,7	24,2	23,5	26
Zr	178	119	130	160
Nb	10,7	9,87	8,95	11
Mo	0,74	0,55	(3,31)	2,6
Cd	-	-	(1,18)	0,3
Sn	—	2,32	5,36	6
Sb	-	0,96	0,99	1,5
Cs	4,26	5,79	2,93	5
Ba	715	480	431	550
La	27,9	29,1	22,7	32
Ce	59,6	64,0	47,6	59

Pr	6,55	6,71	5,46	5,6
Nd	25,0	26,1	21,5	24
Sm	4,80	5,30	4,33	6,4
Eu	1,10	1,22	1,14	1,0
Gd	4,04	4,83	4,13	6,4
Tb	0,596	0,710	0,612	1,0
Dy	3,63	4,27	3,76	4,6
Ho	0,732	0,804	0,759	1,2
Er	1,92	2,40	2,16	2,5
Tm	0,285	0,347	0,327	0,2
Yb	2,25	2,44	2,33	2,6
Lu	0,332	0,382	0,331	0,7
Hf	4,62	3,11	3,33	2,8
Ta	0,94	0,87	0,71	0,8
W	1,18	1,88	4,16	1,8
Pb	–	24,5	–	20
Bi	0,96	0,34	0,19	-
Th	8,56	9,03	6,12	12
U	2,11	2,63	1,82	3,7

**Содержания металлов в донных отложениях.** На рисунке 4.3.2.14 приведены концентрации тяжелых металлов в донных отложениях исследованных рек по данным Гордеева (Gordeev 2001). В донных отложениях обследованных рек содержание тяжелых металлов (ртути, свинца, кадмия) достигало соответственно: для р. Хатанга - 0.153, 5.21 и 0.082 мкг/г; для р. Печора - 0.297, 6.03, 0.075 мкг/г; для р. Енисей – 0.430, 7.31 и 0.120 мкг/г, для притоков р. Пур - 0.23, 7.37, 0.078 мкг/г, что не превышает значений регионального геохимического фона (Рис. 4.2). В донных отложениях рек Печора и Енисей содержания меди достигали 18.64 и 20.42 мкг/г, цинка – 32.46 и 38.63 мкг/г.

Уровни содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер и проток Большеземельской тундры изменялись в следующих пределах: железа – от 864.8 до 2660.1 мкг/г, марганца – от 8.96 до 39.29 мкг/г, цинка – от 2.42 до 66.0 мкг/г, меди – от 3.12 до 24.2 мкг/г, никеля – от 1.01 до 5.75 мкг/г, кобальта – от 0.18 до 0.56 мкг/г, свинца – от 3.12 до 8.89 мкг/г, кадмия – от 0.04 до 0.22 мкг/г, хрома – от 0.81 до 5.51 мкг/г, олова – от 0.99 до 3.04 мкг/г, ртути – от 0.012 до 0.095 мкг/г.

**Роль маргинальных фильтров в процессах самоочищения крупных рек.** В маргинальных фильтрах на границе река-море происходит существенное изменение состава исходного терригенного осадочного вещества речных вод и за пределы маргинальных фильтров проникает 7-10% речных взвесей. Основная часть коагулируется осажается в этой зоне. Большую роль в процессах самоочищения вод в этой зоне играют природные биофильтры (Лисицин, 2009).

Гордеев (2009) выполнил оценки валового и чистого стока ряда основных и малых элементов в моря. Под чистым стоком понимается речной поток данного элемента после прохождения маргинального фильтра (в зоне смешения речных и морских вод), где он подвергается процессам трансформации и в конечном итоге достигает открытых вод моря.

Такие оценки были выполнены для маргинальных фильтров Оби, Енисея и Лены, а также в целом для всех рек Евразии. Результаты показали, что до 80-95% твердого речного материала задерживается и оседает на дно в зонах смешения речных и морских вод и на континентальном шельфе. В составе взвесей выпадают из транспорта в сторону открытого океана и огромные массы химических элементов. Подвергаются изменениям также некоторые микроэлементы в растворенном состоянии, причем одни элементы резко снижают концентрации на выходе из эстуариев (например, железо и свинец), другие же, напротив, даже увеличивают концентрации в результате десорбции с взвешенного вещества, например медь и никель в Енисейском заливе и медь в Обской губе.

Полученные данные показали, что для маргинальных фильтров всех трех рек имели место одинаковые тренды: общее количество (т.е. сумма растворенной и взвешенной форм) всех химических элементов, достигающих открытого моря, оказывается ниже, чем приносимое рекой к кромке моря (валовой сток), причем в разной степени для разных элементов. Другой общий для всех элементов тренд - это увеличение доли растворенной доли в суммарном содержании, что в первую очередь связано с большими потерями самого взвешенного вещества и элементов в его составе на маргинальных фильтрах. Поэтому, в чистом стоке доля растворенных форм микроэлементов по сравнению с валовым содержанием увеличивается практически в воде всех рек. Для железа и свинца потери взвешенной составляющей превышают потери растворенных форм на маргинальных фильтрах, тогда как относительные концентрации меди, никеля и кадмия даже увеличиваются за счет процессов десорбции. Поэтому чистых сток последней группы металлов уменьшается незначительно после прохождения через маргинальные фильтры.

Сказанное подтверждается химическим составом донных осадков эстуарных зон Оби и Енисея и дельты Лены с прилегающими областями обоих морей. Показано, что донные осадки во многом соответствуют химическому составу взвесей переходных зон река-море (Гордеев, 2009).

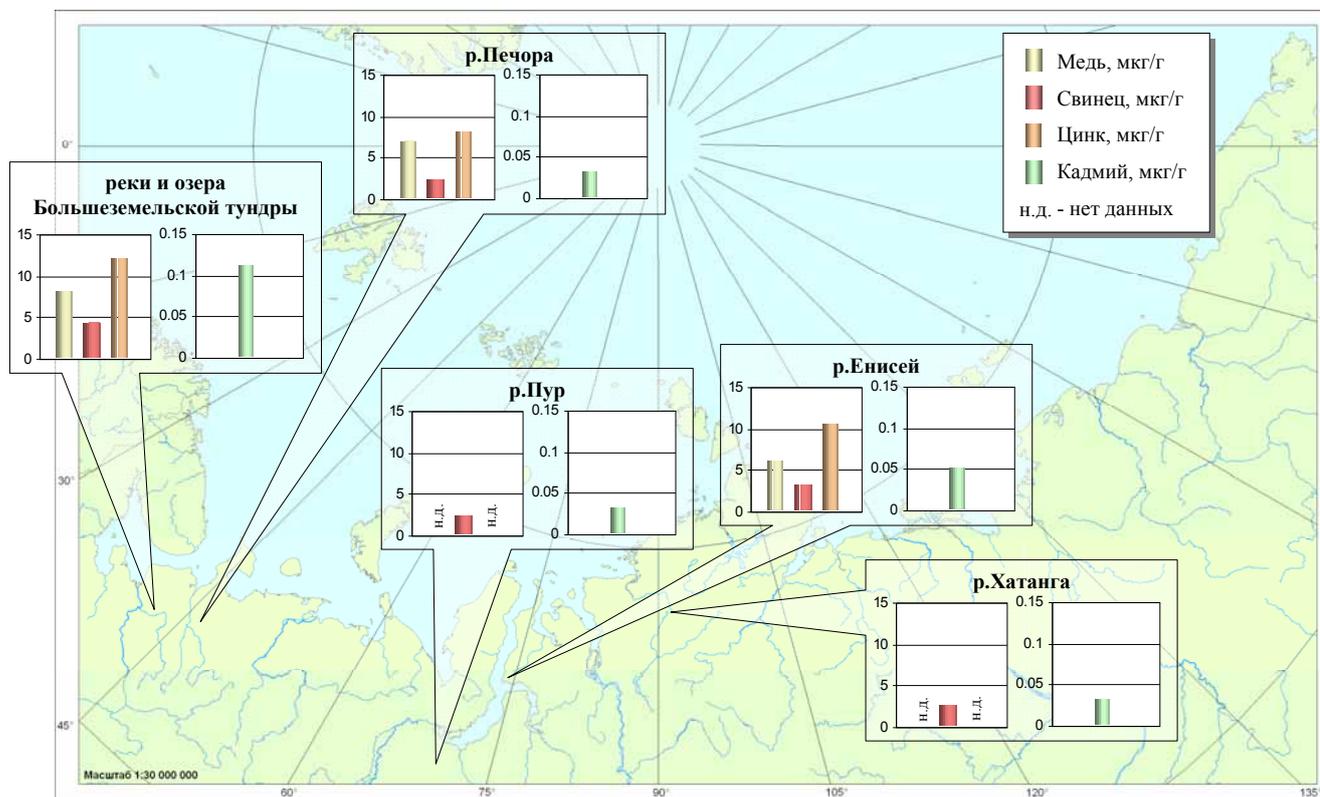


Рисунок 4.3.2.14. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях в нижнем течении рек Российской Арктики

#### 4.3.2.4.2. Характеристика загрязнения водных объектов в импактных зонах

Несмотря на то, что в устьевых областях крупных рек содержание металлов относительно низкое благодаря процессам самоочищения, в ряде арктических водных объектов в местах выпуска локальных стоков наблюдаются высокие концентрации тяжелых металлов в воде и донных отложениях, которые отражают тот или иной тип воздействия на водосборе. Обзор загрязнения водных объектов в импактных зонах арктических рек выполнен по данным Государственных докладов ... (2000-2008).

**Бассейн реки Енисей.** По состоянию на 2006 год вода в верхнем и среднем течении относится к категории “загрязненная” и “грязная”, поскольку здесь сосредоточены основные металлургические предприятия. Загрязненность вод соединениями металлов осталась на уровне предыдущих лет: среднегодовые концентрации ионов алюминия – 0-0.141 мг/л цинка – 0.009–0.051 мг/л, марганца – 0.004-0.049 мг/л, железа общего – 0.11-0.45 мг/л. Распределение среднегодовых концентраций ионов меди по всей длине реки носило неоднородный характер. На участке от с. Усть-Уса до створа “0.5 ниже г. Саяногорск”, а также в районе пос. Приморск наблюдалось резкое снижение среднегодовых концентраций с 8-16 ПДК в 2005 году до 1-6 ПДК в 2006 г. Вниз по течению реки от г. Красноярск отмечался рост концентрации ионов меди до 4-11 ПДК (2005 г. - 1-4 ПДК) Однако в нижнем течении и Енисейском заливе концентрации всех тяжелых металлов меньше ПДК.

**Бассейн реки Лена.** По состоянию на 2006 год вода рек бассейна Лены в верхнем и среднем течении (от Б. Пеледуй до г. Жиганска) относится к категории “очень загрязненная”, “грязная”. Качество воды в районе п.г.т. Пеледуй (“очень загрязненная”) не изменилось по сравнению с 2005 годом, по-прежнему доминировали соединения цинка и фенолов (86% превышений ПДК), соединения меди – 76%. Критическими показателями загрязненности воды были соединения меди с наибольшим значением концентрации 21 ПДК. Вода реки у г. Ленск характеризовалась как “загрязненная” и “очень загрязненная”. К критическим веществам относились соединения меди, концентрации которых были самыми высокими: среднегодовые – 4.9-7.0 ПДК, максимальные – 20-22 ПДК. Вода реки у г. Якутск в 2006 г. оценивалась как “грязная”. Доминирующими загрязняющими веществами также были соединения меди, среднегодовые и максимальные концентрации которых составляли 6 ПДК и 29 ПДК соответственно. Данные по концентрациям тяжелых металлов в воде и взвеси в нижнем течении реки и дельте показывают, что они значительно ниже ПДК, что позволяет отнести ее к числу наиболее чистых из крупнейших рек.

**Бассейн реки Обь.** Наибольшую антропогенную нагрузку река Обь получает в нижнем течении из притоков Томь и Чулым за счет сбросов сточных вод горнодобывающих и золотодобывающих предприятий без соответствующей очистки. Здесь вода относится к категории “очень загрязненная”, на участке от г. Нижневартовска до д. Белогорье – “грязная”, ниже по течению, на участке от п.г.т. Октябрьское до г. Салехард качество воды резко ухудшается и характеризуется как категория “очень” “грязная” и “экстремально “грязная”. Здесь критическими показателями загрязненности воды являются соединения железа, меди, цинка, марганца и нефтепродуктов. В нижней Оби, ниже г. Салехард, концентрация всех тяжелых металлов в воде резко падает и не превышает ПДК.

**Бассейн р. Индигирка.** Качество воды бассейна р. Индигирка в 2006 г. несколько ухудшилось, вода оценивалась как “грязная”. Характерными загрязняющими веществами воды бассейна остались соединения ртути и меди с повторяемостью случаев превышения ПДК 50-77%, их среднегодовые концентрации не изменились и составляли 6 и 1,1 ПДК соответственно. Загрязненность воды фенолами снизилась в 2,5 раза (до 1,2 ПДК), соединениями цинка - в 1,5 раза (до 1 ПДК); незначительно изменился уровень

загрязнения воды соединениями железа (1,4 ПДК). Наиболее загрязненным водным объектом бассейна был участок р. Индигирка у пос. Индигирский.

**Бассейн р. Колыма.** Основными источниками загрязнения поверхностных вод бассейна р. Колыма являются сточные воды предприятий золотодобывающей промышленности. Качество воды р. Колыма у г. Среднеколымск в 2006 г. ухудшилось до разряда "грязная". Загрязненность воды в обоих створах реки соединениями железа определялась как критическая, их среднегодовые концентрации возросли по сравнению с предыдущим годом до 1,3-3,4 ПДК, максимальные - до 5-11 ПДК. Среднегодовые концентрации соединений меди несколько снизились и изменились по створам контроля от 4 до 6 ПДК, максимальные значения достигали соответственно 14 и 24 ПДК. Причем в створе "1 км ниже города" соединения меди определены как критический показатель загрязненности воды.

**Малые реки Кольского полуострова.** В Мурманской области высокие уровни загрязнения малых рек носят локальный характер, однако, необходимо учитывать чрезвычайную уязвимость и слабую способность к самоочищению водных объектов в арктических условиях. Сброс сточных вод металлургическими комплексами в водные объекты с хронически высоким загрязнением воды усугубляет экологическое состояние этих водных объектов. В воде рек, протекающих по районам залегания и добычи медно-никелевых, железных руд, редкоземельных металлов, апатито-нефелинового концентрата и других руд, отмечено повышенное содержание никеля, меди, марганца, железа, фторидов и др.

В 2006 г. на водных объектах зарегистрировано 99 случаев высокого уровня загрязнения вод (концентрации загрязняющих веществ выше 10 ПДК) и 60 случаев экстремально высокого уровня загрязнения (выше 100 ПДК). Из 99 случаев высокого уровня загрязнения вод 50 случаев обусловлены большим содержанием никеля, 9 - молибдена, по 7 случаев меди, 5 - ртути. Из 60 случаев экстремально высокого уровня загрязнения вод 44 случая связаны с высоким содержанием таких металлов, как молибден - 21 случай, медь - 16, никель - 5, ртуть - 2.

Наибольшее антропогенное воздействие испытывают реки Печенга (сбросы комбината "Печенганикель"), Ньюдауй (г. Мончегорск: сбросы комбината "Североникель"), ручей Варничный (сбросы г. Мурманск :среднегодовые концентрации соединений меди 13 ПДК, максимальные 26 ПДК, соединений марганца соответственно 19 и 36 ПДК)

**Бассейн р. Северная Двина.** Характерными загрязняющими веществами вод ТМ являются соединения железа, меди, цинка. В верховье реки вода характеризовалась как "грязная". Среднегодовые концентрации соединений меди составили 8-9 ПДК, у г. Котлас - 3 ПДК, максимальная концентрация (16 ПДК) зарегистрирована у г. Великий Устюг и ниже г. Красавино. Среднегодовые концентрации соединений железа наблюдались в пределах 3 ПДК, максимальная (7 ПДК) определялась повсеместно (выше г. Красавино - 4 ПДК). Максимальные концентрации соединений марганца и алюминия (3 и 9 ПДК) определены у г. Котлас, средние за год составили 1 и 5 ПДК, соответственно.

В среднем течении реки загрязненность воды по большинству показателей в основном не изменилась ("грязная"), а в замыкающем створе у с. Усть-Пинега - повысилась: с "очень загрязненной" до "грязной". Максимальные концентрации соединений меди 8 ПДК и свинца 1.5 ПДК определены у с. Усть-Пинега..

В дельте Северной Двины загрязненность воды по большинству нормируемых показателей существенно не изменилась. Вода прот. Маймакса и рук. Корабельный характеризовалась как "грязная" и "очень загрязненная" соответственно. Среднегодовая концентрация соединений железа и марганца в воде составляла 3-4 ПДК, соединений алюминия - 2-4 ПДК, соединений цинка 2 ПДК

Река Юрас, принимающая сточные воды ряда предприятий г. Архангельск, в том

числе и ЖКХ, - одна из наиболее загрязненных в дельте р. Северная Двина. По сравнению с 2005 г. загрязненность воды ("грязная") не изменилась, несмотря на уменьшение среднегодовой и максимальной концентраций соединений меди до 1 и 3 ПДК (2005 г. - 7 и 18 ПДК). Среднегодовая (максимальная) концентрация соединений железа составила 6 (15) ПДК

**Бассейн р. Печора.** По сравнению с 2005 г. уровень загрязнения вод реки по большинству показателей существенно не изменился. Качество воды реки в районе д. Якша и д. Мутный Материк оценивалось как "весьма загрязненная", а в черте с. Усть-Кожва, у пос. Троицко-Печорск и выше г. Печора - как "очень загрязненная". Повышенные концентрации Zn, As, Ag, Cr в воде рек Уса и Колва обусловлены стоками из карьеров Печерского угольного бассейна. Среднегодовые концентрации соединений железа составляли 3-5 ПДК, соединений меди у г. Печора, д. Мутный Материк и с. Усть-Кожва - 7-8 ПДК. Концентрации соединений цинка - менее 1-2 ПДК. На устьевом участке р. Печора в створах "38 км выше г. Нарьян-Мар" и "1 км ниже г. Нарьян-Мар" качество воды изменилось с "очень загрязненной" на "грязную".

Достаточно очевидно, что все источники тяжелых металлов сосредоточены в европейской части Арктики и Западной Сибири. Это не означает, что в Восточной Сибири отсутствуют экологические проблемы. Достаточно серьезные проблемы с состоянием окружающей среды имеются в Республике Саха (Якутия), в бассейне р. Колымы, в Чукотском АО и других регионах Восточной Арктики. Однако до критического или выше критического порога ситуация в этих регионах еще не дошла.

#### **4.3.2.4.3. Элементный состав сточных вод производств, потоки в озеро Имандра**

Несмотря на выполненный выше анализ загрязнения водных объектов металлами, данные ГИДРОМЕТ службы не отражают весь спектр металлов, которые могут поступать в водные объекты, оказывая синергетическое или антагонистическое действие на биоту. Большое влияние на химический состав вод в зонах техногенеза оказывают сточные воды различных видов промышленного производства, специфика которых определяет спектр содержаний микроэлементов в воде (Моисеенко и др., 2006). Поскольку основная нацеленность промышленности в АЗРФ на добычу и переработку минерально-сырьевых ресурсов, важно иметь представление о всем спектре металлов, которые содержатся в потоках сточных вод, поступающих в поверхностные воды суши. На примере озера Имандра представлены данные по влиянию металлургического медно-никелевого ОАО "Комбинат «Североникель»" (губа Монче), апатито-нефелинового горно-обогатительного ОАО «Апатит» (губа Белая) и Кольской АЭС (губа Молочная). Сточные воды предприятий цветной металлургии являются причиной повышенных концентраций по отношению в водоемах к фоновым значениям очень большого спектра элементов: Ni, Cu, Mn, Fe, Co, Cr, Cd, Pb, As, Rb, Mo, Cs, Zr, Sb, Zn, Sc, W, Re, V, Ti, B (табл. 4.3.2.26). Степень концентрирования тех или иных элементов в зонах техногенеза определяется расстоянием от источника поступления стоков, характером их распространения, которые зависят от гидрологических и морфометрических характеристик водных объектов. В приведенном примере точка отбора проб воды была расположена на расстоянии  $\approx 10$  км от выпуска сточных вод. В наибольших концентрациях в этих стоках присутствует никель и медь, их превышение по сравнению с фоновыми значениями составляет 10 – 50 раз. Эти металлы можно считать технотипоморфными элементами медно-никелевой индустрии. В 5-10 раз происходит концентрирование таких элементов, как As, Rb, Mo, Cd, Sb, Cs, W. По отношению к ПДК рбхз содержания превышены по Ni, Mn и Cu.

