

## 4.2. Источники поступления загрязняющих веществ в АЗРФ и пути их миграции в морскую среду

### 1. Введение

Процессы 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. Глобальные и региональные климатические изменения будут существенно влиять на физические и биохимические процессы, биоразнообразие и социально-экономическое развитие арктического региона. И наоборот, арктические прибрежные системы окажут обратное воздействие на глобальные системы в результате усиления потоков вещества, генерируемого эрозией берегов и эмиссией «парниковых» газов при деградации прибрежной вечной мерзлоты (Rachold et al., 2003).

В данном обзоре используются элементы особого подхода к оценке состояния внешней среды крупных прибрежных регионов, так называемого DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response), впервые примененного в 1993 г. «Организацией экономического сотрудничества и развития» (OECD) и позже усовершенствованного в рамках проекта МГБП «Взаимодействие суша-океан в прибрежной зоне» (LOICZ).

### 2. Краткая физико-географическая характеристика арктического региона

Евразийская часть бассейна Арктического океана занимает площадь в  $13 \times 10^6$  км<sup>2</sup>, включая российскую часть Баренцева моря (Иванов, 1985).

В Европейской части бассейна преобладают равнины и низменности, тогда как в Восточной Сибири доминируют горные ландшафты (высшая точка – Пик Победы на Хребте Черского высотой 3147 м над уровнем моря).

На большей части евразийской территории климат резко континентальный. Среднеянварская температура снижается с  $-15$ – $-20^\circ\text{C}$  на побережье Белого моря до  $-40$ – $-45^\circ\text{C}$  и даже ниже в северо-восточной части Якутии.

Европейская Арктика находится под влиянием теплого атлантического течения Гольфстрим. Ежегодное выпадение осадков снижается от 750–880 мм на юго-западе до 540–600 мм на северо-востоке. Уральские горы задерживают проникновение влажных воздушных масс на восток. На побережье морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского норма осадков снижается до 100–300 мм, и только далее к востоку под влиянием Тихого океана она возрастает до 500 мм в год. Что касается растительного покрова, то бассейн разделяется на 4 зоны: тундра, лесотундра, тайга и горные скальные области без растительности.

Характерной чертой Евразийского бассейна Арктики является комбинация геологических структур разного происхождения и истории: Восточно-Европейская и Сибирская платформы и складчатые области соответственно. Они состоят из терригенных, карбонатных, хемогенных и вулканических осадочных пород от архейского до четвертичного возраста (Марков, 1985). Также встречаются легко вымываемые эвапоритные породы (гипс, ангидрит, каменная соль и др.), при этом формируются высокоминерализованные (более 10 г/л) подземные воды, оказывающие большое влияние на химию речных вод, особенно в зимний период.

Термальный режим рек Арктики зависит от климата, вечной мерзлоты, болот, озер и ледников. При вскрытии льдов весной в верховьях Сибирских рек формируется характерная паводковая волна, движущаяся на север и взламывающая лед. Периодически образуются мощные ледовые заторы, приводящие к резкому повышению уровня воды в

реках. Реки Западной Сибири покрыты льдом 4-6 месяцев в году, Восточной Сибири – до 8 месяцев. Небольшие реки Сибири могут промерзнуть до самого дна с октября по май.

### **3. Основные загрязняющие вещества и пути их переноса извне и внутри Арктики**

Цель данного раздела дать краткое описание основных видов загрязняющих веществ в Арктическом бассейне, их наиболее важных характеристик, путей поступления и поведения в регионе.

В принципе, набор загрязняющих веществ во внешней среде Арктики практически тот же, что и в большинстве других регионов планеты, однако удаленность, климатические условия и другие особенности региона приводят к тому, что у некоторых загрязнителей формируются свои особые черты поведения в данных условиях.

Основные загрязняющие вещества это тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, нефтяные углеводороды, кислотные загрязнители, радиоактивные и другие загрязняющие вещества. Различные загрязняющие вещества могут находиться в самых разных состояниях – растворенном в природных водах, в виде тонких частиц, коллоидном, газообразном и других формах. От форм нахождения тех или иных загрязняющих веществ зависят и способы и пути их переноса от источников до областей их осаждения и аккумуляции.

Рассмотрим, прежде всего, основные пути переноса загрязняющих веществ в Арктический регион. В рамках Арктической Программы Мониторинга и Оценки (АМАР) выделяется три главных пути переноса – перенос воздушными потоками, наземно-пресноводные пути (речной сток, льды) и океанические пути (океанские течения).

#### **3.1. Основные пути переноса.**

##### *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.

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 полушария составляет 3-6 месяцев, тогда как перенос водных масс из Атлантики в Арктический океан занимает от нескольких лет до десятков лет.

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.

##### *Наземно-пресноводные пути.*

Для водосборного бассейна Российской Арктики характерна густая речная сеть. Реки Евразии выносят в год около 3000 км<sup>3</sup> пресной воды и более 100 млн. т твердого материала (Табл. 1). 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.

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.

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.

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. Эти переходные от континента к океану области становятся, таким образом, мощными аккумуляторами не только природных веществ, но и многих загрязняющих веществ.

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.

#### *Океанские пути переноса.*

Арктический океан и окружающие моря получают загрязняющие вещества из воздуха, других океанов, рек и путем прямых сбросов с берегов и морского транспорта. 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, занимает годы и десятилетия.

Наиболее важное значение имеет Северо-Атлантическое течение. Это течение переносит радиоактивные загрязнения из Северного моря (г. Селафильд, Великобритания) в Арктику с лагом в 5-7 лет. Для нас особенно важно иметь представление о масштабах этого переноса, поскольку ежегодные радиоактивные поступления с реками Сибири оказываются не больше, чем поступления с океанскими течениями.

Поверхностные воды Атлантики также более богаты тяжелыми металлами, чем воды Арктического 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.

### **3.2. Основные загрязняющие вещества.**

#### ***Тяжелые металлы (ТМ).***

В группу тяжелых металлов входит большое число химических элементов (металлов и металлоидов), удельная плотность которых более  $5 \text{ г/см}^3$ . При всей условности такого объединения все тяжелые металлы обладают одним общим свойством: они могут быть биологически активными (Никаноров, Жулидов, 1991). Накапливаясь в пищевых цепях, ТМ, в конечном счете, попадают с пищей в организм человека и могут представлять собой реальную угрозу его здоровью, и даже жизни.

К числу наиболее токсичных для биоты ТМ относятся ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, медь, цинк, ванадий, хром, серебро, никель и другие. Загрязнение природной среды некоторыми ТМ приобрело уже глобальный характер. Достаточно привести пример со свинцом, повышенные по отношению к природным (фоновым) концентрации которого были найдены даже в кернах льда Антарктиды.

ТМ присутствуют в воде (в растворенном состоянии), в частицах водной взвеси и донных осадках рек, озер, морей и океана в разных формах, при этом наибольшую токсичность представляют лишь некоторые из этих форм, например неорганические соединения ТМ в воде или наиболее подвижные формы в твердых осадках.