Сточные воды апатито-нефелиновых горно-обогатительных производств содержат повышенные концентрации Al, Sr, Fe, Mn и других элементов в зависимости от характера

рудных месторождений.. В результате формируются большие количества отходов, загрязняющих озеро как непосредственно стоками, так и за счет пыления хвостов обогащения руд следующим спектром элементов: Al, Sr, Mn, Fe, Ti, Se, V, As, Rb, Zr, Nb, Mo, W, Re, а также элементами группы лантаноидов – La, Ce, Pr, Nd и др. Технотипоморфными элементами данного производства являются входящие в состав нефелина Al, щелочные и щелочно-земельные элементы (Sr и Rb), а также редко-земельные элементы группы лантаноидов, которые присутствуют в исходных рудах в повышенных количествах (см. табл. 4.3.2.26). Степень концентрирования наибольшая для алюминия и стронция. Несмотря на повышение фоновых концентраций по многим элементам, превышения ПДК рбхз характерны для Mn, Al и Cu.

Кольская АЭС работает на прямоточной системе охлаждения, забирая воду из плеса Йокостровский и сбрасывает в подогретом на 8-12° С в плес Бабинская озера Имандра в объеме 40-60м<sup>3</sup>/сек (Моисеенко и др., 2006). В процессе прохождения вод в системах охлаждения атомной станции, они обогащаются рядом элементов: Sc, Ti, Cr, Co, Zn, Mo, Cs, La, W, Pb (см. табл.4.5). Обогащение вод данной группой элементов, очевидно, связано как с поступлением их с промплощадки, так и выщелачиванием из металлических труб, в которых происходит охлаждение вод. Повышение в воде радиоактивных элементов, в частности урана, не отмечено, что согласуется и с результатами предшествующих исследований.

Элемент/ показатель *	Озеро Имандра (зоны техногенного загрязнения)		
	Монче <sup>1)</sup>	Белая <sup>2)</sup>	Молочная <sup>3)</sup>
Li	0,49	0,38	0,70
Rb	3,23	5,10	2,36
Cs	0,14	0,06	0,03
Cu	9,2	4,6	3,4
Ag	<0,01	<0,01	<0,01
Au	<0,02	<0,02	<0,02
Sr	36	67	56
Ba	3,91	1,43	5,17
Zn	10,3	2,8	8,4
Cd	0,59	0,05	0,05
Sc	0,24	0,02	0,42
Y	0,01	0,02	0,03
La	<0,02	0,10	0,24
Ce	<0,02	0,25	<0,02
Pr	0,01	0,03	<0,01
Nd	<0,02	0,02	<0,02
U	<0,01	0,02	<0,01
B	14,74	1,46	<0,5
Al	24,0	81,0	9,1
Ti	1,29	0,55	2,36
Zr	0,42	0,27	0,13
Sn	0,02	<0,02	0,06
Pb	1,34	0,86	1,37
V	0,10	0,24	0,05

Таблица 4.3.2.26. Содержание микроэлементов (мкг/л) в зонах влияния:

<sup>1)</sup> – медно-никелевого ОАО

“Комбинат «Североникель»”,

<sup>2)</sup> – апатито-нефелинового горно-обогатительноого ОАО «Апатит»,

<sup>3)</sup> – Кольской АЭС.

(Моисеенко и др.,2006)

Nb	0,07	0,06	<0,01
Ta	0,05	0,01	<0,01
As	0,50	0,29	0,17
Sb	0,21	0,10	0,03
Bi	<0,01	<0,01	0,01
Cr	0,30	0,06	5,24
Mo	1,26	3,58	1,23
W	0,22	0,31	0,20
Se	0,50	0,50	0,50
Te	<0,05	<0,05	<0,05
Mn	10,0	11,8	2,7
Re	0,07	0,10	0,03
Br	5,99	6,27	3,36
I	1,82	4,09	2,20
Fe	30,0	28,5	15,6
Co	0,20	0,04	0,17
Ni	17,4	7,4	3,1

#### 4.3.2.4.5. Малые озера азротехногенного загрязнения ( Кольский регион)

Химический состав вод малых озер (при отсутствии каких либо непосредственных источников загрязнения) более четко отражает зональную и региональную специфику условий его формирования, а также те глобальные антропогенные процессы, которые происходят в последнее время в окружающей среде. Исследования озер Кольского региона позволили дать оценку распределения тяжелых металлов в водах суши, а также выявить процессы миграции и обогащения вод в тундровых регионах (Моисеенко, Гашкина, 2007).

**Микроэлементы и металлы в условно-фоновых районах.** Особенностью природных вод тундрового региона является низкая минерализация вод и олиготрофный характер озер, которые обусловлены: преимущественным атмосферным их питанием (преобладанием осадков над испарением), развитием здесь устойчивых к химическому выветриванию геологических формаций (в основном представленных основными и кислыми породами), тонкого почвенного покрова (тундровые глеевые и тундровые подбуры, местами болотно-торфяные и торфяно-глеевые) и растительности (мохово-лишайниковая, ерничко-кустарниковая и лесотундровые березняки). Грубообломочная остаточная кора выветривания с высокой твердостью пород определяет низкие содержания основных ионов, особенно кальция, по минерализации озера – ультрапресные с слабокислой и кислой реакцией (pH 4.7-6.9). Влияние морских аэрозолей Баренцева моря формирует хлоридно-натриевые воды.

Высокий промывной режим в тундровой зоне обуславливает, с одной стороны, относительно низкие содержания микроэлементов с доминированием типоморфного Al, с другой стороны, близость моря обеспечивает высокие содержания, наряду с хлором, J и Br. Распределение микроэлементов имеет следующий характер:

\*10-100 мкг/л: Al>Fe>>J>Sr>

1-10 мкг/л: Cs>Br>Ba>>Mn>Ni>Ti>

0,1-1 мкг/л: Zn>Cu>Rb>Sc>Ce>Se>V>Li>La>Cr>Mo>Sn>Cd>

0,05-0,1 мкг/л: As>Zr>Pb>Y>Sb>Co

Распределение микроэлементов в лесотундровой зоне достаточно сходно с тундровой зоной:

10-100 мкг/л: Fe>Al>>Sr>  
 1-10 мкг/л: Cs>Br>Ba>Ti>J>Mn>Zn>  
 0,1-1 мкг/л: Ni>Cu>Rb>Sc>V>Ce>Se>La>Li>Cr>As>Mo>Nd>Pb>Sn>  
 0,05-0,1 мкг/л: U>Co>Y>Zr>Cd>Sb

Удаленность от моря находит отражение в снижении содержания интенсивного воздушного мигранта J. В отличие от тундры на микроэлементный состав вод лесотундры оказывает влияние наличие озер с заболоченными водосборами и высокой цветностью вод (до 260°Pt), где развитие процессов оглеения способствует выносу Fe, Mn и Al, концентрации которых в таких озерах в 9, 7 и 2 раз соответственно больше, чем в целом для зоны. Поэтому с этим связана и высокая вариабельность этих элементов в регионе (табл. 4.3.2.27).

Содержание микроэлементов в воде озер, n=45

Li	0.18 (0.11-0.65)
Rb	0.63 (0.34-1.73)
Cs	9.45 (8.17-11.2)
Cu	0.7 (0.2-2.9)
Ag	0.02 (<0.01-0.06)
Be	<0.01(<0.01-0.02)
Sr	11 (4-23)
Ba	4.23 (2.24-10.9)
Zn	0.9 (0.2-4.7)
Cd	0.09 (<0.05-0.21)
Sc	0.4 (<0.1-0.8)
Y	0.07 (0.02-0.10)
La	0.24 (0.07-0.62)
Ce	0.29 (0.12-1.13)
Pr	0.04 (0.01-0.07)
Nd	0.10 (0.04-0.21)
Th	0.01 (0.01-0.03)
U	0.03 (0.01-0.30)
Al	54.0 (13.7-180)
Ga	0.01 (<0.01-0.02)
Ti	1.79 (0.48-8.27)
Zr	0.05 (<0.02-0.15)
Sn	0.09 (0.04-0.32)
Pb	<0.1 (<0.1-0.6)
V	0.35 (<0.02-0.76)
Nb	0.01 (<0.01-0.02)
As	0.1 (<0.1-0.3)
Sb	0.04 (0.01-0.13)
Cr	0.2 (<0.1-0.5)
Mo	0.14 (0.04-0.32)
W	0.02 (<0.02-0.05)
Se	0.3 (0.1-0.7)
Mn	1.6 (0.2-18.0)
Re	<0.01(<0.01-0.08)
Fe	50.0 (4.3-600)
Co	<0.2(<0.2-0.3)
Ni	0.9 (<0.2-5.5)

Таблица 4.3.2.27. Элементный состав вод (медиана, в скобках минимальное и максимальное значения) озер тундрового и лесотундрового региона (n - количество определенных микроэлементов (Моисеенко и др., 2006).

Особенностями микроэлементного состава вод тундрового региона являются повышенные концентрации Ti вследствие увеличения его миграции в более кислых водах, по сравнению с таежным регионом, Ni и Cu как проявления региональной нагрузки от комбината «Печенганикель», а также Co, Cd и Se, которые могут являться спутниками выбросов медно-никелевой индустрии.

Важным аспектом рассмотрения элементного состава вод является оценка их обогащения или рассеивания в водах суши по отношению к содержанию в горных породах. Обследованные озера находятся в районах распространения, во-первых, магматических и метаморфических пород Балтийского щита и охватывают тундровый и таежный регионы Кольского п-ова и Карелии и, во-вторых, осадочных пород и охватывают лесной, субаридный и аридный регионы Восточно-Европейской равнины.

А.И. Перельманом (1982) предложена оценка миграции химических элементов по коэффициенту водной миграции (отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах или почвах или к кларку в литосфере) В таблице 4.3.2.28 представлены рассчитанные значения коэффициентов миграции элементов для озер тундрового региона. В случае поверхностных вод суши (озера) этот коэффициент отражает как интенсивность водной миграции, определяемую свойствами самого элемента, так и интенсивность концентрации и рассеяния, которые с одной стороны зависят от степени распространенности элемента в литосфере и участия в биохимических процессах, а с другой стороны антропогенного поступления. Расчет коэффициентов миграции для регионов осуществлялся не по отношению к значениям кларка в целом для литосферы, а к кларкам для тех пород, к которым приурочены водосборы озер. Определялось средневзвешенное значение коэффициента для региона по каждому элементу. Жирным шрифтом выделены такие элементы, как Bi, Sb, Cd, Mo, Ag, As, U, высокий коэффициент миграции которых в водах, по всей видимости, обусловлен антропогенным поступлением. Большинство этих элементов достаточно токсичны (Моисеенко, Гашкина, 2007).

Интенсивность водной миграции	Коэффициент водной миграции	Воды суши тундровые и лесотундровые регионы
Очень сильная	> 100	C, Cl, U, J, <b>Se, Cs, Re</b>
Сильная	1 - 100	Br, <b>Bi</b> , N, S, <b>Ag, Cd</b> , Ni, Na, Rb, <b>Mo, Sb, As</b> , Sc, Ca, Mg, Sn, Sr, V, Ce, B, K, Li
Средняя	0.05 - 1	W, Ba, La, Zn, Cu, Mn, Be, Pr, Si, Fe, Gd, Nd, P, Cr, Y, Th, Pb, Co, Zr,
Слабая	0.001 – 0.05	Nb, Al, Ga, Ti
Очень слабая	< 0.001	-

Таблица 4.3.2.28 Интенсивность водной миграции (концентрации и рассеяния) элементов в поверхностных водах Кольского региона (жирным шрифтом выделены редкие элементы, высокий коэффициент концентрации которых в поверхностных водах суши обусловлен преимущественно антропогенными нагрузками в глобальном масштабе, прочерк – отсутствие элементов с данным коэффициентом миграции).

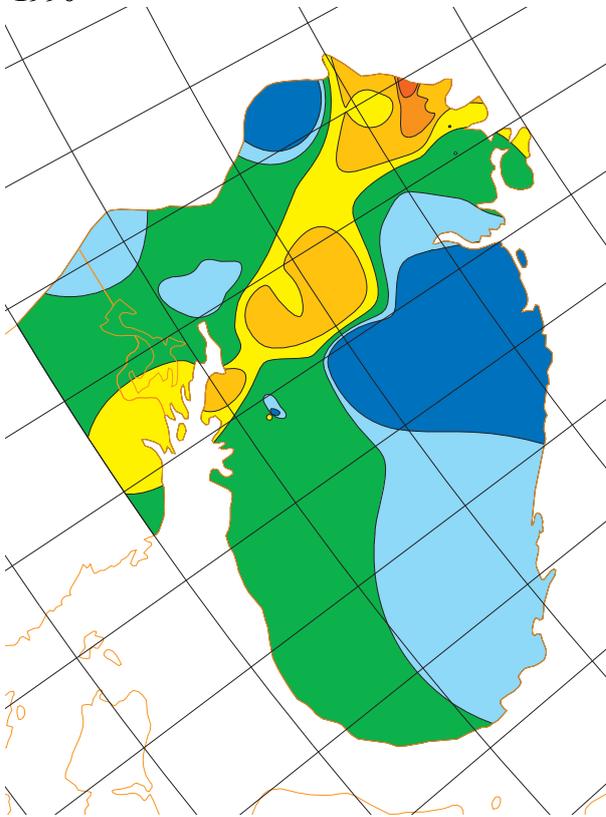
*Динамика содержаний металлов (Ni и Cu) в водах озер за последние 20 лет.* Долговременные ряды наблюдений с каждым годом приобретают все большую

значимость для оценки происходящих изменений качества водных ресурсов. В последние 20 лет резко сократились выбросы в атмосферу загрязняющих веществ как в России, так и в мире. Поэтому изменения химического состава малых озер отражают те глобальные тенденции, которые происходят в последние годы в водах суши.

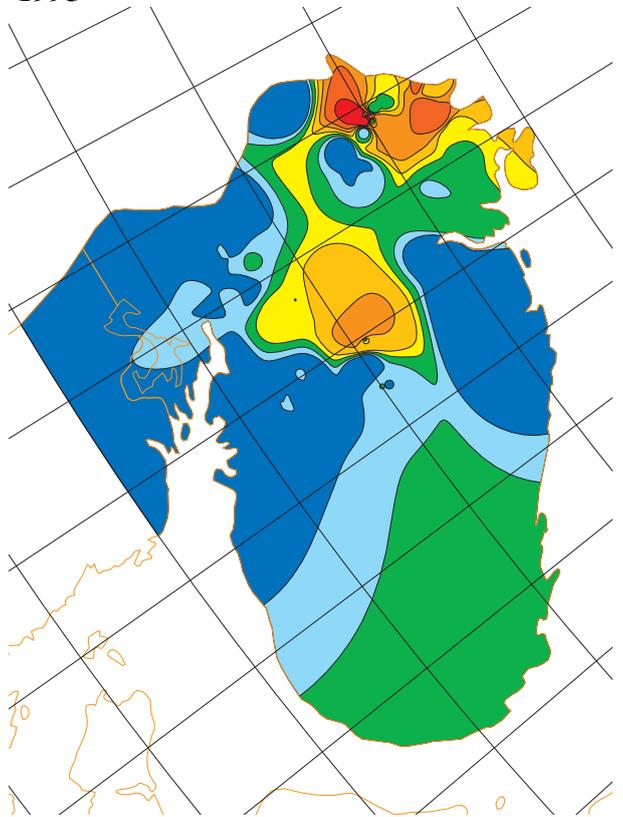
Работы по изучению пространственно-временных изменений химического состава вод были основаны на Кольском Севере в 1990 г. в соответствии с международной системой обследования озер "Survey lakes". В дальнейшем исследования были повторены в рамках проекта стран Северного Колота в 1995 г., когда было исследовано 460 озер, затем в 2000 и 2005 гг. За 20-летний период наблюдений были сформированы базы данных для ~100 озер, расположенных в западной части Кольского региона. Следует подчеркнуть, что к северным условиям приравнивается 70% территории России. Поэтому выявленные закономерности на примере модельного региона – Кольского Севера будут типичны и для большинства других северных регионов.

В последние годы наметилась тенденция снижения эмиссии тяжелых металлов и их выпадения на водосборы. Это привело к снижению содержаний никеля и меди в водах суши Кольского региона, особенно значимо по сравнению с 1990 г. Средняя концентрация никеля (медиана) в последние десять лет находится в пределах 1 мкг/л и ниже, что соответствует региональному уровню. Содержание меди также в среднем снизилось. Однако сохраняются озера, в которых концентрации никеля и меди очень высоки (более 10 мкг/л). При этом к 2005 г. по сравнению с 2000г. возросли концентрации никеля в области их низких значений, что может быть следствием активизации работы плавильных цехов после периода застоя. Визуализация распределения никеля и меди в различные временные периоды в воде озер Кольского севера отражена на рисунках 4.3.2.15 и 4.3.2.16 соответственно. Исходя из данных картосхем видно, что ареолы загрязнения этими металлами сокращаются. Вместе с тем, загрязнение вод в локальных зонах металлами остается высоким.

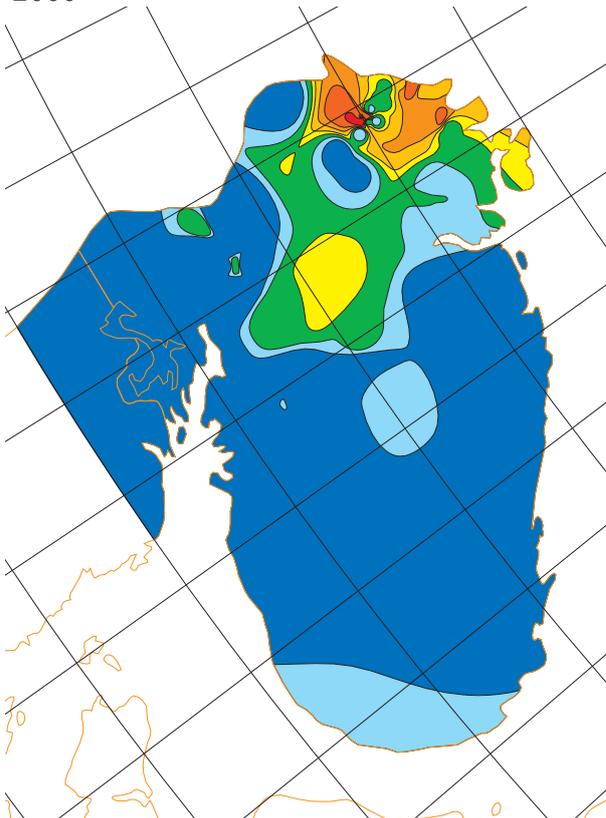
1990



1995



2000



2005

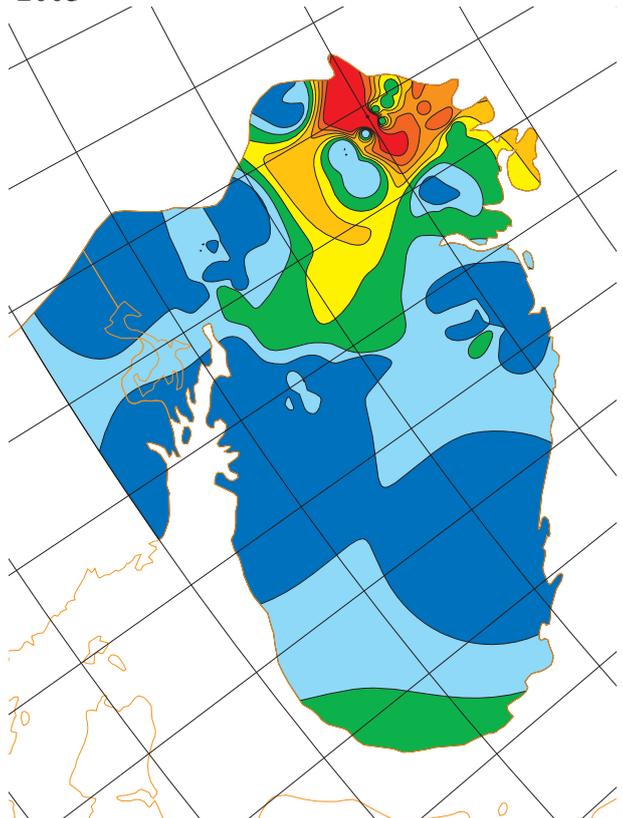
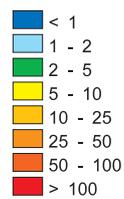
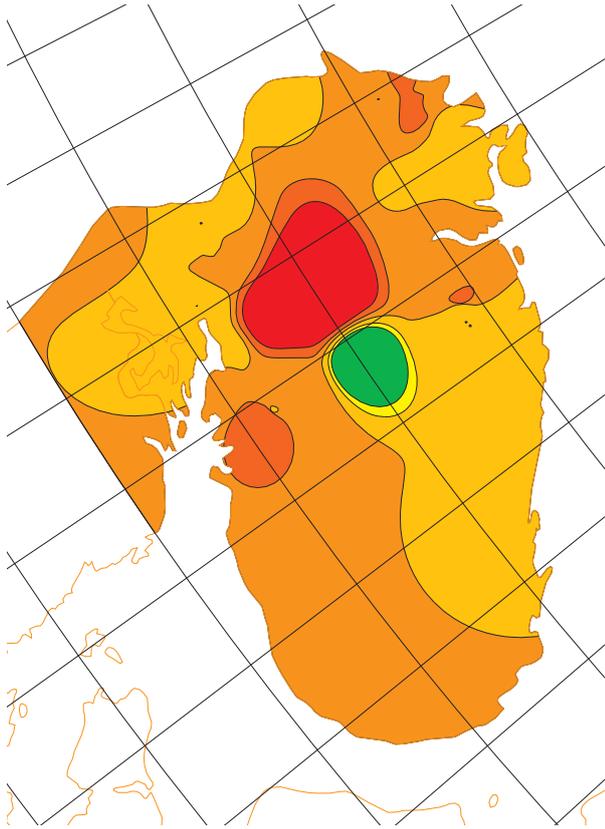


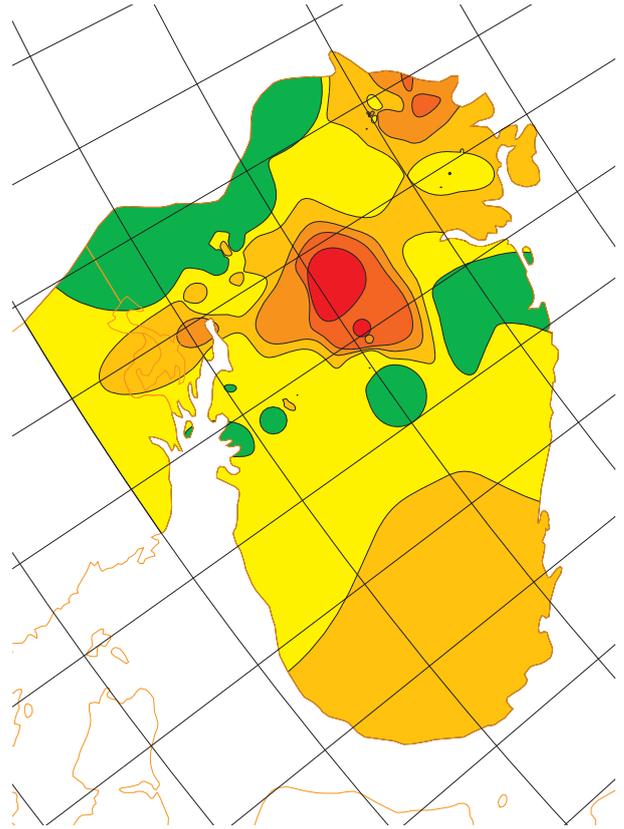
Рисунок 4.3.2.15. Визуализация распределения содержаний никеля (Ni, мкг/л) в водах озер на территории Кольского Севера по годам (1990, 1995, 2000 и 2005 гг.).



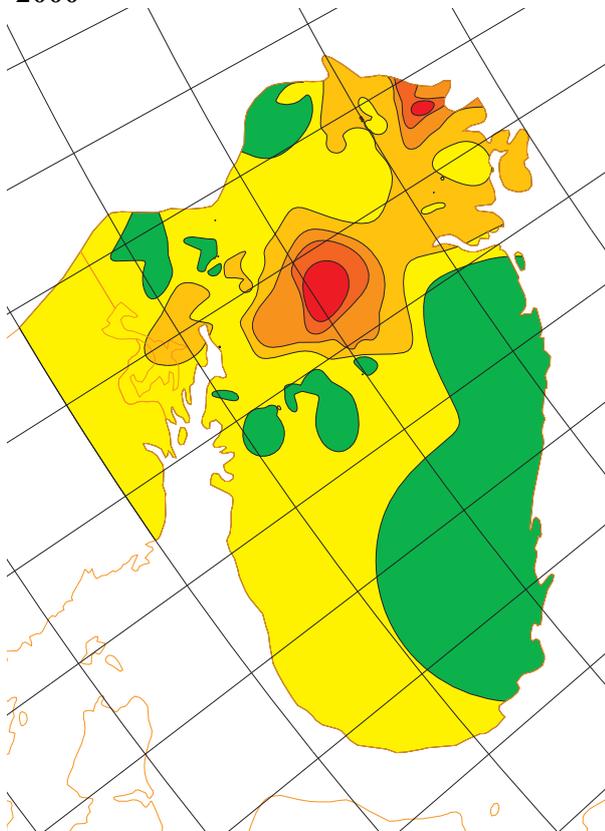
1990



1995



2000



2005

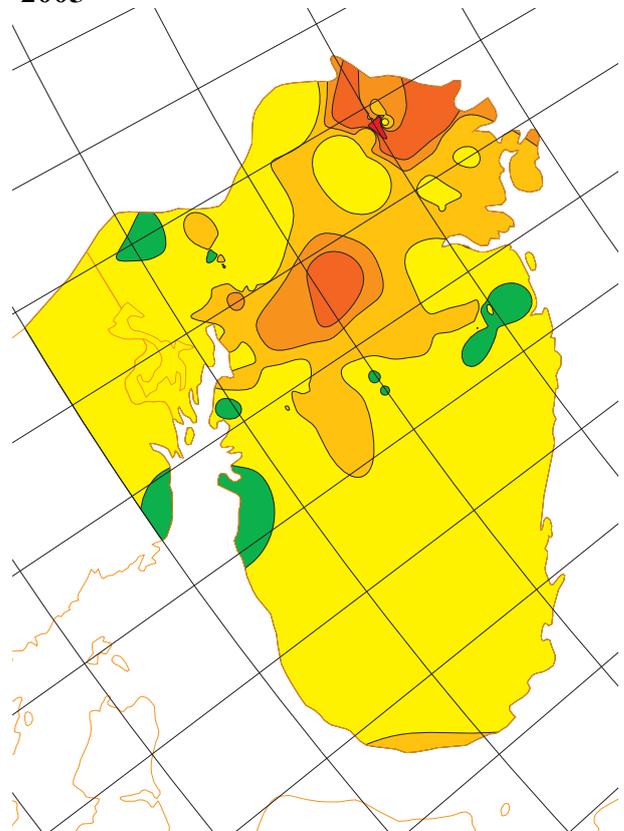
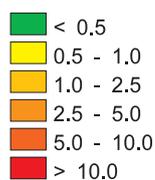


Рисунок 4.3.2.16. Визуализация распределения содержаний меди (Cu, мкг/л) в водах озер на территории Кольского Севера по годам (1990, 1995, 2000 и 2005 гг.).



#### 4.3.2.4.5. Особенности водной миграции и круговорота металлов в АЗРФ (на примере исследования озер Кольского Севера).

На примере детальных исследований на Кольском Севере выявлены основные закономерности распространения, особенности миграции и круговорота техногенно-привнесенных металлов в поверхностных водах Арктического бассейна. Металлы распространяются в составе пылевых частиц дымовых выбросов металлургических производств и теплоэнергетических объектов, поэтому радиус их влияния не так высок. На примере распределения концентраций никеля очевидно, что области высоких концентраций ограничиваются 30-км зоной. Этой же закономерности распределения подчиняется группа металлов (Cu, Co, Cr, V, Mo и др.), которые сопутствуют медно-никелевым рудам. Как правило, в прозрачных водах или обогащенных железом они присутствуют преимущественно в ионных формах и характеризуются теми же закономерностями, как при поступлении в составе стоков. Следует отметить, что в этих импактных зонах до 90 % металлов, выпадающих на подстилающую поверхность, задерживается в верхнем органогенном слое почв, которые, с одной стороны, являются барьером и препятствуют их поступлению в дренажные бассейны, с другой – накопленные в вегетационный период металлы могут являться источниками вторичного загрязнения вод. Обобщенная схема потоков и круговорота металлов в арктических озерах представлена на рисунке 4.3.2.17.

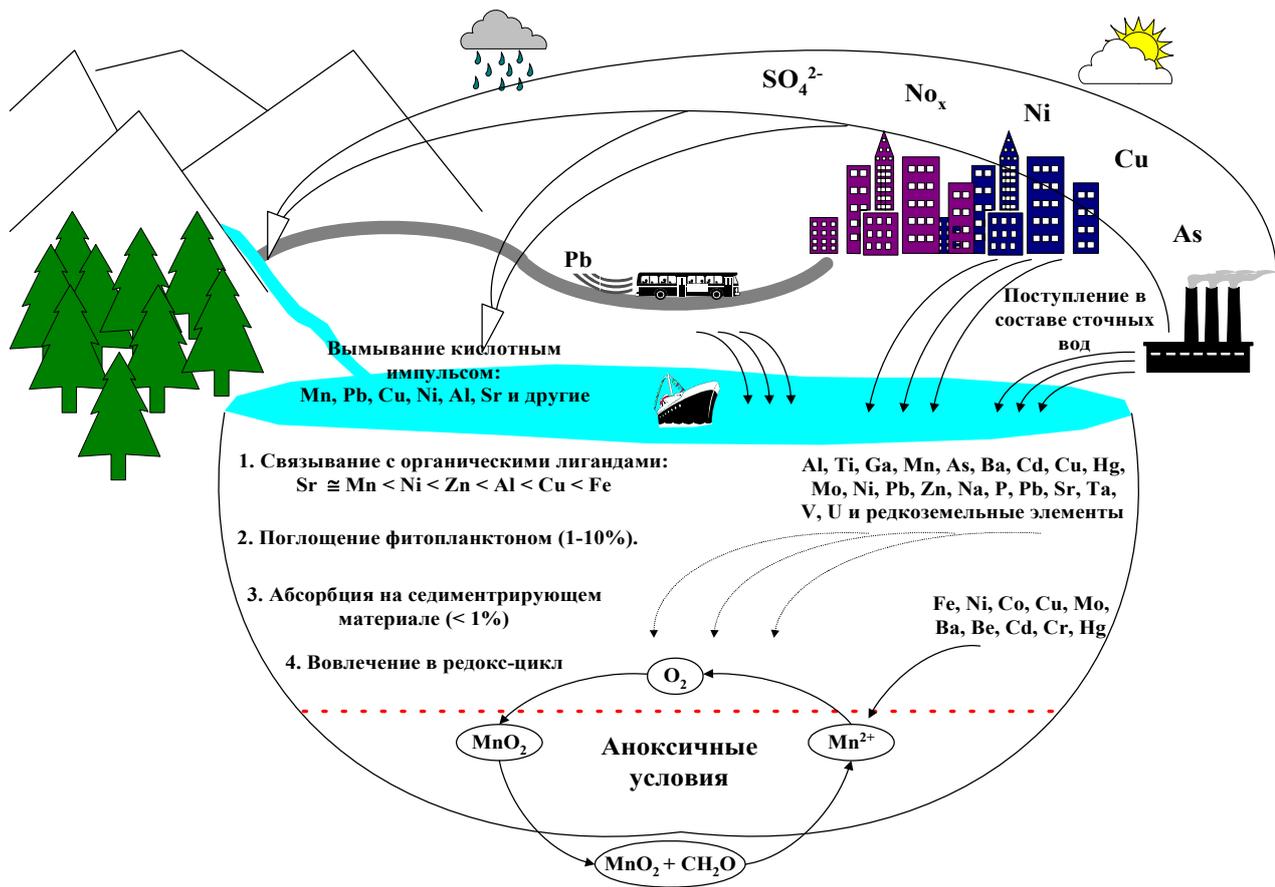
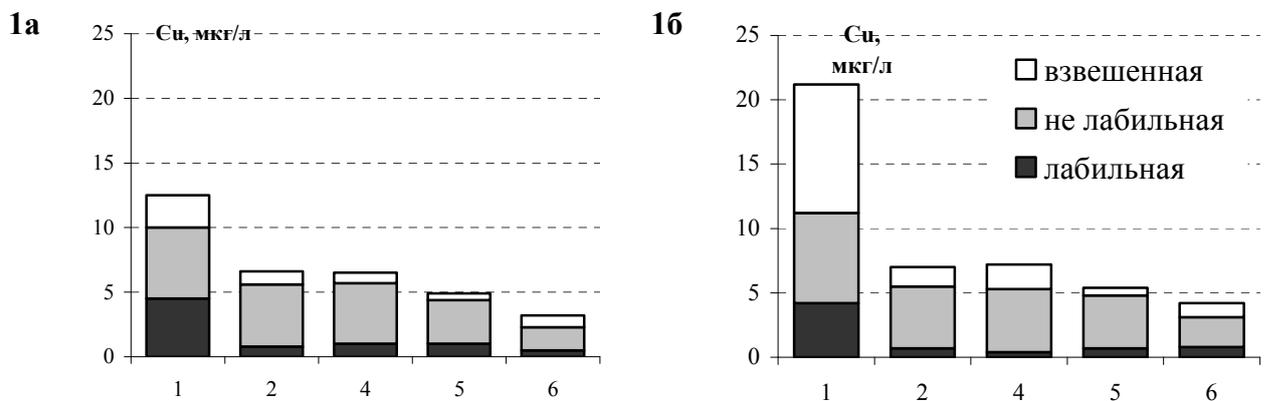


Рисунок 4.3.2.17. Обобщенная схема потоков и круговорота металлов в арктических озерах

**Формы миграции металлов.** В составе стоков металлургических производств и аэротехногенных потоков большой спектр элементов поступает в водные бассейны и мигрирует, в основном, в ионной, наиболее токсичной форме. На рисунке 4.3.2.18 показано распределение форм миграции металлов в озере Имандра.



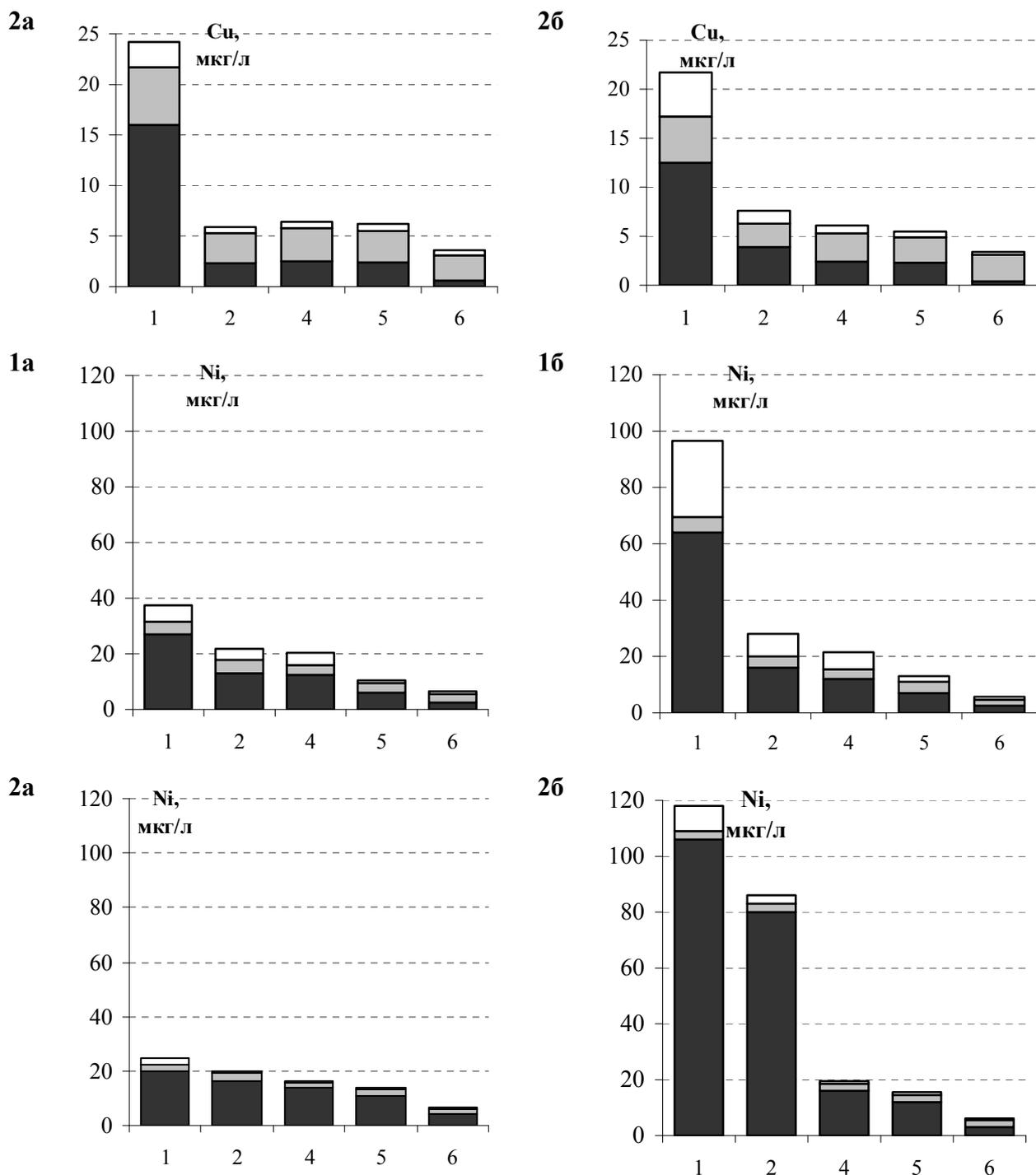
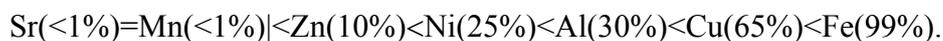


Рисунок 4.3.2.18. Формы миграции меди и никеля по ходу распространения сточных вод плавильных цехов медно-никелевого производства в озере Имандра: 1а – летний период, поверхностных слой; 1б - летний период придонный слой. 2а- зимний период, поверхностный слой; 2б- зимний период придонный слой. По оси абсцисс показаны зоны по мере удаление от источника сброса металлов: 1) 1-10км, 2) 10-30км, 3) 30-50 км, 4) 50-80 км, 5) 80-100км, 6) – более 100км.