Рассмотрим кратко формы нахождения наиболее токсичных ТМ (в АМАП к этому числу относят Hg, Pb и Cd) в разных средах.

#### ***Атмосфера.***

Ртуть попадает в атмосферу большей частью в газообразной фазе при сжигании топлива или промышленных и муниципальных отходов. В зоне сгорания ртуть испаряется в элементарной форме, затем быстро окисляется и осаждается на землю или переходит в воду. Другие металлы – Cd, Pb, As эмиттируются в атмосферу в элементарной форме либо в виде хлористых и сернистых солей, иногда в металлоорганических соединениях. В районах расположения плавильных и других работающих на угле заводов мышьяк выбрасывается в атмосферу в виде трехвалентного иона  $\text{As}^{+3}$ , наиболее токсичной формы этого металла. Также наиболее токсичны элементарный Cd, его окиси и хлористый Cd, т.е. доминирующие формы в атмосферных выбросах. Для Pb также токсичны его неорганические соединения, такие как окись, хлориды и сульфаты свинца.

Указанные металлы могут присутствовать в летучей фазе – это элементарные As и Cd и их хлориды, отчасти летуч и элементарный Pb.

#### ***Водные системы.***

ТМ в водных системах могут присутствовать в самых разных состояниях – в виде свободных ионов, комплексных ионов, неорганических ионных пар и комплексов, органических комплексах, в соединениях с высокомолекулярным ОВ, в виде коллоидов, взвешенных частицах – сорбированных комплексах, металлоорганических соединениях, в решетках глинистых минералов, в живой и отмершей биоте и других формах, причем вся система находится в состоянии динамического равновесия.

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, оксикарбоновые кислоты и др.), и высокомолекулярными 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.

Кадмий присутствует в природных водах преимущественно в элементарной форме, имеют место также неорганические соединения с  $\text{CO}_3$  и  $\text{PO}_4$ .

Во взвеси Cd преобладает в сорбированном комплексе, который часто десорбируется с взвеси при смешении речных и морских вод ( в зонах эстуариев).

Свинец также 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».

Биоаккумуляция и токсичность металлов очень сильно зависят от форм их нахождения в воде. В пресных водах свободные ионы Pb, Hg, Cd более распространены, чем в морской воде с высоким содержанием Cl и других анионов.

В целом, эти двухвалентные катионы более токсичны, чем их растворенные комплексные формы.

Необходимо отметить, что при проведении мониторинговых работ почти никогда не исследуются формы нахождения ТМ в водах, а в большинстве случаев даже не выполняется фильтрация воды через тонкие фильтры с размером пор около 0,5 мкм для отделения растворенных и взвешенных форм металлов, что во многом обесценивает результаты таких исследований.

#### *Основные источники ТМ в природной среде.*

Источники поступления ТМ можно разделить на две группы – природные и антропогенные.

К природным источникам относятся выветривание почв и горных пород, вулканы, морские соли, лесные пожары. Природные источники менее значимы в Арктике, чем антропогенные.

К антропогенным источникам относятся, в первую очередь, высокотемпературные процессы, генерирующие выбросы металлов: сжигание угля и нефти на электростанциях и заводах, сжигание бензина в автотранспорте, плавка цветных и железных руд, цементное производство, сжигание отходов. По сути, любой вид промышленности дает выбросы ТМ в природную среду.

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 природные воды 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, Bi и т.д.

#### *Пути переноса.*

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.

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) (Таблица 1). 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%).

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 et al., 2006). 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 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.

### ***Стойкие органические загрязнители (СОЗ).***

Стойкие органические загрязнители это широкий класс стойких химических веществ, обладающих сходными характеристиками, которые делают их потенциально опасными для окружающей среды. Важнейшими характеристиками являются их стойкость к биодеградации, накопление биотой, плохая растворимость в воде и высокая липофильность (т.е. накопление в жирах). Хотя северные народы не производят СОЗ сами, они потребляют в пищу морские организмы, накапливающие СОЗ. Хотя многие СОЗ (например, пестициды - ДДТ, токсафен, хлордан и др.) запрещены к производству и применению во многих странах в 70-90-х годах XX столетия, их продолжают находить в окружающей среде в значительных количествах, что является в основном наследием от выбросов в прошлом.

*Полихлорированные бифенилы (ПХБ)* – группа термостойких и очень устойчивых химических веществ, попадающих в Арктику как в результате дальнего переноса, так и из местных источников, таких как разработки минерального сырья, добыча угля и тяжелая промышленность. Недавно установлено, что источниками загрязнения ПХБ могут быть морские и речные порты и отслужившие свой срок военные объекты (например, радиолокационные станции, авиационные базы и др.). Хотя производство и применение ПХБ запрещено, они встречаются в красках старых конструкций, герметиках, электротехническом оборудовании.

*Хлорированные нафталины (ПХН)* близки в химическом отношении к ПХБ, их промышленное применение также аналогично ПХБ. ПХН были обнаружены в воздухе Арктики, морских млекопитающих, птицах. Токсичное действие ПХН сходно со свойствами хлорированных диоксинов, фуранов и диоксиноподобных ПХБ.

*Полибромированные дифенил-эфиры (ПБДЭ), гексабромциклододеканы и тетрабромбисфенол-А (ТББФА)* – бромсодержащие СОЗ, присутствующие в телевизорах, компьютерах, стройматериалах, тканях и других материалах. Их обрабатывают химическими веществами, содержащими СОЗ, чтобы не допустить воспламенения материалов и оборудования. ПБДЭ переносятся по воздуху на большие расстояния. Показано, что они могут оказывать токсичное действие на иммунную систему и нейроповеденческие функции животных Арктики. Производство бромированных антипиренов достигает 200 тыс.т в год во всем мире. В Арктике ПБДЭ зарегистрированы в воздухе и биоте, хотя их концентрации относительно невелики.

*Фторсодержащие органические соединения*, такие как *перфтороктан сульфонат (ПФОС)* отличаются очень высокой устойчивостью. ПФОС был обнаружен у белых медведей и тюленей Арктики. Пути переноса ПФОС и особенности поведения в арктической среде изучены очень слабо.

Сжигание отходов без очистки отходящих газов, печи с использованием дров, металлургические и целлюлозно-бумажные производства часто выбрасывают в атмосферу некоторые СОЗ как побочные продукты технологических процессов. Это относится к *диоксинам (ПХДД)* и *фуранам (ПХДФ)*. Хотя наибольший вклад в загрязнение этими веществами вносят США и Япония, в небольших концентрациях они были обнаружены и в Российской Арктике.

Также побочным продуктом при производстве хлора и хлорированных соединений, в том числе некоторых пестицидов, является *гексахлорбензол (ГХБ)*. Известные источники выбросов не могут объяснить уровни ГХБ, обнаруживаемые в атмосфере Арктики. Не исключено, что существуют не выявленные на сегодня источники, либо осажденный ранее ГХБ испаряется повторно и оказывается в воздухе вновь.