Содержание лабильных (ионных) форм металлов в водах Севера значительно превышает количество связанных и закомплексованных вследствие чрезвычайно низкой комплексообразующей способности вод в арктических регионах - сумма нелабиальных форм рассматриваемых элементов в среднем (для примера, в озере Имандра) не превышает 20 мкг/л, что составляет менее 15% от общего содержания элементов. Основной причиной низкой комплексообразующей способности является чрезвычайно

малые содержания взвешенных частиц (<1 мг/л) и органических веществ в воде олиготрофных озер Арктического бассейна (4,5 мг/л). По данным Родюшкина (1995) 1 мг/л органического вещества может связать 4,4 мкг/л условного металла. Адсорбция металлов на осаждающемся материале вследствие его низких содержаний в водах Севера очень низка и практически не влияет на концентрацию лабильных форм в воде (Moiseenko, 1999).

По способности к комплексообразованию с органическими лигандами в поверхностных водах металлы располагаются в следующий ряд (Родюшкин, 1995):



Дефицит органических лигандов приводит к конкурентному связыванию с ними металлов, т.е. при низких концентрациях органического вещества, в первую очередь, будет связано железо (для вод Кольского Севера 80-95% органических лигандов расходуется на комплексы с железом), затем Cu и Al, остальные элементы находятся в виде ионов (что согласуется с данными прямых измерений). В субарктических водах присутствие железа будет увеличивать степень содержания ионных форм других металлов, т.е. их токсичность.

Поглощение металлов фитопланктоном даже в период летней вегетации не более 30% от содержания элемента во взвешенной фракции, которая в целом низка и варьирует для различных металлов. Для примера, если содержание железа в составе фитопланктона олиготрофного озера в период максимума вегетации, по нашим данным, составляет до 18% от общего содержания элемента (от 40-50мкг/л), меди - до 6%(от 4-5мкг/л), никеля - до 3%(от 8-12мкг/л), то остальных - значительно ниже. В осенне-зимний периоды значения биопоглощения металлов водорослями еще ниже (Moiseenko et al. 1996).

**В условиях эвтрофирования** в периоды открытой воды и высокого насыщения вод кислородом биопоглощение элементов водорослями может несколько возрасть. Однако в зимний, подледный, период при появлении кислородного дефицита в придонных слоях воды резко увеличивается значимость процессов десорбции на границе вода ↔ донные отложения, которые ведут к повышению концентраций ряда элементов многократно. Данный феномен достаточно хорошо известен для меди и железа, последними исследованиями показано, что в этот процесс вовлекается большой спектр металлов - концентрация элементов в придонных слоях увеличивается, например для Ni, Mo, Cr, Ba, As до 10, Pb, Cu, Hg - до 5 – 10 раз (Moiseenko, 1999). В таблице 4.3.2.29 приведены данные по концентрациям металлов в верхних слоях воды и придонных в зимний период развития кислородного дефицита у дна на примере загрязнения плеса Большая Имандра (Моисеенко и др., 2007).

Таблица 4.3.2.29. Концентрации (мкг/л) растворенных и взвешенных форм металлов в поверхностных и придонных слоях водной толщи эвтрофируемого озера Имандра (глубина в точке отбора проб 30 м). В числителе среднее значение, в знаменателе – пределы варьирования

Элементы	Глубины			
	2-4 м от поверхности		27-29.5 от поверхности	
	Растворенная	Взвешенная	Растворенная	Взвешенная
Mn	$\frac{1}{0.81-1.16}$	$\frac{1300}{1000-1500}$	$\frac{161.6}{18.8-325}$	$\frac{221500}{113900-315200}$
Fe	$\frac{1.8}{1.5-2.1}$	$\frac{2800}{2600-2900}$	$\frac{4.4}{3.5-5.8}$	$\frac{28000}{24800-32200}$
Al	$\frac{5.1}{3.5-6.5}$	$\frac{1800}{1300-2100}$	$\frac{5.1}{3.5-8}$	$\frac{5100}{4700-5700}$

Ni	<u>8.5</u> 6.2-11.1	<u>0.15</u> 0.1-0.17	<u>22.2</u> 21.5-22.6	<u>3.6</u> 1.07-4.9
Zn	<u>0.6</u> 0.4-0.7	<u>0.026</u> 0.024-0.03	<u>0.9</u> 0.2-2.5	<u>0.16</u> 0.83-0.22
Co	<u>0.2</u> 0.06-0.45	<u>0.005</u> 0.0025-0.0063	<u>0.07</u> 0.06-0.08	<u>0.025</u> 0.01-0.043
Ba	<u>1.6</u> 1.5-1.7	<u>0.067</u> 0.062-0.073	<u>6.1</u> 1.2-14	<u>0.84</u> 0.4-1.14
Cd	<u>21</u> 19-23	<u>3.6</u> 3-4.1	<u>48</u> 43-53	<u>6.8</u> 5.7-7.8
Cu	<u>4.3</u> 3.5-4.6	<u>0.064</u> 0.053-0.076	<u>4.4</u> 3.5-5.8	<u>0.37</u> 0.22-0.44
Mo	<u>1.9</u> 1.5-2.1	<u>0.006</u> 0.004-0.011	<u>1.3</u> 0.4-1.4	<u>0.37</u> 0.12-0.74
Sr	<u>61</u> 59-64	<u>92.7</u> 68-126	<u>69</u> 68-70	<u>312.3</u> 261-349
Pb	<u>12</u> 8-17	<u>12.3</u> 11.1-14.2	<u>17</u> 6-42	<u>22.3</u> 17.4-27.7
As	-	<u>1.9</u> 1.5-2.4	-	<u>14.9</u> 13.3-17.8
Cr	<u>0.25</u> 0.2-0.26	<u>0.016</u> 0.014-0.018	<u>0.22</u> 0.14-0.28	<u>0.04</u> 0.030-0.056
Hg	-	<u>0.6</u> 0.4-0.9	-	<u>2</u> 1.2-3.3

**В условиях закисления** содержание ионных форм металлов возрастает вследствие их выщелачивания кислыми осадками из слагающих пород и высвобождения из донных отложений. Доказано, что не столько низкие значения рН, как ионные формы Al оказывают токсичное влияние на биоту. Для других металлов этот феномен также доказан (Моисеенко и др., 2006). В восточных тундровых озерах Кольского Севера (условно фоновые районы), где не развита промышленность, содержание многих элементов в закисленных озерах высокое по сравнению с водоемами, где рН вод близки к нейтральным. Очевидно, что высокие концентрации имеют мозаичную структуру, связанную с развитием уязвимых геологических формаций. Этой закономерности подчиняется распространение таких элементов, как Al, Cd, Zn, Sr и др. Особенно критическая ситуация создается в северных регионах в период половодья, когда талые снеговые воды с высоким содержанием накопленных металлов и протонов стремительно поступают в водосборные бассейны. Резкое снижение рН сопровождается увеличением содержания многих металлов в ионных формах. На рисунке 4.3.2.19 отражено повышение доли лабильных форм металлов в период половодья.

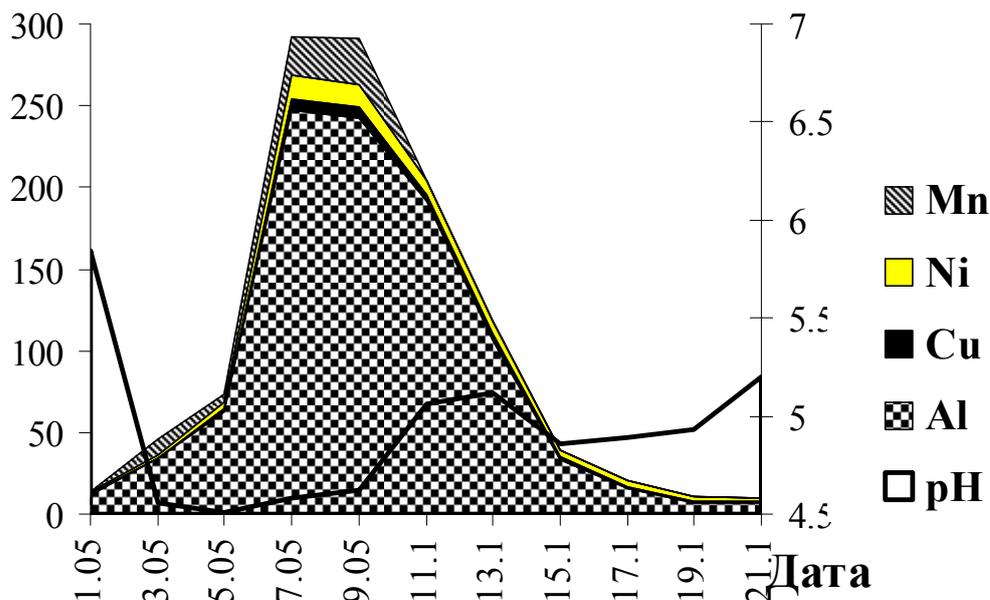


Рисунок 4.3.2.19. Пиковое увеличение концентраций ионных форм металлов в период половодья на тундровом ручье. Наибольший вклад в формирование «ударной» токсичной зоны имеет алюминий.

По расчетам, до 75% годового стока металлов с водосбора в условиях Крайнего Севера поступает в озера в короткий период интенсивного снеготаяния (Moiseenko, 1999), что в сочетании с низкими pH создает экстремальные условия для водных обитателей.

#### 4.3.2.4.6. Накопление металлов в донных отложениях озер

Донные отложения накапливают сведения о прошлых химических условиях, существующих на водосборе и в самом водоеме, поэтому по реконструкции химического состава можно определить тенденции и интенсивность загрязнения водосборной территории (Даувальтер и др., 2000). Изменение геохимического состава донных отложений на водосборе Белого моря происходит под воздействием: 1) сточных вод; 2) распространения металлов в составе дымовых выбросов от локальных производств и трансграничных переносов веществ из загрязненной Европы; 3) кислотного выщелачивания.

Влияние сточных вод. Примером интенсивного загрязнения донных отложений является озеро Имандра. Вследствие многолетнего загрязнения сточными водами металлургических и апатито-нефелиновых горно-обогатительных производств донные отложения (ДО) озера претерпели серьезные преобразования геохимического состава по всей акватории под воздействием как прямого поступления сточных вод предприятий горно-металлургического комплекса (Большая и Йокостровская Имандры), так и аэротехногенного загрязнения водосбора озера и ветровых нагонных течений (Бабинская Имандра) (Даувальтер и др., 2000). В поверхностных слоях ДО плеса Большая Имандра происходит лавинное увеличение концентраций Ni и Cu по сравнению с глубокими фоновыми слоями. В Монче-губе, непосредственно принимающей сточные воды комбината «Североникель», концентрации Ni в поверхностных слоях донных отложений увеличились по сравнению с фоновыми значениями в 320 раз, Cu – более чем в 50 раз (рис. 4.3.2.20). По мере удаления от источников загрязнения разница в концентрациях в поверхностных и фоновых слоях ДО становится меньше, но даже и в удаленном от

основных источников загрязнения, например в плесе Бабинская Имандра, превышение концентраций в поверхностных слоях достигает нескольких единиц.

При повышении концентраций Ni и Cu в поверхностных загрязненных слоях ДО оз. Имандра увеличивается доля подвижных форм, тем самым увеличивается экологическая опасность для гидробионтов и для экосистемы озера в целом. С увеличением валовых концентраций Mn и Fe в поверхностных ДО оз. Имандра, в отличие от Ni и Cu, процент их подвижных форм, наоборот, снижается. Для щелочных металлов Na и K, которые поступают в озеро не только из природных источников, но приносятся также со сточными водами промышленных предприятий, также как и для Ni и Cu, характерно небольшое увеличение процента подвижных форм (Даувальтер, 2002)

Учитывая мощность загрязненного слоя ДО, среднюю концентрацию элементов в этом слое в различных акваториях оз. Имандра В.А. Даувальтером и др. (2002) было рассчитано, что за более чем 60-летний период деятельности предприятий горно-металлургического комплекса на территории водосбора в ДО накоплено 4600 т Ni, 960 т Cu, 120 т Co, 250 т Zn, 11 т Cd, 200 т Pb. Распределение ТМ в воде и ДО отдельных плесов озера определяется расположением точечных выпусков сточных вод предприятий горно-металлургического комплекса и схемой течений в озере. Накопленные в ДО металлы могут представлять опасность загрязнения воды озера этими металлами в будущем, в особенности в плесе Большая Имандра, например, при развитии процессов эвтрофирования озера.

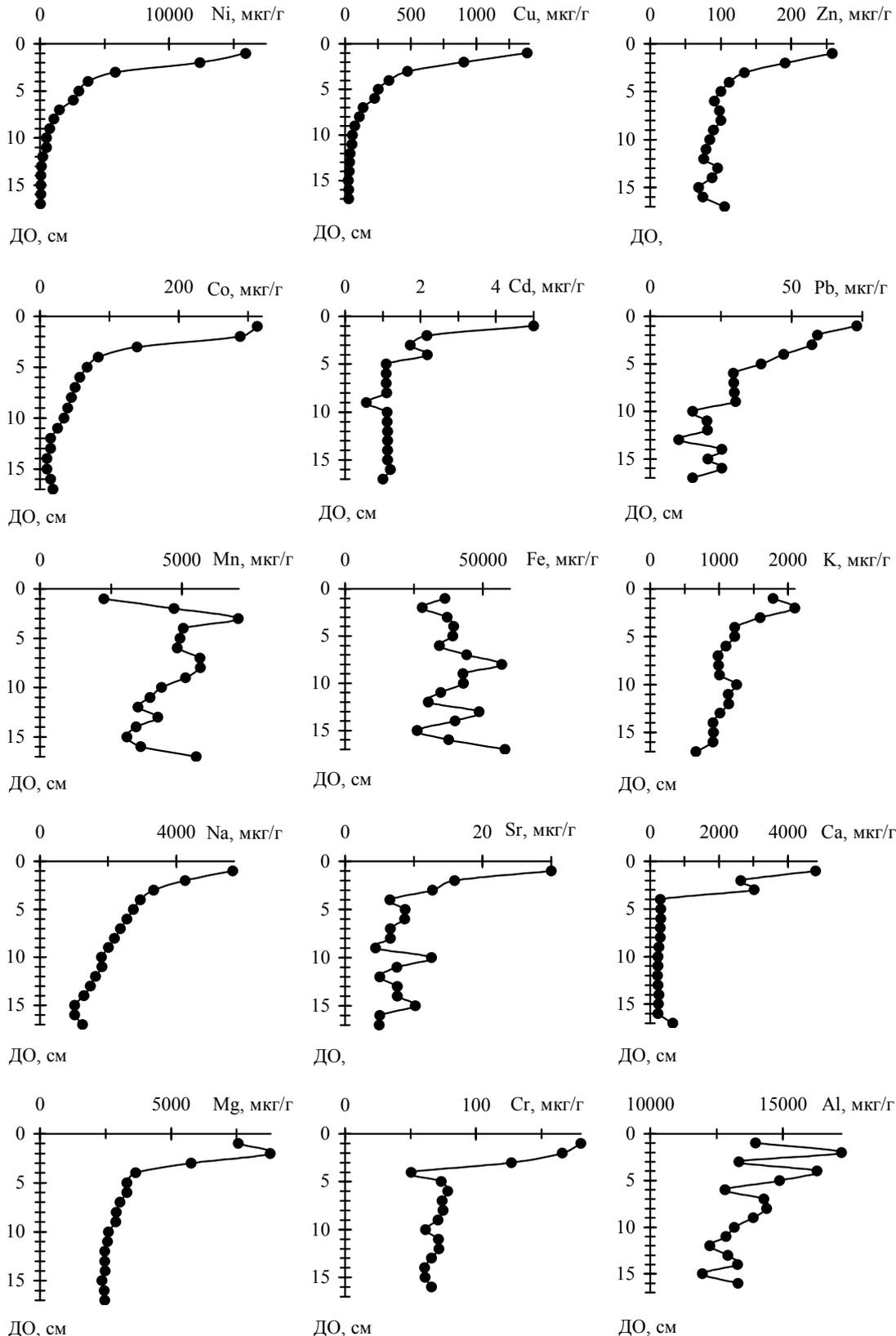


Рисунок 4.3.2.20. Накопление металлов в донных отложениях в районе распространения стоков комбината «Североникель». Монче-губа озера Имандра .

*Влияние аэротехногенного загрязнения.* Изучение горных озер дает информативную базу для оценки последствия глобального и локального загрязнения атмосферы. Ретроспективный анализ геохимического состава донных отложений озера в Чуна-тундре, не подверженного каким-либо прямым антропогенным воздействиям, выявил аккумуляцию ряда элементов на протяжении всего прошлого столетия (рис. 4.3.2.21.) несмотря на их низкие содержания в воде. Накопление Ni, Cu и Co отмечается с 40-х годов XX века и однозначно связано с индустриальным развитием Кольского региона и началом функционирования плавильных цехов по переработке медно-никелевых руд, что закономерно.. В последние годы большую тревогу у мировой научной общественности вызывает глобальное нарастание в окружающей среде содержаний таких элементов, как кадмий и свинец.

Результаты исследований ДО озера в Чуна-тундре показали, что с конца 18-го столетия происходит накопление Pb. В этот период Кольский Север был не освоенной территорией и начальный этап накопления Pb может быть связан только с переносом загрязненных воздушных масс из индустриальной Европы. Следует отметить, что наши данные согласуются с результатами исследований американских ученых, которые отмечают глобальное обогащение северной хемосферы свинцом (Norton et al., 1992).

Динамика накопления Cd более сложная. К концу 19-го столетия отмечается снижение его концентрации и последующее увеличение к 30-40 годам 20- го столетия, некоторое снижение к середине 70-х и опять аккумуляция в поверхностном слое (Моисеенко и др, 2000).

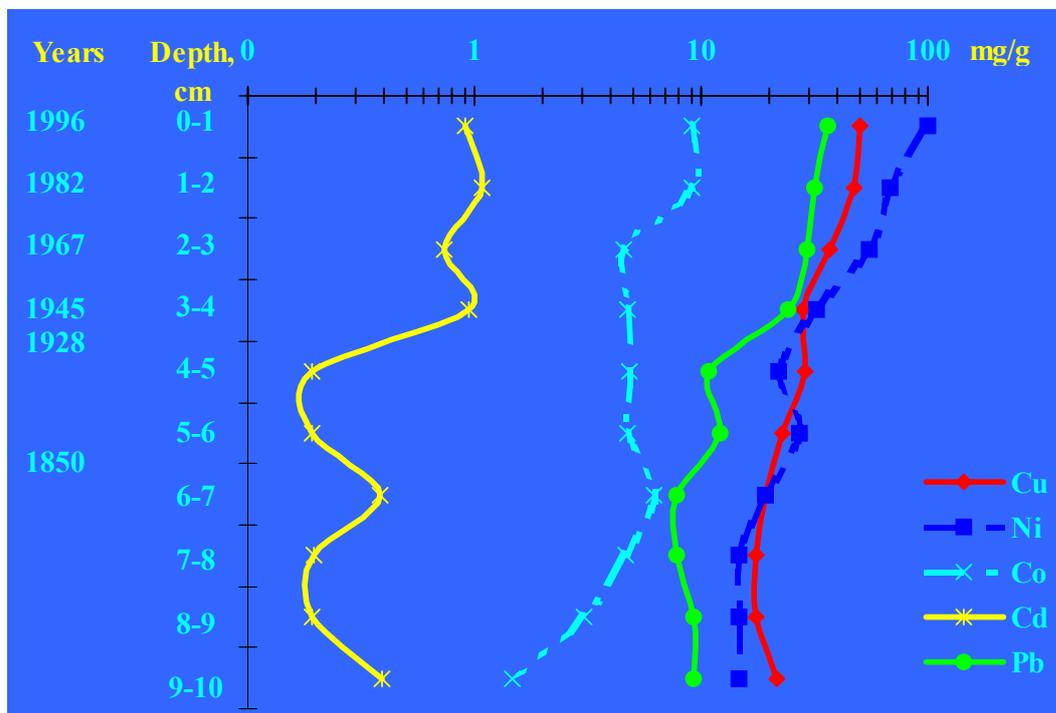


Рисунок 4.3.2.21. Накопление металлов в донных отложениях горного озера Чуна - тундры в исторической ретроспективе.