К числу СОЗ относятся многие *хлорированные пестициды*, отличающиеся высокой стойкостью в окружающей среде. Инсектицид *ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан)*, производство которого было начато в 1943 г., был запрещен к применению в 70-80-е годы во многих странах. Однако до сих пор ДДТ производят в Китае и Индии для борьбы с малярией и другими заболеваниями, переносимыми насекомыми.

Другие пестициды – *хлордан, гептахлор, дильдрин, эндрин, альдрин, мирекс, токсафен*. Хотя почти везде производство и применение этих пестицидов прекращено, старые запасы, особенно дильдрин, продолжают использоваться развивающимися странами для борьбы с насекомыми и их поступление в окружающую среду продолжается. Остаточные количества пестицидов по-прежнему поступают в атмосферу из почв, например хлордана и его метаболита *гептахлорэпоксида*, найденных в Арктике в середине 90-х годов.

Огромной проблемой широкого распространения пестицидов во внешней среде остаются примитивные методы распыления пестицидов в сельском хозяйстве. Российские ученые убедительно доказывают, что монодисперсное распыление вместо повсеместно применяемого полидисперсного распыления пестицидов способно резко изменить ситуацию к лучшему.

Применение технического *гексахлорциклогексана (ГХЦГ)* началось в 1943 г., за период с 1948 по 1997 гг. объемы его использования в мире превысили 10 млн.т. Технический ГХЦГ представляет собой смесь  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ -ГХЦГ, которые отличаются по своей химической структуре.

$\gamma$ -ГХЦГ – это инсектицид,  $\alpha$  и  $\beta$ -ГХЦГ являются побочными продуктами его производства.

Пестицид широкого действия – *трибутилолово (ТБО)* – применяется против водорослей, мошки, клещей, плесени, насекомых, а также как средство против обрастания на судах и морских сооружениях, таких как нефтяные платформы и подводные трубопроводы. ТБО может попадать в морскую воду со стоками с сельскохозяйственных территорий, судоремонтных верфей, с коммунально-бытовыми сточными водами.

Поскольку ТБО обладает сильным токсичным действием на морских беспозвоночных, его применение стараются ограничить. Хотя ТБО сравнительно быстро разлагается в воде, оно долго сохраняется в донных осадках озер и прибрежных морей, особенно в условиях арктического климата. Поэтому донные осадки могут быть источником вторичного поступления ТБО в воду.

#### *Пути поступления СОЗ в Арктику.*

Исследования последних лет, особенно в рамках АМАП, показали, что главными источниками СОЗ в Арктике являются промышленные и сельскохозяйственные районы

средних широт, откуда они переносятся по воздуху и с речным стоком. Помимо этого, СОЗ могут переноситься в Арктику мигрирующими животными.

При благоприятных метеоусловиях воздушные массы могут переносить СОЗ из средних широт в Арктику в течение нескольких дней или первых недель. Большинство СОЗ являются полувolatile, и их перенос носит довольно сложный характер. При низких температурах Арктики СОЗ из газообразного состояния конденсируются на аэрозолях и выпадают на землю с дождем, снегом или непосредственно оседая на поверхность земли или воды. Повышение температуры, таяние снега и льда может приводить к вторичному испарению СОЗ. Атмосферный путь переноса СОЗ, как и других контаминантов, гораздо важнее зимой и ранней весной, чем летом.

Реки захватывают СОЗ при протекании по промышленным и сельскохозяйственным районам и поставляют их в морскую среду, особенно в составе взвешенного материала. Как и в случае с тяжелыми металлами, существенно, но пока плохо изучена, роль морских льдов в выносе загрязняющих веществ в открытый океан.

Как было показано исследованиями в рамках АМАП, океанские течения могут быть серьезным поставщиком СОЗ в Арктику, особенно  $\beta$ -ГХЦГ. Однако этот путь может занимать десятилетия. Лучшая растворимость в воде  $\beta$ -ГХЦГ по сравнению с  $\alpha$ -ГХЦГ приводит к более активному его вымыванию дождем и снегом. Большая часть выбросов осажается сравнительно близко к источникам, например, в осадках северной части Тихого океана, откуда  $\beta$ -ГХЦГ может переноситься прибрежным течением Аляски на север Берингова моря и далее через Берингов пролив поступать в Арктику.

#### ***Нефтяные углеводороды.***

К нефтяным углеводородам (НУ) относят как сырую нефть, так и полициклические ароматические углеводороды – ПАУ (которые являются также частью СОЗ). Основными источниками НУ являются добыча и транспортировка нефти и газа, сбросы морского транспорта, сжигание горючих материалов, металлургическое производство, а также природные процессы – вулканы, лесные пожары и нефтяные сипы (высачивание нефти на морском дне).

ПАУ это все ароматические углеводородные молекулы, содержащие три или более бензольных колец. Сырая нефть, как правило, содержит 1-10% ПАУ. Они плохо растворимы в воде. Растворимость снижается при низких температурах и с ростом солености воды. Гидрофобная структура ПАУ приводит к быстрому связыванию с частицами взвеси, так что донные осадки становятся важным резервуаром их накопления. ПАУ могут подвергаться фотоокислению в воздухе и поверхностных водах. При низких температурах воздуха и воды и низкой солнечной активности (или при ее отсутствии в полярную ночь) это приводит к повышенной стойкости ПАУ в арктической среде.

Ожидаемое значительное расширение нефте- и газодобычи в прибрежной зоне Российской Арктики с большой долей вероятности повысит опасность загрязнения НУ в регионе. Большую опасность представляют аварийные разрывы нефте- и газопроводов и аварии крупных танкеров, перевозящих нефть.

Основные пути переноса НУ, в сущности, те же, что для других загрязняющих веществ – реки, атмосфера, океанские течения.

Наиболее важный путь это, скорее всего, через атмосферу. Модельные оценки показывают, что атмосферный транспорт ежегодно добавляет в арктическую морскую среду около 40 тыс. т НУ и столько же на арктическую территорию.

#### ***Радиоактивность.***

Радиоактивность есть свойство спонтанного распада атомного ядра, сопровождающегося испусканием ионизирующей радиации. Радиоактивность бывает природная и искусственная. Природная радиоактивность имеет место при распаде ядер в

земной коре и при облучении Земли космической радиацией, продуцирующей радионуклиды в атмосфере Земли.

В начале XX-го века человечество научилось создавать искусственные источники радиоактивности. Процесс расщепления ядер и мощные потоки нейтронов привели к производству большого количества продуктов расщепления и активации. Продукты расщепления это изотопы с атомной массой от 70 до 170. Однако, наиболее радиологические важные продукты распада это  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$ .

Взрывы ядерного оружия в 50-80-х годах XX века внесли наибольший вклад в загрязнение внешней среды продуктами расщепления и активации, и многие из них до сих пор регистрируются в Мире. В последние годы использование радиотепловых генераторов для космических объектов приводит, в случаях аварий, к росту таких дополнительных изотопов в среде как  $^{238}\text{Pu}$ .

Угроза радиоактивности для здоровья и жизни человека и экосистем связана с тем, что радиоактивные вещества излучают ионизирующую радиацию, повреждающую живые клетки. При малых дозах облучения возрастает риск раковых заболеваний и генетических эффектов в результате повреждения ДНК. При высоких дозах радиация убивает клетки, вызывая лучевую болезнь и нередко смерть человека.

Радиоактивное загрязнение в Арктике может привести к более тяжелым последствиям, чем в других регионах мира, что связано с уникальностью пищевых цепей, особенностями землепользования и подстилающей поверхности в этом регионе.

Крупнейшим источником радионуклидов для арктической морской среды являются сбросы европейских заводов по переработке отработанного ядерного топлива (например, в Селафильде, Великобритания). Большую угрозу для Арктики представляют возможные аварии с выбросами радионуклидов на атомных электростанциях, такие как Чернобыльская авария 1986 г. Другая опасность связана с большими объемами сосредоточенных в Арктике радиоактивных отходов (один из примеров – захоронения на о. Новая Земля и в Карском море).

Последние исследования показывают, что понимание физических и биологических процессов циркуляции радионуклидов в окружающей среде не менее важно, чем количественная оценка радиоактивного загрязнения.

Активный переход радиоцезия из внешней среды в продукты питания животных и человека является одним из важнейших факторов, определяющих повышенную уязвимость Арктики. Радиоцезий активно накапливается в ягодах, грибах, лишайниках, и далее в оленях и пище человека.

Радиоцезий также поступает в арктические пресноводные экосистемы, особенно на заболоченных водосборах Арктики с высоким содержанием органики в почве.

Важнейшим путем переноса радионуклидов является атмосфера. Среднее время жизни радионуклидов в арктической стратосфере порядка одного года. Перенос из стратосферы в тропосферу происходит в основном весной, когда тропопауза наиболее «проницаема». В тропосфере радионуклиды живут всего несколько недель, после чего они оседают на поверхность Земли в виде сухих или мокрых выпадений.

Океанские течения могут переносить радионуклиды, сбрасываемые прямо в море в Европе, в арктическую морскую среду с задержкой в 4-6 лет из-за малых скоростей течений.

Расположенные в бассейнах рек Сибири ядерные объекты поставляют радионуклиды в реки, особенно Обь и Енисей, которые выносят их в Карское море (по последним данным, объемы выноса радионуклидов реками сильно сократились). Важным путем переноса радионуклидов в Арктике является также циркуляция их в наземных экосистемах, о чем уже кратко упоминалось.

### ***Закисление внешней среды.***

Диоксиды серы, и, в меньшей степени, оксиды азота являются главными компонентами повышенной кислотности внешней среды Арктики. Они образуются в основном при сжигании ископаемых горючих веществ и промышленной плавке сульфидных пород.

Основная масса серы переносится воздушным путем из промышленно развитых регионов Евразии (40%) и Северной Америки (20%), остальные 40% из Юго-Восточной Азии, особенно из Китая. После пика в 70-х – начале 80-х годов XX века в развитых странах эмиссия двуокиси серы в атмосферу значительно снизилась.

Важнейшими локальными источниками в Российской Арктике являются металлургические комбинаты в городах Никель, Заполярный, Мончегорск на Кольском полуострове и в г. Норильске, крупнейшем источнике загрязнений в бассейне Енисея. Работающие на угле электростанции в Инте и Воркуте также вносят свою лепту. Морской и рыболовный транспорт, особенно в Баренцевом море, пользуется дизельным топливом, что приводит к выбросам серы во внешнюю среду. Наряду с антропогенными источниками существуют и природные, в первую очередь вулканическая деятельность и морские водоросли, поставляющие из океана в атмосферу 15-30 млн. т серы в год в виде диметилсульфида, что сопоставимо с вкладом антропогенной эмиссии серы в Европе.

Сжигание ископаемого топлива приводит к выбросу в атмосферу и оксидов азота, однако в Арктике роль ее значительно ниже по сравнению с диоксидами серы.

Находясь в воздухе, соединения серы и азота подвергаются действию света, влаги и химических веществ, что переводит их в кислотные капли и частицы, осаждающиеся на поверхность земли.

В холодном воздухе Арктики субмикронные частицы серной кислоты формируют характерное явление под названием Арктической мглы (Arctic haze), т.е. явление резкого снижения видимости в атмосфере из-за наличия в воздухе значительных количеств сульфатов и пыли, с которым впервые столкнулись экипажи самолетов погоды из Северной Америки в 1950-х. Последующие исследования показали, что это явление сезонное, с пиком весной, с антропогенными источниками сульфатов, сажи и пыли, расположенными за пределами Арктики.

Кислотные выпадения приводят к закислению почв и понижению величин рН в озерах, болотах и реках. Особенно сильное воздействие они оказывают на среду в непосредственной близости от металлургических комбинатов на Кольском полуострове (в пределах 0-30 км). Закисление почв приводит к резкой потере их плодородности. Вместе с сильным загрязнением среды никелем и медью это вызывает болезни и гибель растительного и животного мира. Однако для регионов, удаленных от металлургических производств на расстояние более 200 км, кислотные выпадения резко снижаются и не вызывают крупномасштабного закисления почв и природных вод.

#### **4. Особенности подхода DPSIR к оценке состояния внешней среды региона**

Данный подход позволяет объединить знания и опыт специалистов, как натуральных наук, так и социо-экономических. Он обеспечивает создание общей картины взаимодействий экономической деятельности с процессами, влияющими на экосистемы и социальную среду, показывает индикаторные функции и импакты на природные и социальные ценности региона. Предполагается оценка реакции общества на природные и антропогенные изменения во внешней среде региона.

Ниже приводится краткое перечисление основных источников загрязнения Арктики (Drivers), факторов давления на среду (Pressures), состояния среды и ее изменений (State), воздействий на характеристики системы (Impacts) и признаки ответной реакции общества (Response).

Источники загрязнения: экономическая деятельность в бассейне Арктики:

- нефте- и газодобыча,
- горнорудная и металлургическая промышленность,
- речные и морские порты и урбанизация,
- морской транспорт,
- рыболовство,
- сельское хозяйство,
- аквакультура,
- изменение землепользования.

Факторы давления: процессы, влияющие на ключевые экосистемы и функционирование социальной системы:

- строительство плотин и других конструкций в русле реки,
- водоотбор на промышленные, муниципальные и другие нужды,
- сброс промышленных, сельскохозяйственных и муниципальных отходов,
- навигация и землечерпательные работы,
- разработка речных донных отложений (стройматериалы, золотодобыча),
- подъем уровня моря, вызываемый наземной деятельностью человека.