С позиций оценки развития закисления вод становится объяснимым сопряженное поведение таких лабильных элементов, как Cd и Zn. Способность этих элементов к активному выщелачиванию из окружающих пород под действием кислотных осадков

широко известна (Моисеенко и др., 2006). С началом антропогенного закисления может быть связано снижение их содержания в донных отложениях, сформированных в конце позапрошлого столетия. Сопряженные пики снижения рН и Cd в середине 70-х годов могут быть связаны с переходом Кольских медно-никелевых производств на плавку норильской руды и резким увеличением выброса SO<sub>2</sub>, что наглядно зафиксировалось в донных отложениях.

Таким образом, с началом индустриального развития Европы, обозначилась аккумуляция Pb, Cd и других элементов, что подтверждает глобальное загрязнение атмосферы северного полушария с конца 19-го – начала 20-го века. Тенденция к антропогенному закислению озера, реконструированная по составу диатомовых комплексов в донных отложениях, также связана с переносом кислотообразующих веществ из индустриально развитой Европы в конце 19-го столетия. В середине прошлого столетия, с началом развития местной промышленности в регионе, аккумуляция металлов увеличивается, как следствие обогащения ими верхних слоев атмосферы (Моисеенко и др., 2000).

#### 4.2.3.4.7. Накопление металлов в рыбах как отражение геохимического фона и антропогенной нагрузки в Арктике

Изменение геохимических циклов в арктических регионах под влиянием горно-металлургической индустрии приводит к повышению уровня их содержания в окружающей среде, обуславливает нарушение микроэлементарного состава живых организмов и появление ряда заболеваний. Водоемы в конечном итоге являются коллекторами многих видов загрязнения, а рыбы - достаточно удобным и информативным тест-объектом для экотоксикологической оценки последствий образования техногенных геохимических аномалий. Концентрации ртути, кадмия и свинца в рыбах условно-фоновых регионов АЗРФ находятся на уровне содержаний в северных финских и норвежских озерах. Однако содержание этих элементов в органах и тканях рыб заметно увеличивается в условиях закисления и загрязнения стоками горно-металлургического производства. В зонах аэротехногенного загрязнения содержания таких опасных элементов как Hg, Cd, Pb выше, чем в импактных зонах индустриальных центров. Причиной аккумуляции Pb может также являться обогащение этим элементом северной хемосферы, аккумуляция Hg, Cd, As в организме рыб отражает воздействие стоков горной и металлургической индустрии, а также опосредованное выщелачивание кислотными дождями, что согласуется с литературными данными (табл.4.3.2.20).

Таблица 4.3.2.30. Накопление наиболее опасных элементов As, Hg, Cd и Pb (мкг/г сухого веса) в системах организма рыб в зонах различных видов антропогенного воздействия (Кольский Север России).

	Районы распространения аэротехногенного загрязнения	Зона влияния стоков медно-никелевого производства	Зона влияния стоков апатито-нефелиновой индустрии
	<i>КУМЖА, n=5</i>	<i>СИГ, n=5</i>	<i>СИГ, n=5</i>
	<b>As</b>		
печень	$\frac{0,013 \pm 0,008}{0-0,04}$	$\frac{0,12 \pm 0,04}{0,02-0,25}$	$\frac{0,32 \pm 0,09}{0,065-0,60}$
почка	$\frac{0,016 \pm 0,011}{0-0,061}$	$\frac{0,43 \pm 0,25}{0,04-1,15}$	$\frac{0,61 \pm 0,04}{0,52-0,72}$
мышцы	0	$\frac{0,039 \pm 0,023}{0-0,128}$	$\frac{0,25 \pm 0,11}{0,12-0,57}$

скелет	0	$\frac{0,12 \pm 0,04}{0,021-0,25}$	$\frac{0,41 \pm 0,08}{0,20-0,58}$
жабры	$\frac{0,014 \pm 0,011}{0-0,058}$	$\frac{0,25 \pm 0,09}{0,04-0,42}$	$\frac{0,53 \pm 0,07}{0,40-0,60}$
<b>Hg</b>			
печень	$\frac{0,24 \pm 0,019}{0,18-0,29}$	$\frac{0,11 \pm 0,024}{0,05-0,19}$	$\frac{0,18 \pm 0,017}{0,14-0,22}$
почка	$\frac{0,18 \pm 0,033}{0,11-0,29}$	$\frac{0,084 \pm 0,023}{0-0,13}$	$\frac{0,28 \pm 0,08}{0,077-0,48}$
мышцы	$\frac{0,042 \pm 0,012}{0,015-0,078}$	$\frac{0,05 \pm 0,009}{0,03-0,08}$	$\frac{0,07 \pm 0,029}{0,032-0,16}$
скелет	$\frac{0,064 \pm 0,013}{0,017-0,091}$	$\frac{0,079 \pm 0,008}{0,06-0,11}$	$\frac{0,18 \pm 0,07}{0,065-0,40}$
жабры	$\frac{0,086 \pm 0,015}{0,042-0,13}$	$\frac{0,15 \pm 0,06}{0,04-0,39}$	$\frac{0,24 \pm 0,09}{0,069-0,49}$
<b>Cd</b>			
печень	$\frac{5,48 \pm 0,77}{4,3-7,6}$	$\frac{0,78 \pm 0,35}{0,12-2,05}$	$\frac{0,29 \pm 0,13}{0-0,72}$
почка	$\frac{5,51 \pm 0,28}{4,72-5,97}$	$\frac{1,93 \pm 0,36}{0,82-2,64}$	$\frac{1,40 \pm 0,36}{0,08-2,3}$
мышцы	$\frac{0,032 \pm 0,014}{0,006-0,071}$	$\frac{0,002 \pm 0,002}{0-0,007}$	$\frac{0,003 \pm 0,003}{0-0,014}$
скелет	$\frac{0,22 \pm 0,10}{0,07-0,61}$	$\frac{0,009 \pm 0,009}{0-0,043}$	$\frac{0,022 \pm 0,022}{0-0,088}$
жабры	$\frac{0,98 \pm 0,13}{0,69-1,37}$	$\frac{0,022 \pm 0,012}{0-0,064}$	$\frac{0,001 \pm 0,001}{0-0,005}$
<b>Pb</b>			
печень	$\frac{0,23 \pm 0,13}{0-0,73}$	$\frac{0,007 \pm 0,007}{0-0,035}$	0
почка	$\frac{0,78 \pm 0,15}{0,46-1,34}$	$\frac{0,052 \pm 0,035}{0-0,17}$	$\frac{0,21 \pm 0,04}{0,07-0,31}$
мышцы	0	0	0
скелет	$\frac{0,27 \pm 0,23}{0-1,2}$	0	$\frac{0,003 \pm 0,003}{0-0,017}$
жабры	$\frac{0,046 \pm 0,041}{0-0,21}$	0	0

**Медно-никелевые техногенные аномалии.** Накопление никеля в системах организма закономерно увеличивается по мере повышения его концентрации в воде; максимально - в почке сигов (рыб-бентофагов) из зон влияния стоков металлургических производств - до 51 мкг/г сухого веса. В районах загрязнения никелем наиболее часто встречаемая патология рыб - почечно-каменная болезнь. Установлена достоверная связь между накоплением Ni в почке и развитием эндемичных патологий у рыб - нефрокальцитоза. В природных водоемах у рыб данное заболевание диагностировано впервые. При концентрации никеля в воде до 3-5 мкг/л создается риск для появления этой патологии. Аналогичные патологии у рыб выявлены и в районе Норильского комбината, в озерах Пясинской системы (Савваитова, 1995).

Наибольшей аккумулирующей способностью по отношению к никелю обладают почки, что может привести к развитию у рыб фиброэластоза и нефрокальцитоза. В техногенных геохимических провинциях не всегда высокие содержания элементов в

окружающей среде приводят к накоплению их в системах организма. По отношению к биофильным элементам (Cu, Co, Zn) в органах, где протекают активные обменные процессы (печень, почки), перераспределение элементов может происходить в сторону снижения обеспеченности ими организма. Это может быть связано как с их замещением элементами-загрязнителями (в данном случае никелем), так и разрушением элементосодержащих ферментных систем и патологическим перерождением органов.

**Стронциевые геохимические провинции.** Стронций преимущественно накапливается в костной основе рыб, что приводит к развитию у них сколиоза и остеопароза. В высоких концентрациях стронций способен накапливаться и в мягких тканях, в стронциевых провинциях его содержание в функционально-важных органах становится сопоставимым с таким эссенциальным элементом, как цинк. У рыб из озер с высоким содержанием стронция регистрировались патологии костных тканей: сколиоз и остеопароз, что проявляется в искривлении позвоночника, отсутствии нормального окостенения черепной коробки - кости черепа прозрачны, часто деформированы. Заболевание с данными симптомами в медицине получило название остеопароза, его этиология связана с замещением солей кальция другими элементами. В условиях Кольского Севера (ОАО "Апатит") данным замещающим элементом может являться стронций. Следует учитывать природную низкую насыщенность кальцием вод Субарктики, что усиливает проникновение в организм замещающих элементов. Способность многих элементов к более высокой аккумуляции в низкоминерализованных водах отмечена рядом исследователей (Моисеенко и др., 2006).

**Закисленные провинции.** Закисление вод приводит к повышению фоновых значений большого спектра элементов, в первую очередь, алюминия. Наряду с накоплением Al доказана биоаккумуляция в живых организмах таких опасных элементов, как Hg, Cd, Zn, Pb и др.

В таблице 4.3.2.31 приведены данные по аккумуляции некоторых элементов в организме окуня и гольца из закисленных и нейтральных озер. В закисленных озерах (оз. Окуновое и др.) при pH < 5 встречены были только взрослые особи окуня, при pH < 6 может присутствовать голец (оз. Дальватен). Содержание алюминия в рыбах из закисленных озер было выше более чем в два раза по сравнению с нейтральными, что полностью согласуется с литературными данными. Для других элементов также характерно более высокое накопление при близких уровнях содержания в воде. Выявлен феномен более активного поглощения многих элементов костной основой рыб в кислых озерах, что объясняется крайне низким содержанием кальция в воде и как следствие - аккумуляция и повышение значимости других элементов. Это приводит к изменению относительного содержания микроэлементов, по сравнению с нормой, что показано на примере окуня и гольца из закисляемого оз. Дальватен (табл. 4.3.2.31)

Таблица 4.3.2.31. Накопление микроэлементов (мкг/г сухого веса) в организме рыб из закисленных и нейтральных озер.

	Оз.Окуновое pH<6	оз.Маярви pH=7	оз.Дальватен pH<6	Еозеро pH=7
	<b>ОКУНЬ</b>		<b>ГОЛЕЦ</b>	
	<b>Ni</b>			
	<i>n=2</i>	<i>n=5</i>	<i>n=5</i>	<i>n=12</i>
печень	9,1	<u>3,08±0,69</u> 1,5-5,4	<u>1,6±0,25</u> 1,2-2,6	<u>0,71±0,11</u> 0,3-1,4
почка			<u>10,8±1,55</u> 6,8-16	<u>1,57±0,26</u> 0,4-3

мышцы	2,4	$\frac{1,32 \pm 0,17}{0,9-1,7}$	$\frac{1,95 \pm 0,34}{0,8-4,2}$	$\frac{0,97 \pm 0,13}{0,5-1,5}$
скелет	18	$\frac{4,32 \pm 0,42}{3,6-5,5}$	$\frac{6,5 \pm 0,63}{3,1-11}$	$\frac{3,44 \pm 0,27}{1,7-4,5}$
жабры	11	$\frac{2,88 \pm 0,41}{1,3-3,6}$	$\frac{3,1 \pm 0,3}{2-3,8}$	$\frac{2,81 \pm 0,15}{2-3,5}$
<b>Cu</b>				
	<i>n=2</i>	<i>n=5</i>	<i>n=5</i>	<i>n=12</i>
печень	32	$\frac{11,2 \pm 0,9}{8-13}$	$\frac{22,2 \pm 5,6}{9,8-36}$	$\frac{50 \pm 3}{30-70}$
почка			$\frac{21 \pm 2,5}{16-30}$	$\frac{8,4 \pm 1,15}{2,2-15}$
мышцы	6,2	$\frac{2,36 \pm 0,33}{1,6-3,2}$	$\frac{1,81 \pm 0,17}{0,9-2,7}$	$\frac{1,83 \pm 0,23}{0,6-2,9}$
скелет	24	$\frac{4,62 \pm 0,46}{3,6-6,3}$	$\frac{5,45 \pm 0,5}{3-8,6}$	$\frac{3,1 \pm 0,47}{1,8-6,8}$
жабры	5,8	$\frac{3,42 \pm 0,19}{3-3,8}$	$\frac{3,64 \pm 0,20}{3,2-4,3}$	$\frac{3,83 \pm 0,45}{1,3-6,2}$
<b>Al</b>				
	<i>n=2</i>	<i>n=5</i>	<i>n=5</i>	<i>n=12</i>
печень	106	$43 \pm 9,5$ 19-74	$21 \pm 2,8$ 14-31	$3,8 \pm 1,1$ 1-7,2
почка			$62 \pm 11,6$ 37-91	$4,05 \pm 1,57$ 0-12
мышцы	9,6	$8,6 \pm 2,23$ 3,3-15	$6,01 \pm 1,2$ 1,5-11	$1,04 \pm 0,48$ 0-3,6
скелет	58	$25,4 \pm 2,6$ 18-34	$37,5 \pm 6,7$ 14-74	$6,48 \pm 1,35$ 3-11
жабры	38	$14,2 \pm 0,97$ 12-17	$21,2 \pm 4$ 14-35	$15,5 \pm 4,0$ 5,2-40

Доказано, что при близких концентрациях в воде никеля и меди их способность к биоаккумуляции в закисленных озерах более высокая. В озере аэротехногенного загрязнения (приоритет воздействия кислот на водосбор) даже в условиях сохранения буферной емкости выявлена аккумуляция в рыбах таких элементов, как Cd, Pb, Hg и As в количествах, превышающих или сопоставимых с техногенными провинциями. Закисление вод способствует более активному выщелачиванию элементов, спектр которых зависит как от геохимических природных условий водосбора, так и аэротехногенного выпадения. В закисленных условиях водной среды происходит более активная аккумуляция многих элементов. Если для алюминия этот феномен широко известен в научной литературе, то для никеля и меди установлен впервые. В рыбах озер из районов, характеризующихся аэротехногенным загрязнением кислотными выпадениями, происходит накопление таких опасных элементов, как Hg, Pb, Cd, As при их содержании в воде ниже порога аналитического обнаружения, что позволяет использовать рыб как индикаторов нагрузки на регион по данным элементам (Moiseenko, Kudryatseva, 2002). Таким образом,

накопление металлов и нарушение эволюционно-предопределенного микроэлементарного состава организмов в современных условиях является следствием индустриализации регионов Арктики прямыми локальными выбросами, глобальных переносов и изменения геохимических циклов элементов под влиянием кислотных нагрузок.

#### 4.3.2.5. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТАХ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Современный фон концентрации тяжелых металлов и микроэлементов в компонентах морей Арктического бассейна сформирован интегральным воздействием материкового стока, эолового переноса и адвекции трансокеаническими течениями. Роль источников металлов и микроэлементов на различных участках акватории морей неоднозначна и детерминирована комплексом географических и геохимических факторов, например, транзитом загрязняющих веществ с водами теплых течений от побережья Северной Европы (Баренцево море), а также стоком северных рек.

Процессы распространения загрязняющих веществ в прибрежных арктических морях контролируются специфическими для Арктики явлениями, такими как вечная мерзлота и снежно-ледовый покров. Во время долгой зимы мощная толща снега и льда защищает береговую линию от гидродинамического воздействия. После вскрытия льдов речные и морские льды становятся важными агентами переноса материала с континента в океан (Gordeev, 2000).

В прибрежные районы морей загрязняющие вещества поступают с поверхностными водами, со стоками промышленно-хозяйственных узлов, с атмосферными трансграничными выпадениями и от локальных источников непосредственно на морской акватории. Серьезные количественные и качественные изменения с принесенным растворенным и взвешенным речным материалом происходят в зонах смешения речных и морских вод – эстуариях и дельтах. На дно эстуариев и шельфа оседает до 90-95% твердого материала и выпадает из дальнейшего транспорта до 20-40% растворенных веществ за счет процессов флокуляции, сорбции, ионного обмена и других процессов.

Реки выносят ТМ из южных широт в Арктику и из наземных экосистем в арктические экосистемы. Соотношение растворенных и взвешенных ТМ в речном стоке сильно зависит от концентрации самого взвешенного материала в речной воде. Средняя глобальная мутность речных вод составляет около 500 мг/л, тогда как реки Сибири отличаются низкой мутностью (в среднем около 30 мг/л). По этой причине в стоке Оби, Енисея и Лены вынос ТМ во взвеси составляет порядка 60-90% от общего содержания ТМ в воде, еще более твердый сток важен для Cd (80-90%) и Pb (95-97%) (Gordeev, 2000).

В эстуариях, как уже отмечалось, осаждается на дно и переносится вдольбереговыми течениями на шельфе до 85-95% взвешенного речного материала. С учетом этих потерь, а также трансформации растворенных форм ТМ в зонах смешения речных вод Оби, Енисея и Лены и морских вод, оказывается, что в открытое море проникает лишь 40% Ni, 60% Cu и 11% Pb от их количества, приносимого реками к границе река-море (Gordeev et al., 2006). К сожалению, подобные оценки практически отсутствуют для других рек и ТМ.

##### 4.3.2.5.1. Снежно-ледяной покров арктических морей

Выпадающие на снег и лед из атмосферы ТМ в составе аэрозолей могут переноситься льдами или снегом по воздуху на большие расстояния в Арктике и затем переходить в воду при таянии снега и льда. Концентрации ТМ в снегу и льдах часто выше, чем в нижележащей морской воде за счет выпадений из воздуха и вмержания взвесей.

Кроме того, при замерзании морской воды происходит выдавливание солей из льда и формирование более тяжелых вод с повышенной соленостью, которые опускаются на дно и по понижениям рельефа растекаются на большие расстояния, увлекая с собой и возможные загрязняющие вещества.

*Баренцево море (юго-восточная часть).* Средние концентрации определявшихся ТМ в снежном покрове изменялись: для железа – от 12.5 до 25.6 мкг/л талых вод; марганца – от 4.52 до 13.9 мкг/л; цинка – от 2.68 до 7.03 мкг/л; меди – от 0.32 до 1.08 мкг/л; никеля – от 0.59 до 2.15 мкг/л; свинца – от 0.56 до 1.75 мкг/л; кобальта – от 0.05 до

0.19 мкг/л; кадмия – от 0.09 до 0.25 мкг/л; хрома – от 0.51 до 1.32 мкг/л; олова – от 0.09 до 0.44 мкг/л, ртути – от <0.005 до 0.032 мкг/л талых вод. Максимальные концентрации металлов определялись в пробах снега из района к западу от острова Матвеев.

В морском льду средние уровни содержания ТМ были заметно ниже и изменялись: для железа – от 2.37 до 6.55 мкг/л; марганца – от 0.6 до 1.5 мкг/л; цинка – от 0.84 до 2.16 мкг/л; меди – от 0.21 до 0.84 мкг/л; никеля – от 0.29 до 0.64 мкг/л; свинца – от 0.31 до 0.94 мкг/л; кобальта – от 0.02 до 0.05 мкг/л); кадмия – от 0.03 до 0.30 мкг/л); хрома – от 0.1 до 0.35 мкг/л); олова – от 0.04 до 0.12 мкг/л, ртути – от <0.005 до 0.020 мкг/л талых вод. Относительно повышенные концентрации металлов определялись в образцах морского льда, отобранных в районе акватории Приразломного месторождения.

**Карское море.** В снежном покрове концентрации металлов составляли: для цинка – от 5.11 до 18.85 мкг/л талой воды, меди – от 0.37 до 1.12 мкг/л, никеля – от 2.59 до 12.15 мкг/л, кобальта – от 0.05 до 2.12 мкг/л, свинца – от 0.64 до 1.97 мкг/л, кадмия – от 0.09 до 0.18 мкг/л, хрома – от 0.22 до 0.46 мкг/л и ртути – от <0.005 до 0.035 мкг/л талой воды.

В пробах морского льда средние уровни содержания ТМ изменялись: для цинка – от 0.88 до 3.14 мкг/л, меди – от 0.34 до 2.04 мкг/л, никеля – от 0.35 до 2.67 мкг/л, свинца – от 0.05 до 0.12 мкг/л, кадмия – от 0.13 до 0.45 мкг/л, ртути – <0.005 до 0.013 мкг/л. В отчете АМАР aseessment , 2002 приведены данные о содержаниях металлов в свежееобразованном льду арктических морей (табл.4.3.2.32.), которые отражают сопоставительную картину по содержанию металлов в свежееобразованном льду. Из данной оценки следует, что содержание всех исследованных металлов на Российских станциях было значительно выше.

Таблица 4.3.2.32. Концентрации металлов (мкмоль/кг) в свежееобразованном льду (АМАР assessment, 2002).Приведены средние значения и стандартное отклонение.

		Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni
Лед (Российские станции)		10855 ± 5497 (n=9)	706 ± 317 (n=9)	1.09 ± 0.67 (n=7)	479.1 ± 353 (n=9)	3.08 ± 1.91 (n=9)	17.03 ± 11.3 (n=9)	10.94 ± 7.3 (n=9)
Лед (все другие станции)		281 ±143 (n=10)	51.9 ±23 (n=10)	0.44 ±0.08 (n=6)	47.7 ±28 (n=10)	0.20 ±0.06 (n=10)	4.93 ±1.22 (n=10)	4.56 ±2.38 (n=10)

#### 4.3.2.5.2. Морская вода

Загрязнение морских вод тяжелыми металлами происходит вследствие выноса их со стоком северных рек, воздушным переносом на дальние расстояния, а также в процессе таяния льда, аккумулировавшего элементы в зимний период. Следует отметить роль маргинальных фильтров как важного биогеохимического барьера в транспорте металлов с речным стоком в моря. По укрупненным оценкам, в этих зонах оседает основная часть до твердого материала (90-95%), а также 20-40% растворенных веществ за счет процессов флокуляции, сорбции, ионного обмена и других процессов, активно протекающих в этих зонах. На рисунке 4.3.2.22 отражено содержание металлов в воде (растворенной и взвешенной фракции) морей АЗРФ по данным Гордеева (Gordeev, 2000, 2001). Остановимся более детально на характеристике загрязненности основных морей.

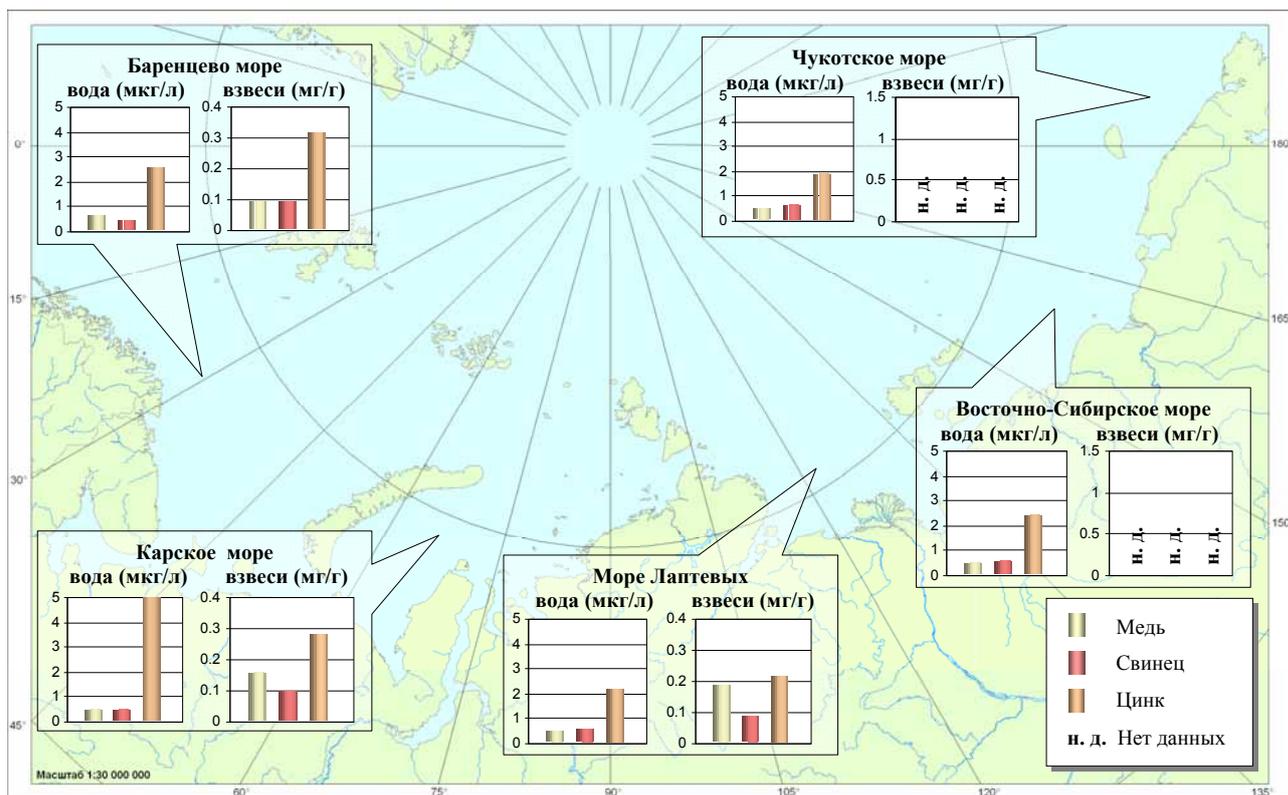


Рисунок 4.3.2.22 Содержание тяжелых металлов в водах и водных взвесях морей АЗРФ

**Баренцево море.** Южная часть Баренцева моря испытывает значительное влияние стока с Кольского полуострова, который изобилует железными, медно-никелевыми, редкоземельными рудными провинциями. Центральная зона моря больше подвержена влиянию вод ветвей Норд-капского и Мурманского прибрежного течений. Эти течения переносят загрязняющие вещества от северо-европейских источников. В районах ледовой кромки значительно выражено влияние атмосферного переноса металлов. Коэффициенты обогащения показывают, что арктические аэрозоли в наибольшей степени загрязнены кадмием, цинком и медью, что, по-видимому, является результатом деятельности крупных предприятий цветной металлургии в городах Мончегорск и п. Никель. Поступление металлов в море с аэрозолями имеет сезонную изменчивость, связанную с изменениями атмосферной циркуляции, циклами таяния и становления плавучего ледового покрова. Зимой усиливается южная составляющая атмосферного переноса, и концентрация Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Fe и Cr в аэрозолях возрастает более чем в 2 раза по сравнению с летним периодом. Рост концентрации Ni происходит многократно в течение всего года, причиной чего являются флуктуации ветров и выбросов этого металла региональными эмитентами (Матишов, Голубева, 1998; Матишов и др., 2004; Matishov et al., 2004). При таянии ледового покрова депонированные в нем аэрозоли переходят в воду у кромки льда. В настоящее время в водной массе тяжелые металлы не создают высоких концентраций, но их распределение на акватории неравномерно. Наиболее выраженной мозаичностью характеризуется распределение железа, свинца и меди. Для кобальта, марганца, ртути и мышьяка характерно повышение концентраций в прибрежной зоне. В насыщении прибрежных вод этими металлами определяющее значение имеет материковый сток (Ильин, 2007)

Концентрации ТМ в водной среде (поверхностный слой) Баренцева моря варьировали в следующих пределах: железа – от 1.07 до 8.90, марганца от <0.5 до 2.7, цинка - от 1.1 до 6.9, меди - от 0.47 до 0.99, никеля - от 0.12 до 1.00, свинца - от 0.14 до 0.89, кадмия - от 0.03 до 0.09, кобальта – от 0.02 до 0.14, хрома – от 0.21 до 1.05 мкг/л.

Превышений ПДК, установленных для вод рыбохозяйственных водоемов, зафиксировано не было. Максимальные концентрации свинца, цинка и никеля были зафиксированы в районе к северу от мыса Русский Заворот, железа, марганца, кобальта и хрома - в районе северной оконечности острова Долгий.

В распределении меди выделяются два ареала повышенной концентрации, близкой к ПДК: прибрежная зона и участок акватории полярной фронтальной зоны. В прибрежном ареале концентрация меди определяется влиянием берегового стока. В зоне полярного фронта это северная периферия Центрального желоба, где увеличение меди летом могло быть вызвано таянием льда. На фоне низких концентраций других металлов содержание железа в поверхностном и в придонном слоях воды в летний период повышено и часто превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов (50 мкг/л).

Ртуть и кобальт содержатся в водах большей части акватории в низких концентрациях, часто ниже порога обнаружения. Значимые концентрации этих элементов были отмечены в водах Кольского залива и Печорского моря, т. е. в районе интенсивного техногенного воздействия. При этом концентрация ртути возрастает в паводковый период, вызываемый весенним таянием снега и осенними дождями. Рост концентрации кобальта больше заметен в межледный период, в период становления ледового покрова на пресноводных водотоках. Очевидно, что поступление ртути в море происходит за счет смыва атмосферных выпадений с территории водосбора (Ильин, 2007).

Концентрации ТМ в водных взвесьях изменялись в следующих пределах: железа - от 4.7 до 12.8 марганца - от 0.12 до 0.34, цинка - от 0.24 до 0.46, меди - от 0.06 до 0.17, кадмия - от 0.01 до 0.03, свинца - от 0.06 до 0.13, кобальта - от 0.02 до 0.08, хрома - от 0.14 до 0.24 мкг/мл. Максимальные концентрации марганца, кобальта и свинца в пробах морских взвесей наблюдались в районе восточного побережья острова Колгуев, железа, цинка и меди - к северу от острова Долгий, кадмия и хрома - у южного побережья острова Песяков.

**Карское море (юго-западная часть).** Концентрации ТМ в водной среде (поверхностный слой) изменялись в следующих пределах: железа - от 2.45 до 7.61, марганца - от 0.90 до 1.86, цинка - от 3.8 до 8.8, меди - от 0.30 до 0.97, свинца - от 0.21 до 0.98, хрома - от 1.42 до 3.18 мкг/л. Концентрации никеля, кобальта, кадмия и ртути в поверхностных водах находились ниже пределов обнаружения использовавшегося метода анализа. Максимальные концентрации ТМ наблюдались на разрезе м.Шпиндлера - о.Шараповы Кошки и на траверзе мыса Мутный. Превышения ПДК зафиксировано не было.

Концентрации ТМ в водных взвесьях изменялись в следующих пределах: железа - от 0.77 до 1.08, марганца - от 0.12 до 0.64, цинка - от 0.14 до 0.56, меди - от 0.08 до 0.37, кадмия - от 0.03 до 0.07, свинца - от 0.07 до 0.15, кобальта - от 0.02 до 0.07, хрома - от 0.22 до 0.34 мкг/мл.

Максимальные концентрации ТМ в морских взвесьях были идентифицированы в следующих районах: в южной части Байдарацкой губы - цинка, свинца и кадмия; в северо-западной части губы на разрезе м. Шпиндлера - о. Шараповы Кошки - железа, марганца, меди и хрома; в районе островов Шараповы Кошки - никеля и кобальта.

**Море Лаптевых.** Концентрации ТМ в поверхностном слое вод колебались в следующих диапазонах: железа - от 7.8 до 56, марганца - от 1.7 до 6.7, цинка - от 1.2 до 4.9, меди - от 0.28 до 0.94, никеля - от 0.29 до 1.11, кобальта - от 0.02 до 0.11, свинца - от 0.37 до 1.02, кадмия - от 0.06 до 0.15, хрома - от 1.21 до 2.32, олова - от 0.06 до 0.19 мкг/л. Концентрации ртути в поверхностных водах находились ниже пределов обнаружения (0.01 мкг/л) использовавшегося метода анализа. Случаев превышения ПДК всех вышеперечисленных металлов, установленных для вод рыбохозяйственных водоемов, выявлено не было.

Концентрации ТМ в водных взвесьях изменялись в следующих пределах: железа - от 0.52 до 1.16, марганца - от 0.15 до 0.72, цинка - от 0.11 до 0.53, меди - от 0.07 до 0.46,

кадмия – от 0.05 до 0.08, свинца – от 0.06 до 0.14, кобальта – от 0.03 до 0.09, хрома – от 0.17 до 0.39 мкг/мг. Максимальные концентрации ТМ в морских взвесьях были идентифицированы в юго-восточной части моря.

**Восточно-Сибирское море.** Концентрации ТМ в поверхностном слое вод колебались в следующих диапазонах: железа – от 3.65 до 38, марганца - от 1.2 до 3.7, цинка - от 1.4 до 5.2, меди - от 0.25 до 0.90, никеля - от 0.25 до 1.25, свинца - от 0.25 до 1.12, хрома – от 1.19 до 3.01. Концентрации кобальта, кадмия и ртути в поверхностных водах находились ниже пределов обнаружения (0.01 мкг/л) использовавшегося метода анализа. Случаев превышения ПДК всех вышеперечисленных металлов не было выявлено.

**Чукотское море.** Концентрации ТМ в поверхностном слое вод колебались в следующих диапазонах: железа – от 4.8 до 41, марганца - от 1.5 до 6.2, цинка - от 1.1 до 4.8, меди - от 0.20 до 0.94, свинца - от 0.26 до 1.18, хрома – от 0.95 до 1.90. Концентрации никеля, кобальта, кадмия и ртути в поверхностных водах находились ниже пределов обнаружения (0.01 мкг/л) использовавшегося метода анализа. Случаев превышения ПДК всех вышеперечисленных металлов не было выявлено.

#### 4.3.2.5.3. Донные отложения

Донные отложения играют депонирующую роль при переносе металлов на дальние расстояния, отражают не только геохимический фон, но и служат информативным индикатором потоков загрязняющих веществ в моря, включая тяжелые металлы. Большую роль в локализации ареалов повышенного накопления металлов играют пресноводные водотоки, формирующие зоны геохимических барьеров и зоны интенсивной седиментации в прибрежье. В зонах смешения речных и морских вод большую роль играют маргинальные фильтры, где происходит осаждение металлов, выносимых с речным стоком в моря. В таблице 4.3.2.33 приведены концентрации основных тяжелых металлов в иловых отложениях Арктического шельфа, являющегося наиболее продуктивной зоной морей. Наиболее сильно иловые отложения шельфа морей загрязнены кадмием, ванадием и другими элементами в районе Баренцева моря, что объясняется переносом металлов с Гольфстримом на дальние расстояния. Содержание таких металлов как кадмий, цинк, медь и свинец в донных отложениях российских арктических морей отражено на рисунке 4.3.2.23.

Таблица 4.3.2.33 Средние концентрации и стандартное отклонение содержаний микроэлементов (мкг/г сухого вещества) в поверхностных иловых слоях донных отложений шельфовой зоны арктических морей (AMAP assessment, 2002)

	n	V	Cr	Cu	Ni	Zn	As
Берингов пролив	28		59±23	11±9	17.8±8.7	56±26	14.8±5.2
Чукотское море	12	116±30	82±21	22±6	27±6	79±18	
Печорское море	40	175±46	110±15	21±2	43±9	84±9	33±55
	109	63±43	101±69	17±10	37±22		
Карское море	36	147±27	110±25	20±6	42±10		
	16		97±12	27±14	44±17	80±22	
Восточно-Сибирское море	24		68±14	16±6	26±8	85±25	18±6
Море Лаптевых	11		78±12	19±7	30±7	92±15	15±6
	10			15±4	28±7	98±22	
Баренцево море	15	248±11	153±5		50±1	107±1	
	n	Cd	Pb	Fe	Mn	Co	Hg

Берингов пролив	28	0.09±0.03	8.5±2.8	3.35±1.84	682±436		0.025±0.023
Чукотское море	12			3.46±0.64	295±37	26±5	
				3.36±1.12	410±174	89±14	
Печорское море	40	0.11±0.05					
	109		24±18		301±268	8±6	
Карское море	36	0.11±0.07					
	16	0.09±0.03	14±3	4.39±1.41			0.028±0.009
Восточно-Сибирское море	24	0.14±0.08	18±5	3.49±0.95			0.037±0.019
Море Лаптевых	11	0.11±0.06	20±5	3.97±0.92			0.037±0.016
	10	0.06±0.02	18±3	4.06±1.00	206±175		
Баренцево море	15	0.22±0.03					

**Баренцево море (юго-восточная часть).** Более детально содержание металлов в донных отложениях изучено в Баренцевом море (Ильин, 2007; Ильин, Дале, 1997). Наиболее выражена роль маргинального фильтра в его юго-восточной части Баренцева моря - области Печорского взморья. Так, например, геохимический барьер играет основную роль в локализации отложений гидроокислов железа, марганца, никеля и хрома. Этим объясняется накопление металлов в повышенных количествах в осадках района преимущественного распространения стока Печоры. А на других участках прибрежной зоны максимальные их концентрации локализованы в узкой прибрежной полосе, подверженной дополнительно влиянию местных пресноводных стоков. Относительно высокие концентрации цинка в донном осадке обнаруживаются на периферийном участке распространения речных вод (Ильин, 2007а). Распределение железа, кадмия, свинца и некоторых других микроэлементов в верхнем слое донных отложений обнаруживает большое сходство. Максимальные концентрации этих элементов локализуются в осадках Центрального желоба. В формировании такой закономерности большую роль играет не только кумулятивная форма донного рельефа, но и атмосферный перенос тонкозернистых аэрозолей в центральные районы Баренцева моря. К тому же в пределах акватории Центрального желоба расположен участок полярной фронтальной зоны и кромки плавучего льда, аккумулирующего аэрозоли в зимнее время.

Второй максимум концентраций многих тяжелых металлов, особенно меди, никеля, цинка, хрома, а также мышьяка, наблюдается в осадках Мотовского и Кольского заливов, что отличает эти акватории от других участков прибрежной зоны. Для высокотоксичной ртути и кобальта характерна противоположно направленная тенденция распространения.

Наибольший уровень накопления ртути, так же как и в водной среде, наблюдается в осадках Кольского, Мотовского заливов и других хозяйственно используемых бухт (губа Териберская) - до 0.10 мкг/г сухого осадка (Ильин, 2007а).

Для мышьяка, так же как и для ртути, характерно повышенное накопление в прибрежье - в области геохимического барьера – маргинального фильтра. Если в целом по морю диапазон концентраций мышьяка лежит в пределах 0.042-0.076 мкг/г сухого осадка, то для прибрежных участков свойственны более высокие концентрации - 0.058-0.076 мкг/г сухого осадка. В распространении этих микроэлементов, по-видимому, основную роль играет их перенос по акватории с водными массами прибрежных течений от техногенных источников на Кольском полуострове и в Северной Европе.

В юго-восточной части Баренцева моря пределы варьирования концентраций ТМ в илах и илистых песках обследованной акватории были следующими: железа – от 3500 до 12700, марганца – от 97 до 352, цинка - от 16.4 до 41.4, меди - от 5.0 до 21.0, никеля - от 5.6 до 23.7, свинца - от 2.7 до 12.6, кадмия - от 0.06 до 0.19, кобальта - от 3.3 до 11.9, хрома – от 7.5 до 34.1 мкг/г. Содержание олова и ртути в исследованных пробах донных отложений находилось ниже предела обнаружения используемого метода анализа. Максимальные концентрации свинца, цинка, никеля и меди были зафиксированы в илах,

отобранных в районе к северу от мыса Русский Заворот, железа, марганца, кобальта и хрома - в районе северной оконечности острова Долгий (Ильин, 2007).