Состояние среды и его изменения: индикаторные функции и воздействия на них:

- транспорт воды, взвеси и биогенных веществ (включая загрязняющие вещества) в прибрежной зоне как ключевые индикаторы трансграничных факторов давления,
- геоморфологические процессы – эрозия (термоабразия), размыв отложений, заиливание, аккумуляция осадков,
- экономические (финансовые) поступления в связи с изменениями потоков ресурсов из прибрежных систем, их объемов и изменений в экономической деятельности, включая оценку природных ресурсов, товаров и услуг.

Импакты на характеристики системы и обеспечения товаров и услуг:

- изменения среды обитания,
- изменения биоразнообразия,
- социальные и экономические функции,
- наличие ресурсов и услуг, использование и устойчивость,
- обесценивание природного капитала.

Реакция: предпринимаемые действия:

- научная реакция: исследовательские усилия, мониторинговые программы,
- политическая и/или управленческая реакция либо на защиту от неблагоприятных изменений, таких как возросший приток биогенов или загрязнителей, вторичный подъем уровня моря, либо на улучшение и/или восстановление, т.е. мер, предпринимаемых после негативного развития и изменения землепользования, чтобы была уверенность в реальной возможности восстановления устойчивого использования ресурсов системы.

## **5. Основные индикаторы изменений внешней среды и ранжирование импактов**

Для ранжирования загрязняющих веществ по степени их воздействия на окружающую среду применяются разные подходы. Наиболее приемлемым является метод критических нагрузок (КН). Критическая нагрузка это поток одного или нескольких входящих в экосистему веществ-загрязнителей, который еще не вызывает отрицательных изменений в наиболее чувствительных частях экосистемы (Henriksen et al., 1994; Моисеенко, 1997, 2001). Такой анализ может быть выполнен, если определены КН общего загрязнения биологических систем и если разработаны модели взаимодействия между потоками вещества в водосборе и соответствующими концентрациями поллютантов в рассматриваемых экосистемах.

Критические нагрузки представляют собой количественные оценки чувствительности экосистем к данному импакту, которые могут быть сравнены с данным состоянием экосистем относительно данного параметра или воздействия.

В России такой подход был применен к оценке потоков серы в регионе Кольского полуострова (Моисеенко, 1997, 2001, 2003) и в районе Норильска (Израэль и др., 2001). К сожалению, подобный подход требует большого объема информации, который отсутствует в большинстве случаев.

Другой индикатор загрязнений – предельно допустимая концентрация (ПДК) – может рассматриваться как «критическая нагрузка одного вещества-загрязнителя». Такой подход, в силу его простоты, наиболее часто применяется, в том числе и в системе Росгидромета.

К сожалению, система контроля за загрязнениями, основанная на ПДК, часто не способна предотвратить деградацию экосистем на приемлемом уровне (Никаноров, 1990; Израэль и др., 1991). Главный недостаток состоит в том, что рассмотрение изолированного воздействия отдельного химического вещества без учета целого комплекса воздействий и трансформаций в реальных экологических условиях не отражает реального положения в системе. Поэтому развитие теории критических нагрузок имеет приоритетное значение в экологической науке.

В работах по изучению загрязнения Кольского полуострова авторы (Моисеенко и др., 1997) применили так называемый индекс токсичности (ИТ), представляющий собой отношение суммы концентраций нескольких ТМ к сумме ПДК тех же металлов. Исследования 260 озер полуострова привели к заключению, что критические значения ИТ лежат в диапазоне 1-2.

В другой работе той же группы исследователей (Лукин и др., 2000) при изучении бассейна реки Печоры индекс экологического риска (ИЭР) был применен для количественной оценки потенциального экологического риска от воздействия нескольких загрязняющих веществ.

$$\text{ИЭР} = \sum_i K_{T_i} \times C_i$$
 где  $K_{T_i}$  – коэффициент токсичности данного вещества для данной реки,  $C_i$  – коэффициент загрязнения.

Авторы считают, что если  $\text{ИЭР} < 150$ , то риск незначительный, при  $150 \leq \text{ИЭР} < 300$  – риск умеренный, при  $300 \leq \text{ИЭР} < 600$  – риск значительный и при  $\text{ИЭР} \geq 600$  – риск высокий.

В системе Гидромета при оценке степени загрязненности воздуха применяются следующие оценочные критерии:

СИ – наибольшая измеренная за 20 минут концентрация любого вещества, деленная на ПДК;

ИЗА – индекс загрязнения атмосферы. Рассчитывается как сумма деленных на ПДК средних за год концентраций веществ. Загрязнение считается высоким при ИЗА от 7 до 13 и очень высоким при значении равном или более 14.

НП – наибольшая повторяемость превышения ПДК любым веществом в городе.

Для природных вод применяют такие комплексные оценки:

УКИВЗ – удельная величина комбинаторного индекса загрязненности вод. Может варьировать в диапазоне от 1 до 16, большему значению соответствует худшее качество воды. В последние годы рассчитывается с учетом 15 наиболее распространенных в поверхностных водах ЗВ.

КПЗ- критические показатели загрязненности вод. Это ингредиенты или показатели качества воды, которые обуславливают перевод воды по степени загрязненности в класс «очень грязная» на основании величины рассчитываемого по каждому ингредиенту оценочного балла, учитывающего одновременно величину наблюдаемых концентраций и частоту их обнаружения.

Выполненное в данном обзоре ранжирование импактов на прибрежную среду Российской Арктики проводилось в соответствии с их степенью важности и основывалось на количественной и качественной оценке различий между критическими порогами и нынешним состоянием для данного параметра в системе (т.е. принимались во внимание частота превышения ПДК, процент превышения КН, критические дозы радиоактивности, дефицит растворенного кислорода и низкие скорости первичной продукции, потеря пляжей и т.д.).

## **6. Современные уровни загрязняющих веществ в бассейнах крупных рек Российской Арктики**

В таблицах (2-1) – (2-11) представлены доступные на сегодня фактические данные по Российской Арктике. Как следует из этих таблиц, для Арктики наиболее значимы загрязнения за счет промышленного производства (металлургическая, легкое и тяжелое машиностроение, целлюлозно-бумажная, строительная, деревообрабатывающая, пищевая), добычи и переработки нефти, газа, угля, руд цветных металлов, закисления атмосферных осадков и природных вод, ядерной энергетики и ВМФ, морского и речного транспорта и, в меньшей степени, такие процессы как эвтрофикация, эрозия/седиментация, биоразнообразие, а также традиционная экономика местных народов.

### ***Загрязнения***

Огромный регион Арктики, который до недавнего времени рассматривался как незагрязненный, за последние несколько десятилетий стал объектом загрязнения из локальных и удаленных источников (Яблоков, 1996; Gordeev, 2002). К числу наиболее важных для Арктики загрязняющих веществ относятся тяжелые металлы, нефтяные продукты, диоксиды серы и оксиды азота, органические загрязнители. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ металлургическими комбинатами, цементными заводами, электростанциями, из открытых карьеров горных разработок, при добыче нефти и газа сильно воздействуют на экосистемы в пределах индустриальных зон на Кольском полуострове, Архангельской и Воркутинской областях, Норильске. Ситуация в Норильском регионе особенно серьезна, по сути уже катастрофична. Из-за выбрасываемых во внешнюю среду загрязнений Норильским горнометаллургическим комбинатом (ИГМК) концентрации ряда тяжелых металлов в почвах, мхах и лишайниках достигают экстремально высоких значений, превышающих ПДК в 150-200 раз и более (почвы – Cu-0,4%, Ni-0,4%, Co-0,02%, мох – Cu-0,07-0,14%, Ni-0,025-0,05%).

В Мурманской области металлургические комбинаты «Печенга-никель» (Мончегорск) и «Североникель» (Заполярный и Никель) выбрасывают в атмосферу до 3000 т Ni, 2000 т Cu, 100 т Co ежегодно (Меч, 1996). В снегу вблизи Мончегорска концентрация Cu достигала 2190 мкг/л (ср. 555 мкг/л – 550 ПДК), Ni – 708 (ср. 258 мкг/л – 26 ПДК) (Caritat et al., 1998). В воде озера Имандра около комбината «Североникель» измерены следующие концентрации ТМ (мкг/л): Ni – до 180 (18 ПДК) в 1986 г. и 63 (6 ПДК) в 1996 г., Cu – 21 (21 ПДК) в 1986 г. и столько же в 1996 г. (Моисеенко, 1997). В донных осадках озера (Залив Монче) содержание Cu превышало ПДК в 80 (1986 г.) и 25 (1996 г.) раз соответственно.

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 высокоточные определения растворенных Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, As, Fe, Mn в нижнем течении Оби, Енисея и Лены, выполненные в рамках Российско-Французско-Нидерландской Программы СПАСИБА (Scientific Program on Arctic and Siberian Aquatoria) (1989-1995) показали, что эти крупнейшие реки Сибири, особенно река Лена, по уровню тяжелых металлов относятся к числу наиболее чистых рек Мира (Martin et al., 1993; Dai,

Martin, 1995; Кравцов и др., 1994 и др.). Однако в верхнем и среднем течении этих рек концентрации ТМ могут быть высокими (Шварцев и др., 1999; Rachold, 1999; Панин, 2002; Gordeev et al., 2004).

Разработки горных пород приводят к загрязнению сотен км<sup>2</sup> на расстоянии 30-100 км и более от источников. Наиболее типичный пример это горнорудный комплекс «Апатиты» на Кольском полуострове. Комплекс накапливает за год до 30 млн. т пустой породы и выбрасывает около 70 тыс. т пыли. Максимальная концентрация в воздухе Sr достигает 170 нг/м<sup>3</sup>, т.е. в 100 раз выше фона.

Реки и озера в регионах добычи нефти и газа (в основном восточная часть Европейской Арктики и Северо-Западная Сибирь) серьезно загрязнены сырой нефтью: от 3 до 10 млн. т нефти ежегодно выливается на землю при 300 крупных (более 10000 т) и 11000 более мелких аварий на нефтепроводах и нефтедобывающем оборудовании (Яблоков, 1996). В работе (Братцев, 1989) было показано, что одна буровая испускает до 2 т углеводородов и сажи, 30 т диоксида серы.

Нефтяное загрязнение приводит к резкому изменению в разнообразии местной фауны. Ряд видов и количество птиц на территории, подверженной нефтяному загрязнению, сильно уменьшается по сравнению с незагрязненными регионами. Разрушаются пастбища и, как результат, снижается поголовье оленей, разрушается, в конечном счете, привычный образ жизни и создается угроза здоровью малых местных народностей.

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) регулярно регистрируются в воде, донных отложениях и биоте Арктики. Среди основных загрязнителей следующие: хлорорганические пестициды (например, гексахлорбифенилы и их метаболиты, промышленные химические вещества гексахлорциклогексан – ГХЦГ, полихлорированные бифенилы – ПХБ, антропогенные и природные продукты сгорания - диоксины/фураны и полициклические ароматические углеводороды – ПАУ). Например, в 1995-1997 гг. частота встречаемости превышающих концентрацию фенолов в 1 ПДК в воде бассейна Северной Двины была в диапазоне 35-51%, в бассейне Оби – 44-46%, в бассейне Енисея – 28-31%, и бассейне Лены – 61-72%. Соответственно, в 2003 г. в водах Северной Двины это в среднем был 89,5%, Енисея – 47,2%, Лены – 59%.

### *Закисление*

Повышение кислотности природных вод происходит за счет выпадения диоксидов серы и оксидов азота из атмосферы на водосборные площади. Для антропогенного закисления поверхностных вод в целом необходимы два фактора: выпадение «кислых дождей» и природная чувствительность земли к закислению.

В Мурманской области два металлургических комбината «Печенганикель» и «Североникель» выбрасывают до 86% диоксидов серы (остальные 14% выбрасывают местные электростанции, работающие на угле, и деревообрабатывающие и целлюлозно-бумажные производства). В то же время, трансграничный перенос серы из Западной Европы, и даже с Американского континента, представляет собой важный источник серы в Российской Арктике. Так, проведенные в 2003 г. специальные наблюдения за трансграничным переносом загрязняющих воздух веществ в рамках европейской программы ЕМЕП на трех станциях в Северо-Западном регионе России (Янискоки, Пинега, Шепелево) показали, что мокрые выпадения на этих станциях лежат в пределах 0,2-0,7 г/м<sup>2</sup> серы и 0,05-0,25 г/м<sup>2</sup> азота в год. Значения измеренных, расчетных и критических нагрузок серы и азота в районах указанных станций показаны в Таблице 3.

Таблица 3. Измеренные, расчетные и критические нагрузки серы и азота в районах российских станций ЕМЕП (Обзор загрязнения природной среды в РФ за 2003 г.)

Станция	Нагрузка, г/м <sup>2</sup> ·год					
	Измеренная		Расчетная*		Критическая	
	S	N	S	N	S	N
Янискоки	0,45	0,16	1,35	0,13	0,30	0,3-0,5
Пинега	0,25**	0,17**	0,33	0,17	0,48	0,3-0,5
Шепелево	0,93	0,83	1,09	0,69	0,94	1,0-1,5

\* – расчетные значения получены метеорологическим синтезирующим центром «Запад» программы ЕМЕП как средние за 1985-1993 гг.

\*\* – только мокрые выпадения.

Можно видеть, что измеренные выпадения соединений серы для исследуемых регионов могут несколько превышать рекомендованные значения критических нагрузок, тогда как для соединений азота имеется определенный экологический резерв.

### ***Радиоактивное загрязнение***

Основные источники искусственных радионуклидов в Российской Арктике включают испытания ядерного оружия на Архипелаге Новая Земля (1950-е-1960-е), глобальный фон от других испытаний, Чернобыльскую аварию (1986 г.), горнохимические заводы в России и Западной Европе, дампинг твердых и жидких радиоактивных отходов в Баренцевом и Карском морях, Северный военно-морской флот и его базы, предприятия по строительству и ремонту атомных подводных лодок, атомные ледоколы «Атомфлот'а» (Айбулатов, 2001).