**Карское море.** Концентрации ТМ в песчаных илах обследованной части акватории моря варьировали в следующих пределах: цинка - от 37.9 до 161.0, меди - от 8.4 до 30.3, никеля - от 5.5 до 35.7, свинца - от 12.5 до 39.1, кадмия - от 0.08 до 0.34, кобальта - от 14.6 до 39.3 мкг/г. Относительно повышенные уровни содержания свинца наблюдались в песчаных илах, отобранных в районе мыса Каменный, цинка и меди - в районе острова Шокальского. Концентрации ртути находились ниже предела обнаружения используемого метода анализа.

**Море Лаптевых.** Концентрации ТМ в песчаных илах соответствовали многолетним фоновым значениям и варьировали в следующих пределах: цинка - от 29.3 до 114.0, меди - от 5.9 до 27.0, никеля - от 5.9 до 40.9, свинца - от 8.8 до 31.4, кадмия - от 0.08 до 0.5, кобальта - от 8.9 до 34.7 мкг/г сухого веса. Относительно повышенные уровни содержания тяжелых металлов наблюдались в районе острова Большой Бегичев и устья реки Уэле (Gordeev, 2000).

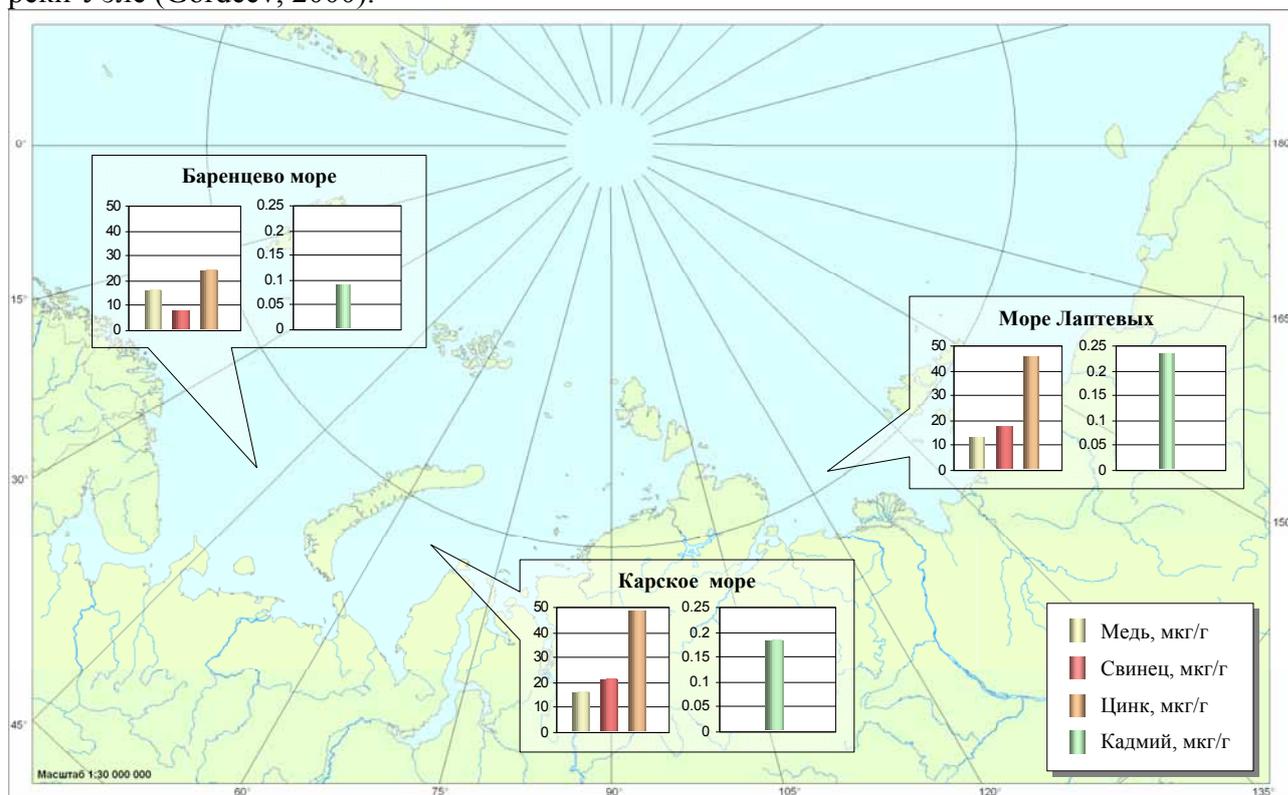


Рисунок 4.3.2.23 Содержание тяжелых металлов в донных отложениях некоторых морей АЗРФ

#### 4.3.2.5.4. Промысловые рыбы - индикаторы загрязненности среды тяжелыми металлами и микроэлементами

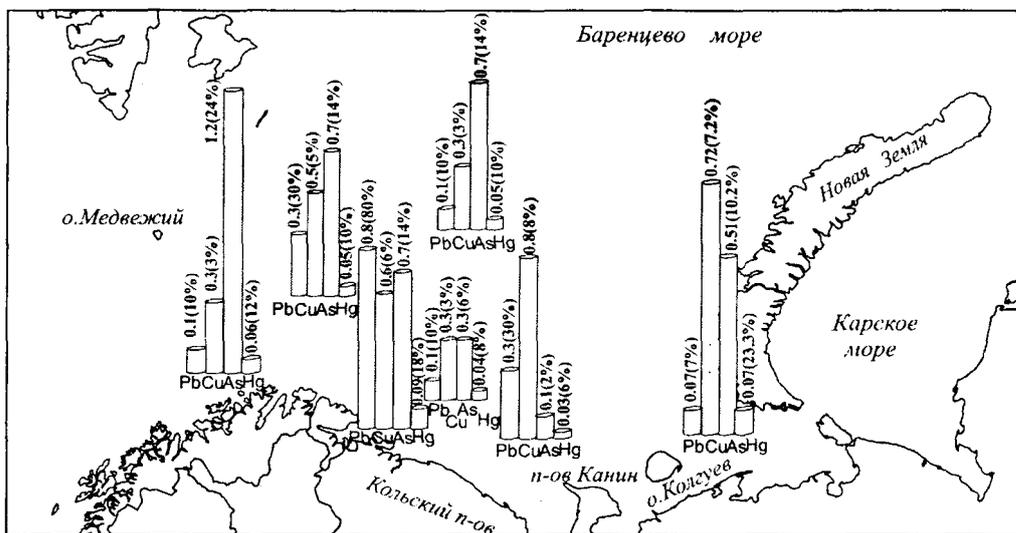
В морской среде тяжелые металлы включаются в биогеохимические циклы и формируют определенный фон концентраций в гидробионтах. Накопление металлов в рыбах Баренцева моря было изучено Ильиным (2007) (табл. 4.3.2.34). По данным наблюдений 1997-2003 гг. можно констатировать, что уровни содержаний исследованных микроэлементов в целом близки к природным характеристикам.

**Таблица 4.3.2.34. Среднегодовые концентрации тяжелых металлов в тканях наиболее важных промысловых рыб Баренцева моря, мг/кг сырого веса (Ильин, 2007в)**

Вид	Pb	Cu	Cd	Hg	Zn	As
Треска	0.2±0.01	0.72±0.05	0.03±0.003	0.03±0.002	3.7±0.2	0.2±0.03
Пикша	0.2±0.02	0.8±0.1	0.02±0.002	0.03±0.004	4.1±0.3	0.3±0.05
Камбала-ерш	0.2±0.03	0.7±0.03	0.02±0.002	0.02±0.002	3.5±0.2	0.2±0.01
Камбала морская	0.2±0.03	0.8±0.05	0.02±0.004	0.02±0.01	4.5±0.6	0.2±0.1
Окунь морской	0.2±0.01	1.0±0.06	0.02±0.001	0.03±0.002	3.9±0.2	0.2±0.03
Сельдь	0.2±0.01	1.0±0.03	0.02±0.002	0.03±0.002	5.2±0.2	0.4±0.02
Сайда	0.9±0.09	0.2±0.03	0.02±0.006	0.03±0.005	3.9±0.4	0.4±0.02
Палтус	0.2±0.02	0.9±0.2	0.02±0.002	0.04±0.1	3.0±0.3	0.3±0.02
Мойва	0.1±0.02	0.8±0.1	0.02±0.003	0.03±0.004	5.4±0.5	0.3±0.04
Скумбрия	0.1±0.02	0.9±0.06	0.02±0.002	0.03±0.002	5.2±0.3	0.3±0.03
Скат колючий	0.3±0.06	1.02±0.09	0.02±0.007	0.13±0.04	0.5±0.3	-
Арктический шлемоносный Бычок	0.5±0.02	1.13±0.11	0.01±0.001	0.03±0.02	16.4±2.7	0.56±0.85

Объяснение разницы в накоплениях одних и тех же элементов разными видами объясняется не только в характером питания, но и в условиях среды районов обитания выловленных особей. Оседлый арктический шлемоносный бычок, обитающий в районе нефтяных месторождений в Печорском море, накапливает в гораздо больших концентрациях цинк, хром, кобальт и железо, чем другие рыбы. Зависимость донного вида рыб от экологического состояния гораздо выше по сравнению с пелагическими рыбами.

Виды рыб, активно мигрирующих на обширных акваториях, не принято рассматривать в качестве индикаторов загрязнения. Однако на примере трески Ильным (2007) были выявлены четкие пространственные различия в накоплении металлов (рис.4.3.2.24).



**Рисунок 4.3.2.24. Содержание Pb, Cu, As и Hg в мышцах трески Баренцева моря (мкг/г сырой массы (в скобках - ПДК для пищевых продуктов) (Ильин, 2007в).**

Особь, выловленные в восточных промысловых районах, в большей степени накапливали медь и очень мало ртути. Для прибрежных районов характерно повышенное накопление всех металлов, особенно ртути и свинца. Для западных окраин моря и в целом для вод атлантического происхождения характерно относительно высокое содержание в мышцах

трески мышьяка. Таким образом, содержание металлов в рыбах является хорошим индикатором уровня антропогенной нагрузки и геохимического фона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Тяжелые металлы (ТМ) поступают в атмосферу, водные и наземные экосистемы в результате естественных и антропогенно-обусловленных процессов, протекающих как на поверхности Земли, так и в ее недрах. К естественным относятся: вулканическая деятельность, выветривание пород, деструкция растительности; к антропогенным - промышленное производство, добыча полезных ископаемых, сжигание различного вида топлив, т.е. процессы, обусловленные и связанные с хозяйственной деятельностью человека. Большая часть тяжелых металлов относится к классу токсичных веществ, представляющих высокую опасность для биологических систем. Арктический регион, и особенно арктическая прибрежная зона, находится под все более возрастающим антропогенным воздействием как трансграничных переносов металлов на дальние расстояния, так локальных промышленных центров. Как известно, природа Арктики является чрезвычайно уязвимой к действию загрязняющих веществ в силу низкого уровня масс- и энергообменов, замедленных процессов самоочищения, коротких пищевых цепей, способствующих быстрому перемещению тяжелых металлов к конечным потребителям.

В течение 20 века вслед за ростом потребления тяжелых металлов продолжался рост их поступления в окружающую среду. Наибольшие объемы поступления ТМ в природные среды характерны для свинца и цинка. Признано, что среди ТМ наибольший фактор риска, воздействующего на здоровье населения, связан с повышенными концентрациями таких высокотоксичных элементов, как ртуть, кадмий и свинец. За счет обмена трансграничными атмосферными переносами Европейская территория России импортирует три вышеуказанных элемента в соотношения **импорт/экспорт**: ртуть и кадмий **2.2/1**, свинец- **5.6/1**, из которых часть этих загрязняющих веществ в зимний период поступает в западные районы АЗРФ. Суммарные выбросы в атмосферу на Европейской территории России (ЕТР) превышают таковые на Азиатской территории, при этом вклад автотранспорта на ЕТР имеет устойчивую тенденцию к увеличению от 38.8% в 1990 г. до 62.3% в 2007 году. На территории России за 17-летний период (1990-2007гг.) выбросы в атмосферу твердых веществ (метод косвенного контроля ТМ) сократились на 4.6 млн. т, т.е. уменьшились 2.6 раза.

Основными источниками выбросов ТМ в атмосферу в АЗРФ являются крупнейшие медно-никелевые комбинаты на Кольском полуострове (Мурманская область) и в Норильском промышленном районе (Красноярский край). Как правило, выбросы металлургических и теплоэнергетических производств сопровождаются эмиссией кислотообразующих веществ, которые распространяются на более дальние расстояния и могут оказывать опосредованное влияние на водные системы путем кислотного выщелачивания лабильных элементов (в особенности алюминия, кадмия, цинка и других) из слагающих пород. Остальные источники выбросов ТМ в атмосферу (теплоэнергетические предприятия, использующие углеводородное топливо, транспорт, переработка мусора и др.) носят региональный или локальный масштаб воздействия. Это связано с тем, что, во-первых, промышленность Кольского полуострова и восточного сектора Арктики обеспечены экологически чистой электроэнергией за счет Кольской и Билибинской атомных станций, а Норильский регион за счет использования экологически приемлемого природного газа. Во-вторых, это объясняется наличием незначительного автомобильного парка.

**Ртуть** относится к одним из наиболее токсичных элементов. Поступление ртути в окружающую среду, связанное в основном с горно-добывающей промышленностью и сжиганием различного вида топлив, увеличилось за прошлое столетие от 2 до 20 раз вследствие антропогенной эмиссии в локальном, региональном и глобальном масштабах. Основываясь на последних данных, очевидно, что атмосферный перенос ртути является

основным фактором его поступления в Арктику. В Евро-арктической части АЗРФ вдали от урбанизированных центров (на суше и в прибрежной зоне) устойчиво наблюдается повышенный уровень газообразной ртути в атмосферном воздухе (1,5-1,8 нг/м<sup>3</sup>). К востоку от Урала над морской акваторией уровень концентраций снижается почти в два раза. В урбанизированных регионах концентрации ртути выше. В Мурманске в весенний период («ртутная разгрузка») средний уровень концентраций (2,2 нг/м<sup>3</sup>) остается выше «среднего арктического» в 1,5 раза, в зимний период концентрации могут быть значительно выше. Над морями АЗРФ в пограничном с морской поверхностью слое воздуха концентрации ртути ниже, чем над сушей. Средний уровень концентраций ртути в воздухе над Баренцевым и Карским морями составляет 0,76 нг/м<sup>3</sup>, снижаясь до 0,32 нг/м<sup>3</sup> в восточном направлении.

Для **кадмия** важнейшим источником эмиссии является цветная металлургия, объемы выбросов которой в 1,5 раза превышают природную. Кадмий присутствует в природных водах преимущественно в элементарной форме. Глобальное поступление **свинца** в окружающую среду увеличивалось с ростом его производства многократно. В целом, для АЗРФ характерны низкие концентрации металлов в воздухе по сравнению с более южными регионами Европы и Азии. Исключение составляют Норильский промышленный район и Кольский полуостров, что связано с выбросами медно-никелевых производств. Исходя из пространственного распределения элементов в снежном покрове, на Мурманском берегу по таким элементам, как Cu, Zn, Ni, заметно проявляется влияние региональных источников антропогенной эмиссии. Для элементов Pb, Cr, Cd и Hg влияние региональных источников невелико, их потоки в Арктику связаны с трансграничными переносами загрязняющих веществ на дальние расстояния.

За период 1983-2001 гг. концентрации Pb и Cd в атмосферном воздухе над акваторией Баренцева моря снизились: концентрации Pb более чем на порядок, Cd - примерно в два раза. Этот вывод получен на основе наблюдений в районе норвежского архипелага Шпицберген, исследования которого могут отражать глобальные процессы и в АЗРФ. По-видимому, снижение концентраций связано главным образом с уменьшением объемов антропогенной эмиссии этих металлов в глобальном масштабе. Над акваторией Баренцева моря заметно снижение концентраций от прибрежных к центральным районам. Концентрация ртути в мокрых выпадениях весной резко увеличивается, что объясняется вымыванием реакционноспособной и аэрозольной форм ртути из атмосферы.

Основное загрязнение наземных экосистем в АЗРФ связано с выбросами тяжелых металлов производств, расположенных в Норильском промышленном районе, Мурманской и Архангельской областях, где сосредоточены крупнейшие предприятия цветной металлургии, горнодобывающие, горно-обогатительные и электроэнергетические объекты. В импактных зонах загрязнения около предприятий по переработке цветных металлов образовались техногенные пустоши (в зонах до 10 км) с высоким содержанием тяжелых металлов в почвах, преимущественно никеля и меди. На удалении от 10 до 100 км развиваются дигрессионные процессы в лесах, обусловленные действием тяжелых металлов и кислотных осадков. В лесах, подверженных действию выбросов плавильных комбинатов на Кольском Севере и в Норильском промышленном районе, наблюдаются высокие концентрации металлов в почвах, которые приводят к нарушениям питательного режима лесов. Под действием тяжелых металлов погибают лишайники и мохообразные, которые способны концентрировать элементы питания из атмосферы; происходит угнетение микробного сообщества и снижается интенсивность разложения органического вещества в результате ингибирования микроорганизмов (главным образом, грибов); наблюдается дисбаланс в питании ели и сосны, выражающийся в обеднении хвои кальцием, магнием (вплоть до дефицита), марганцем и др.

Содержания тяжелых металлов в почвах отдаленных регионов Арктики (на большей части) находятся в пределах кларковых или близких к ним значений, а их повышенные концентрации имеют, главным образом, геохимическую природу.

В поверхностные воды тяжелые металлы поступают со стоками промышленных производств, с дымовыми выбросами, а также вследствие кислотного выщелачивания из окружающих пород. Большая часть всех локальных источников загрязнения тяжелыми металлами вод крупных рек сосредоточена в европейской части Арктики и Западной Сибири. В устьевых областях крупных рек содержание металлов в водной среде и взвешенном материале близко к фоновым значениям благодаря процессам разбавления и самоочищения. Несмотря на то, что в устьевых областях крупных рек содержание металлов относительно низкое, в ряде арктических водных объектов в местах выпуска локальных стоков наблюдаются высокие концентрации тяжелых металлов в воде и донных отложениях, которые отражают тот или иной тип воздействия на водосборе. Достаточно серьезные проблемы с состоянием водной среды также имеются в Республике Саха (Якутия), в бассейне р.Колымы, в Чукотском АО и других регионах Восточной Арктики. Однако до критического или выше критического порога ситуация в этих регионах не достигает.

Высокие концентрации никеля и меди в воде озер, значительно превышающие ПДК, выявлены вокруг металлургических комплексов – на расстоянии 30-50 км в зависимости от розы ветров. В последние годы наметилась тенденция снижения эмиссии тяжелых металлов и их выпадения на водосборы. Это привело к снижению содержаний никеля и меди в водах суши Кольского полуострова, особенно значимо по сравнению с 1990 г. Средняя концентрация никеля (медиана) в последние десять лет находится в пределах 1 мкг/л и ниже, что соответствует региональному уровню. Содержание меди также в среднем снизилось. Вместе с тем, загрязнение вод в локальных зонах металлами остается высоким (концентрации никеля и меди более 10 мкг/л). При этом к 2005 г. по сравнению с 2000г. возросли концентрации никеля в области их низких значений, что может быть следствием активизации работы плавильных цехов после периода застоя и рассеивания элементов на дальние расстояния.