Мощными источниками радиоактивного загрязнения морей Арктики являются расположенные в бассейнах рек российские химические заводы военно-промышленного комплекса. В соответствии с официальными данными (Яблоков и др., 1996), 1100 ТБК (30000 Ки) было сброшено в Арктику реками Обь и Енисей в период с 1961 по 1989 гг. Однако, в целом уровень радиоактивного загрязнения Арктических морей мало отличается от фона (~6 Бк/л), кроме нескольких локальных областей. Вынос жидких радиоактивных отходов Обью и Енисеем в настоящее время резко уменьшился.

Активность <sup>137</sup>Cs в донных осадках Баренцева моря обычно не превышает 10 Бк/кг. Аномально высокое содержание техногенных радионуклидов встречаются вблизи южной оконечности Новой Земли (Бухта Черная и др.), где до настоящего времени ситуация остается критической. Распределение искусственных радионуклидов в донных отложениях Карского моря довольно неоднородное. Высокие концентрации отмечались в Обской Губе и Енисейском Заливе, и особенно в Новоземельском желобе. Реки Енисей и Обь (менее явно) могут рассматриваться как артерии, через которые техногенные радионуклиды поступают в Арктический океан. Тот факт, что высокие концентрации <sup>137</sup>Cs не были зарегистрированы в прибрежной зоне Архипелага Новая Земля (за исключением Губы Черной) указывает на то, что твердые радиоактивные захоронения пока не оказывают заметного влияния на загрязнение Карского моря.

### ***Эвтрофикация***

Этот процесс в Арктике до сих пор не привлекал серьезного внимания ученых. Несмотря на наличие антропогенных источников повышенного поступления биогенных элементов, гидрологическая и биогеохимическая системы, регулирующие формирование вод в бассейне Арктики, способны предотвращать развитие эвтрофикации. Среди таких факторов - атмосферные осадки, хороший водообмен и малая мощность почвенно-растительного покрытия (Моисеенко, 1997).

К числу характерных для эвтрофикации сигналов относят низкую концентрацию растворенного кислорода, повышенные концентрации биогенов (N и P), интенсивное цветение водорослей с доминированием сине-зеленых и зеленых видов фитопланктона.

Однако, судя по данным Таблиц 2-(1-11), периодичность появления низких концентраций  $O_{2\text{раств.}}$  ( $<4$  мг/л) в воде крупных рек Арктики очень низка.

Уровни концентраций биогенов в воде рек, озер и водохранилищ важны для развития процесса эвтрофикации. Росгидромет располагает весьма продолжительными сериями данных по биогенам для многих рек Арктики. К сожалению, данные по аммонийному азоту  $NH_4$ , как было недавно доказано нашими совместными с учеными США работами, оказались резко завышенными из-за проблем методического характера (Holmes et al., 2000, 2001). Очень высокие концентрации  $NH_4$ , особенно в водах Оби и Енисея, могли бы быть индикатором развития эвтрофикации в этих бассейнах.

В целом, эвтрофикация значительна только в некоторых малых реках, озерах и водохранилищах, но не является реальной проблемой для крупных рек Арктики и их бассейнов стока.

### ***Прибрежная геоморфология***

Плотины серьезно влияют на эрозионно-аккреционное равновесие в бассейнах некоторых крупных рек Арктики. Детальное изучение современных трендов стока осадков в арктических реках показывает, что «изменения в стоке речных взвесей в большей степени зависят от деятельности человека, чем от климатических изменений» (Bobrovitskaya et al., 2003). С этим заключением можно согласиться на современном этапе климатических изменений, однако ожидаемое повышение средне-глобальной температуры воздуха на  $2-5^\circ\text{C}$  может привести к серьезному увеличению твердого стока рек (Gordeev, 2006).

В бассейне Оби построено 13 плотин и водохранилищ (общий объем  $75,2$  км<sup>3</sup>), в бассейне Енисея 8 плотин и водохранилищ ( $473,9$  км<sup>3</sup>), несколько плотин в бассейне Лены и Колымы (Воропаев, Авакян, 1986). Наиболее значительные изменения стока взвеси произошли в бассейне Енисея. После строительства Красноярской ГЭС в середине 60-х (объем водохранилища  $73,3$  км<sup>3</sup>) твердый сток Енисея в г. Игарке (несколько сотен км от устья) снизился с  $13,2$  до  $4,7$  млн. т в год (мутность воды уменьшилась с  $24$  до  $10$  мг/л) (Михайлов, 1997).

В бассейне Оби потоки воды и взвеси в районе Салехарда не показывают статистически значимых трендов. После строительства Новосибирского водохранилища сток взвеси в г. Новосибирске упал с  $14,1$  до  $5,1$  млн т в год. Однако, наблюдения в Белогорье (около  $700$  км выше Салехарда) показали положительный тренд – сток взвеси возрос с  $19,2$  млн. т/год (1941-1964) до  $28,4$  млн. т/год (1956-1990) в результате антропогенного фактора. Бобровицкая с соавторами (Bobrovitskaya et al., 2003) считают, что основная причина стабильного режима потока осадков в нижнем течении (Салехард) это обширная долина между Белогорьем и Салехардом, в которой осаждается огромная масса взвеси (59%) и между рекой и долиной происходит обмен веществом, т.е. долина действует как мощный амортизатор потока взвеси.

Изменения потока воды и твердого материала в бассейне Лены оказались незначительными. В бассейне Колымы произошло удвоение стока взвеси по сравнению с периодом середины 60-х. Рост от  $1,9$  (1941-1964) до  $3,7$  млн. т/год (1964-1988) специалисты объясняют активными работами по добыче золота в бассейне реки. Водный сток рек мало подвержен влиянию плотин в течение года – наличие в бассейне реки плотин приводит к увеличению стока зимой и снижению летом (Михайлов, 1997; Магрицкий, 2001).

Последние исследования показали, что вклад прибрежной эрозии в материальный бюджет арктических морей довольно значителен. Арэ (1999) предположил, что объем осадков, поставляемых в Море Лаптевых реками и за счет разрушения берегов одного порядка величины. Общая масса абразионного материала вдоль  $2400$  км береговой линии Моря Лаптевых составляет около  $60$  млн. т/год (Rachold et al., 2000), что в  $2,4$  раза превышает вынос взвеси всеми реками в море ( $25,1$  млн. т/год, Gordeev, 2000). Это

результат высоких скоростей эрозии (2-6 м/год – отступление берегов) из-за высоких клифов и сезонного таяния льдов. Обратная ситуация в Канадской Арктике – в Море Бофорта отношение эрозионного стока к стоку рек составляет всего 0,09 (MacDonald et al., 1998).

Значительная абразия наблюдается в некоторых частях береговой зоны Белого моря (до 13-17 м/год) и в Восточно-Сибирском море (4-30 м/год) (Геоэкология морей России..., 2001). Недавние работы показывают (Brown et al., 2003; Rachold et al., 2003), что прибрежная эрозия вместе с взвесью является и важным источником общего органического углерода в Арктический океан, что очень важно для экосистемы.