Экологические негативные последствия загрязнения вод металлами зависят от их концентрации, форм нахождения и особенностей поведения, комбинаций и сопутствующих факторов (закисление или эвтрофирование). Содержание лабильных (ионных) форм металлов в водах Севера значительно превышает количество связанных и закомплексованных вследствие чрезвычайно низкой комплексообразующей способности вод в арктических регионах. Для эвтрофных озер или обогатенных гумусовыми веществами в подледный период экологический риск возрастет на порядок. Процессы десорбции металлов в зимний период в условиях накопленной на дне органики и металлов приобретают ведущее значение в формировании дозы воздействия металлов для донной фауны Арктических регионов. Кислотные осадки способствуют выщелачиванию обменных оснований и токсичных металлов с водосбора, что приводит к изменению солевого стока в моря, увеличению поступления ряда токсичных металлов в прибрежные акватории моря. Особо опасная ситуация создается в период снеготаяния в ручьях, когда накопленные металлы в составе талых вод поступают стремительно в водосборные бассейны - до 75% металлов выносятся с водосбора в малые реки в период половодья, создавая «ударную» волну токсического действия для водных обитателей литоральных зон.

В процессе функционирования крупных металлургических производств на дне озер локальных зон загрязнения сформировались техногенные геохимические провинции, в которых добытые из недр и обогатенные в технологических циклах металлы приобрели токсичные свойства. Накопленные в донных отложениях металлы могут стать источниками вторичного загрязнения водных объектов.

В отдаленных от промышленных центрах озерах (показано на примере озер в Чуна-тундрах) наблюдается тенденция нарастания содержаний металлов, связанная как с трансграничными переносами металлов на дальние расстояния, так и локальными источниками эмиссии металлов. В исторической ретроспективе с началом индустриального развития Европы, в конце 19 века, обозначилась аккумуляция Pb, Cd и других элементов в арктической зоне, что подтверждает глобальное загрязнение атмосферы северного полушария с этого периода. В середине 20-го столетия, с началом развития местной промышленности в Арктическом регионе, аккумуляция металлов увеличивается, как следствие обогащения ими верхних слоев атмосферы. Аккумуляция тяжелых металлов в рыбах отражает уровень загрязнения природных вод. Наиболее высокие концентрации ртути, кадмия и свинца определяются в озерах, испытывающих аэротехногенное загрязнение тяжелыми металлами и кислотными осадками.

Выделяются три главных пути переноса тяжелых металлов в арктические моря: перенос воздушными потоками, наземно-пресноводные пути (речной сток, льды) и океанические пути (океанские течения). На основании последних данных стало очевидно, что атмосферный перенос ртути является главным фактором его привноса в Арктику. Кадмий и свинец поступают в близких объемах, тогда как цинка значительно больше привносится с речным стоком. Поверхностные воды Атлантики и Тихого океана более обогащены ТМ, чем воды Северного Ледовитого океана, и поэтому первые являются источниками поставки ТМ за счет океанических течений через пролив Фрама в Баренцево море и Берингов пролив в Чукотское море. Океанический перенос загрязнителей очень медленный и может занять от года до десятилетия. В рыбах Баренцева моря наиболее высокие концентрации ртути, кадмия и свинца наблюдается в водах западного сектора, где сказывается влияние Гольфстрима.

Поступление ТМ с речными водами незначительно, поскольку все крупные реки Сибири имеют значительную протяженность (от 4 до 5.5 тыс. км) и, принимая ТМ в верхнем и среднем течении рек, они успевают самоочищаться. Поэтому в устьях рек Оби, Енисея, Лены концентрации ТМ близки к фоновым, т.е. не превышают ПДК. Исходя из анализа многочисленных данных можно заключить, что основные источники поступления ТМ в Северный Ледовитый океан связаны со стоком малых и небольших рек (не более 200 км по протяженности), в которых процесс самоочищения не может реализоваться в полной мере. На Кольском полуострове и в Норильском промышленном районе при наличии мощных источников сброса вод, загрязненных тяжелыми металлами, их аккумуляция происходит в основном в замкнутых водоемах и непосредственно в Северный Ледовитый океан ТМ не выносятся.

Решение проблемы сохранения природы Арктики связано с принятием международных соглашений по дальнейшему сокращению эмиссии тяжелых металлов, в особенности - свинца, ртути и кадмия, которые переносятся в Арктику с трансграничными потоками. В числе главных природоохранных задач России должно быть сокращение выбросов тяжелых металлов с дымовыми газами за счет модернизации медно-никелевых производств, в первую очередь, ОАО «ГМК «Норильский никель» и комбината «Печенганикель», а также очистка донных осадков Кольского залива. После реализации этих мероприятий и сокращения техногенных нагрузок до уровня, позволяющего восстановить процессы самовосстановления нарушенных территорий вокруг горно-обогатительных и плавильных производств, можно приступить к рекультивации этих территорий.

## Список литературы

- Алексеев В.В., Шарин В.В., Сичинска Б. Экогеохимические аспекты природной обстановки на архипелаге Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицберген. 2007. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН. С.43-52
- Бобовникова Ц.И., Малахов С.Г., Махонько Э.П. Система наблюдения и контроля за уровнем загрязнения моря // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах, М.: наука.1980.С. 5-19.
- Бурцева Л.В., Черханов О.П., Голубева Н. Ртуть в приземном воздухе российской Арктики // Метеорология и гидрология. 1998. № 10. С. 57-64.
- Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 182 с.
- Виноградова А.А., Малков И.П., Полиссар А.В., Храмов Н.Н. Элементный состав приземного аэрозоля арктических районов России // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1993. Т. 29, № 2. С. 164-172. Виноградова и др., 1993
- Виноградова А.А., Шевченко В.П. Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 5- 6. С. 387- 394.
- Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. М., 1999. 540 с.
- Гидрохимический Атлас СССР. М.: Гидрометеиздат 1090 110С.
- Глазовская М.А. Опыт классификации почв мира по устойчивости к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1990. № 9. С. 82-96.
- Голубева Н.И. Загрязнение атмосферы Арктики токсичными тяжелыми металлами // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Каское моря. М.: Наука. 2007. С.173-189.
- Гордеев В.В. Микроэлементы в воде, взвеси, и донных осадках Обской губы, Енисейского залива и дельты Лены и прилегающих областей Карского моря и моря Лаптевых// Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики / Отв. ред. Лисицин и др.): Изд-во Московского Университета. 2009. с. 202- 224.
- Государственные доклады « О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации, 2000-2008. Министерство природных ресурсов, М. 2001, 2002, 2003, 2004, 2004, 2005, 2006, 2007, 2007, 2008, 2009гг.
- Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Кочемасов Ю.В., Кочемасова Е.Ю., Моргунов Б.А., Седова Н.Ю., Шаров А.Н. Национальные и международные приоритеты в Арктике. СПб.: ААНИИ, 2008. 72 с.
- Даувальтер В.А. Даувальтер М.В., Салтан Н.В., Семенов Е.Н. Влияние выбросов горно-металлургического комбината на химический состав атмосферных выпадений (Мончегорский полигон) // Геоэкология 2009б № 3. С 228-240.
- Даувальтер В.А. Характеристика донных отложений // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. 2002. Наука. С.73-115.
- Даувальтер В.А., Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Сандимиров С.С. Накопление тяжелых металлов в оз. Имандра в условиях его промышленного загрязнения // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 3. С. 313-321.
- Дончева А.В. Воздействие металлургического производства на ПТК. М.: Наука. 1975. 140 с.

- Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Биоразнообразие почвенной биоты как фактор устойчивости почв к загрязнению//“Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия”, 1988г. – Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 1998, 120 с.
- Евсеев А.В., Красовская Т.М. Эколого-географические особенности состояния природной среды районов Крайнего Севера // Смоленск. 1996. 205р.
- Ежегодники качества вод по гидрохимическим показателям //Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 1995, 1996. Обнинск. 1996.
- Ильин Г.В., Дале С. Тяжелые металлы в донных отложениях // Кольский залив. Океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. С. 197-201.
- Ильин Г.В., Петров В.С. Исследования загрязнения грунтов нефтяными углеводородами // Экологические исследования зоны промышленного освоения Шток-мановского газоконденсатного месторождения на шельфе Баренцева моря: Препр. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. С. 48-50.
- Ильин Г.В.-а Современный фон и закономерности распределения металлов и микроэлементов в водной среде Баренцева моря // комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Российских морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН.2007. С.517-529
- Ильин Г.В.-в Применение методов биоиндикации для оценки химического загрязнения экосистемы Баренцево моря// Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов морей Северо-Европейского бассейна. Апатиты: Изд-во КНЦ. 2007. РАН С. 530-548.
- Калабин Г.В. Экодинамика техногенных провинций. Апатиты: Изд. Кольского науч. Центра РАН. 2000. 290 с.
- Калабин Г.В., Кулов С.К., Титова А.В. и др. Земля Живая.М.: Геоинформатика. 2010 (в печати)
- Кашулина, Г.М. Геохимические особенности почв окрестностей пос. Баренц-бург, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 321-330.
- Лисицин А.П. Биофильтры Северного Ледовитого океана и осадочный процесс// Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики / Отв. ред. Лисицин и др.): Изд-во Московского Университета. 2009. с. 71- 121.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН. 1996. Ч.1. 213 с. Ч.2. 192 с.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
- Лукина Н.В., Сухарева Т.А. Исаева Л.Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северщ-Таежных лесах. М.:Наука.2005 245р.
- Матишов Г.Г., Голубева Н.И. Химические примеси в снежном покрове Печорского и Карского морей // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. С. 430-440.
- Матишов Г.Г., Голубева Н.И., Бурцева Л.В. Исследование уровней концентрации газообразной ртути в атмосферном воздухе над Баренцевым и Карским морями // Там же. 2002. Т. 382, № 5. С. 692-694.Матишов и др., 2002

- Матишов Г.Г., Голубева Н.И., Бурцева Л.В. К оценке потоков тяжелых металлов из атмосферы с осадками на акваторию Баренцева моря // Эволюция морских и наземных экосистем в перигляциальных зонах: Тез. докл. Междунар. конф., 6-8 сентября 2004 г., Ростов-на-Дону. Ростов н/Д., 2004. С. 76-80
- Матишов Д.Г. Матишов Г.Г., Усягина И.С. Радиоэкологическая характеристика арктических морей (по трасса Севморпути) // Биология и океанография Северного морского пути (Баренцево и Карское моря). М.Наука. 2007. С 207- 226.
- Мейсон Б. Основы геохимии. М.:Недра. 1971. 367с.
- Минеральные ресурсы мира на 1.01.1997года. Статистический справочник (издание официальное) МПР РФ ФГУНПП «Аэрогеология» Информационно-аналитический центр «Минерал» М.1998.
- Минеральные ресурсы мира на1.01.2001года. Статистический справочник (издание официальное) МПР РФ ФГУНПП «Аэрогеология» Информационно-аналитический центр «Минерал» М.2002.
- Моисеенко и др., Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М., Наука. 2006. 261 с.
- Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики.- Апатиты: Изд-во КНЦ, 1997.- 261 с
- Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Распределение микроэлементов в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции // Водные ресурсы, 2007. Т 34, № 4. С. 454-468.
- Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Ильяшук Б.П., Каган Л.Я., Ильяшук Е.А. Палеоэкологическая реконструкция антропогенной нагрузки // Доклады академии наук. 2000. Т. 370, № 1. С. 115-118.
- Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261с.
- Мур Дж. В., Рамамурти С.. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М. Мир 1987. – 288 с.
- Мутузова Г.В., Лукина,Н.В., Никонов,В.В., Даувальтер, М.В., Зорина Ф.В. Влияние природных и антропогенных факторов на почвенные и грунтовые воды Кольского полуострова // Водные ресурсы Т.31, №3. С. 325-331.
- Недра Росси.В 2-х томах. Том 2 Экология геологической среды. Санкт-Петербург, Горный институт. СПб.-М., 2002. 662с.
- Никонов В.В., Лукина Н.В., Фронтасьева М.В. Рассеяние элементы в подзолистых Al-Fe-гумусо-вых почвах в условиях воздушного загрязнения медно-никелевым производством и изменяющегося литогенного фона // Почвоведение. 1999. № 3. С. 370-382.
- Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2003 г. М., Росгидромет, 2004, 154 стр.
- Отчет Комитета природных ресурсов по Мурманской области “ Состояние окружающей природной среды Мурманской области на Кольском полуострове в 2001 году “, - 2002 г. –168 с.
- Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

- Петрухин В., Бурцева Л., Лапенко Л. и др. Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным). Сообщ. 5 // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 5. С. 4-30.
- Поздняков В.Я.. Страницы истории комбината “Североникель”. М.: Издат. дом “Руда и металлы”, 1999.- 432 с.
- Раткин Н.Е. Методологические и методические аспекты изучения закономерностей аэротехногенного загрязнения имнактных территорий (на примере Мурманской области). Мурманск: Изд-во МГТУ, 2001. 118 с.
- Ровинский Ф.Я., Петрухин В.А., Черханов Ю.П. и др. Фоновое загрязнение атмосферы Арктики: Наблюдения и оценки // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1989. Вып. 5. С. 88-97.Ровинский и др., 1989
- Родюшкин И.В. Основные закономерности распределения металлов по формам в поверхностных водах Кольского Севера. Дисс. на соиск. степени канд геогр. наук. С.-П. Ин-т Озероведения. 1995. 161 с.
- Савваитова К.А., Чеботарев Ю.В., Пичугина М.Ю. Максимов С.В. Аномалии в строении рыб как показатели состояния природной среды // Вопр.ихтиологии. 1995.Т.35. №2. С.182-188.
- Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов арктических рек. Геоэкологическое состояние арктического побережья России. Москва. ГЕОС, 2007. С.299-302.
- Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды М.: Недра, 1990. 335 с.
- Шевченко В.П Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление. М.:Наука, 2006. 225с.
- Шевченко В.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Новигадский А.Н. Горюнова Н.В. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики / Отв. ред. Лисицын и др.): Изд-во Московского Университета. 2009. с. 150 – 172 с.
- Экологический атлас Мурманской области //Под ред. Г.В.Калабина // . - М.: Изд. МГУ, 1999.- 48 с.
- AMAP Assessment 2002:Heavy Metals in the Arctic. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment programme center. 137 p
- Arctic Pollution Issues: A state of the Arctic Environment Report, 1997. Published by AMAP, Oslo, Norway. 188 pp.
- .Berg T., Sommar I., Wangberg K. et al. Mercury depletion events at Ny-Alesund, Svalbard, 2002 // Second AMAP Intern. Symp. on environmental pollution of the Arctic. Rovaniemi, 2002. P. P-M03.
- Brakke D.F., Landers D.H., Eilers Chemical and Physical Characteristics of Lakes in the Northeastern United States. Environ, Sci. Technol. 222. 1988. P. 155-163.
- Brooks S., Lindberg S., Goodsite M. at al. (b) Production of reactive gaseous mercury and formation of panaculate mercury; links with temperature and solar UV-B // Ibid. 2002. P. O-012.
- Brooks S., Lindberg S., Goodsite M. et al. (a )Barrow atmospheric chemical conversion and speciation of atmospheric mercury pollution // Ibid. 2002. P. P-M04

- Bryan, G.W. Heavy metal contamination` in the sea.//Marine Pollution (R. Johnston, ed.). P. 185-302.
- Cadmium in Ferstilizers. Risks to Human Health and the Environment. // Ministry of Agriculture and Forestry. Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry 9/1997
- EMEP. Heavy metals:transbooundary pollution of the environment. EMEP Status Report Working Group on Effects 2/2004. June 2004 // <http://www.emep.int>
- Fahlke J., Bursik A/ Impactof the state –of-art of flue gas cleaning on mercury species emission from coal-fired steam generator // Water, Air and Soil pollution, 1995. V. 3 P. 109-123
- Gordeev, V.V., 2000. River input of water, sediment, major ions, nutrients and trace metals from Russian territory to the Arctic Ocean. In: E.L. Lewis, E.P. Jones, P. Lemke, T.D. Prowse and P. Wadhams (eds.). The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Kluwer Academic Publishers.P. 297–322
- Gordeev, V.V., 2001. Heavy metals in the Russian Arctic rivers and some of their estuaries: concentrations and fluxes. In: J. Pacyna (ed.). Proceedings of the AMAP workshop on sources, emissions and discharges. Kjeller, 23–24 August 2001.. NILU Report OR 3/2002. Norwegian Institute for Air Research (NILU). Kjeller, Norway. P. 79–100
- Hemispheric Transport of Air Pollution 2007 // Air Pollution Studies. N 16. Geneva: United Nations. 2007. 146p.
- Juntto S., Munthe J., Jalkanen L. Atmospheric transport and deposition of heavy metals in the atmospheric aerosol in the Norwegian Arctic // Atmos. Environ. 1989. Vol. 23, N11. P. 2551-2569.
- Maenthaut W., Cornille P., Pacyn J.M. Vitols V. Trace element composition and origin of
- Maily M., Bishop K., Bridman L. et al. Critical levels of atmospheric pollution for operation modeling of mercury in forest and lakes ecosystems. The Scien. Tot. Environ. 2003.V.304.P. 83-106.
- Matishov G, Golubeva N.. Titova G., Sydnes A., Voegele B. Barents Sea GIWA Regional assessment 11. University of Kalmar. Kalmar, Sweden, 2004. 115 p.
- Moiseenko T. I. A Fate of Metals in Arctic Surface Waters. Method for Defining Critical Levels // The Science of the Total Environment. – 1999. P.19-39.
- Moiseenko T. I. Kudryavtseva L.P. Trace Metals Accumulation and Fish pathologies in Areas affected by Mining and Metallurgical enterprises. Environmental Pollution. 2001.V 114(2). P285-297.
- Moiseenko T.I. Rodyushkin I., Dauvalter V.A. Geochemical migration and covariation of elements in the Imandra Lake, Barents Region. Luleo, Re-print of Lulea Technology University. Sweden, 1996, 96 p.
- Norton S. A., Dillon P. J., Evans R. D.,et al. The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments // Sources, Deposition and Capony Interactions. Lindberg S. E. et al. (ed). Vol. III, Acidic Precipitation, Springer- erlag, New York, 1990. P. 73- 101.
- Norton S.A., Bienert R.W.J., Binford M.W., Kahl J.S. Stratigraphy of total metals in RIPLA sediment cores.//J. Paleolimnology. 1992. 7. P. 191-214.
- Nriagu, J.O., A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature, 1989. V. 338:47–49.
- Pacyna, E.G. and Pacyna J.M. Global emission of mercury from anthropogenic sources in 1995. Water, Air, and Soil Pollution, 2002. V.137. P. 143–165.

- Pacyna, J.M. and E.G. Pacyna, Atmospheric emissions of anthropogenic lead in Europe. Improvements, updates, historical data and projections. Technical Report for GKSS Research Center, GKSS 2000/31, 2000. Geesthacht, Germany.
- Pyle D. M. Mather T.A. The importance of volcanic emission for global atmospheric mercury cycle. *Atmospheric Environ.* 2003. V.37. P. 5115-5124.
- Steffen A., Schroeder W. Atmospheric mercury in the high Arctic from 1995-2002 // Second AMAP Intern. Symp. on environmental pollution of the Arctic. Rovaniemi, 2002. P. O-011.
- Steffen A., Schroeder W. Bottenheim J. et al. Atmospheric mercury concentrations: Measurements and profiles near snow and ice surfaces in the Canadian Arctic during Alert 200 // *Atmos. Environ.* 2002. Vol. 36. P. 2653-2661.
- Swain, E.B., Engstrom, D.R., Brigham, M.E., et al. Increasing rates of atmospheric mercury deposition in midcontinental North America. // *Science*. V. 257. 1992. P.784-787.
- Wangberg I., Leppanen S., Munthe J. Atmospheric mercury in Sweden and Northern Finland; Atmospheric mercury concentration and mercury wet deposition trends during the period 1995 to 2001 // Second AMAP Intern. Symp. on environmental pollution of the Arctic. Rovaniemi, 2002. P. P-M05.
- Wu L. Review of 15 years research on ecotoxicology and remediation of land contaminated by agricultural drainage sediment rich in selenium. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V.57. 2004. P. 257-269.
- Xu M., RongYan, Chuguang Zheng. et al. Status of element emission in a coal combustion process: a review. *Fuel Processing Technology*. V. 85. 2003. P. 215-237