### ***Биоразнообразие***

Возрастающее загрязнение рек, озер и прибрежных морей Арктики нефтепродуктами, тяжелыми металлами, пестицидами и другими загрязняющими веществами приводит к потере биоразнообразия – снижению биомассы и разнообразия донной фауны и особенно потере мест обитания и резкому снижению рыбного стада.

Белое и Баренцево моря всегда относились к числу богатых рыбными запасами. Однако совместное воздействие больших переловов рыбы и загрязнения морей в середине XX века привело к резкому снижению популяции рыб и их вылову. Например, в бассейне Северной Двины вылов лосося упал в 4 раза в период между 1985 и 1990 гг. (Мокиевский, 1996). Загрязнения в бассейне Печоры привели к снижению вылова рыб в 3-4 раза в начале 90-х.

В бассейне Оби в 30-х годах XX века вылов составлял 34000 т, в 40-х - 804000 т, но в 1993 г. упал всего до 400 т/год в устье Оби и 14500 т/год во всем бассейне реки. В Енисее снижение вылова менее значительное – на 20% с 40-х по 90-ые годы. В бассейне Лены вылов также упал с 9960 т в 1944 до 1100 т в 1964 гг. в нижнем течении реки.

Снижение популяции рыб приводит к уменьшению численности птиц, тюленей и моржей. В 1986-1987 гг. до 90% популяции обычной кайры и 50% толстоклювой кайры было потеряно в регионе Мурманска.

Проблема сохранения биоразнообразия в Арктике с ее сравнительно небогатой биотой и экстремальной чувствительностью экосистем к антропогенному воздействию особенно приоритетна.

## **7. Оценка воздействия импактов на морскую среду от наземных источников**

Рассмотрим в данном разделе наземные источники загрязнений и вызываемые ими импакты в прибрежной зоне морей в относительных категориях. Ранжирование выполнено в соответствии с принятым в рамках проекта ЛОИКЗ подходом, принимая во внимание величину импактов и ожидаемую их эволюцию на основе существующих данных. В целом, в Российской Арктике наиболее серьезные проблемы связаны с загрязнением за счет индустриализации, нефти, газа и угледобычи, радиации, навигации, закисления, радиоактивного загрязнения и эрозии.

Загрязнения НУ, ТМ и органическими микрозагрязнителями остаются наиболее важной проблемой Российской Арктики. Экологический спад в 1990-х в РФ привел к заметному снижению дальнейшего загрязнения промышленно развитой Западной Арктики. В настоящее время сложилась более-менее стабильная ситуация на Кольском полуострове, в Архангельске и других регионах. В то же время, в начале XXI века (в 2000-2002 гг.) был преодолен наибольший спад и вновь по ряду загрязняющих веществ началось увеличение выбросов во внешнюю среду. В ближайшие годы ожидается усиление активности национальных и многонациональных нефтяных, газовых и угольных компаний по разработке и добыче минеральных ресурсов Арктики. Это с неизбежностью

приведет к расширению инфраструктуры наземного транспорта и растущей навигации в регионе, и соответственно к росту антропогенного воздействия на внешнюю среду.

Повышенная кислотность природных вод и почв в ряде областей Кольского полуострова, Архангельской области и в Норильском регионе, где уже перейден критический порог выпадений диоксида серы и оксида азота, является большой проблемой для указанных регионов. Однако в настоящее время уровень сернистых выпадений стабилизировался или даже несколько понизился, о чем свидетельствуют неполные, к сожалению, современные данные. В целом, проблема закисления для большей части территории Российской Арктике остается второстепенной.

Загрязнение техногенными радионуклидами остается в числе наиболее значимых проблем в Российской Арктике. Наибольшего уровня радиоактивное загрязнение имело место в 60-80-х годах XX столетия во время и после испытаний ядерного оружия. Имеются определенные указания на стабилизацию и даже улучшение ситуации, однако большой период полураспада многих радионуклидов делает эту проблему весьма долгоживущей.

В бывшем Советском Союзе было построено много крупных плотин на реках Арктики. Как показали детальные исследования многолетних (иногда более 50 лет) трендов изменения стоков воды и взвеси крупных рек Арктики (Bobrovitskay et al., 2003; Walling, Fang, 2003), для большинства рек сток в моря изменился незначительно или оставался стабильным. Только поток твердого материала в р. Енисее уменьшился почти в 3 раза после создания Красноярского водохранилища в 1967 г.

Синтез данных мониторинга по стоку воды шестью крупными реками Арктики (Северная Двина, Обь, Енисей, Лена, Колыма, Печора) в океан показал, что их общий сток за период с 1936 по 1999 гг. возрос на 7%. Среднегодовая скорость роста составила  $2,0 \pm 0,7 \text{ км}^3/\text{год}$ . Следовательно, сегодня сток шести рек на  $128 \text{ км}^3/\text{год}$  больше, чем в 30-х годах. Сток хорошо коррелирует с изменениями как Северо-Атлантической Осцилляции, так и глобальной средней температуры воздуха. Наблюдаемые изменения стока пресных вод в океан могут иметь большое влияние на океанскую циркуляцию и глобальный климат (Peterson et al., 2003).

Таблица 4 дает представление о важности воздействия наземных источников загрязнения на морскую среду и ожидаемые тренды их изменений. Категории импактов и ожидаемые тренды основаны на фактических данных, но, тем не менее, являются экспертными оценками и несут на себе определенную степень субъективности автора.

## **8. Условия среды в административных регионах РФ**

Административные регионы РФ, как правило, совпадают с крупными водными бассейнами. Это позволяет провести субрегиональное деление, привязанное к Арктическим морям, и оценить ситуацию в рамках существующих административных границ РФ.

### **8.1. Бассейн Белого моря**

Этот регион включает бассейн реки Северная Двина и прибрежную зону Белого моря (Архангельская область, Республика Карелия). Экологически Белое море разделяется на две большие части – восточную, мало загрязненную, омываемую приливными волнами и подверженную серьезной абразии, и западную часть внутреннего бассейна моря с заливами, где создаются благоприятные условия для аккумуляции ЗВ. Основные ресурсы субрегиона это лес, рыба, условия для речного и морского транспорта.

#### Архангельская область

Основными источниками загрязнения в области являются целлюлозно-бумажные предприятия ОАО «Архангельский ЦБК», г. Новодвинск, ОАО «Котласский ЦБК», г.

Коряжма и ОАО «Соломбальский ЦБК» - суммарный вклад этих предприятий в областной объем выбросов в атмосферу составляет 33% (2001 г.); предприятия теплоэнергетики ТЭЦ-1, г. Северодвинск, Архангельская ТЭЦ – 24%, а также муниципальные котельные, лесопильно-деревообрабатывающие предприятия, гидролизные заводы, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия.

Вклад автотранспорта в суммарные выбросы в атмосферу в разные годы колеблется в пределах 10-15% и проявляется тенденция к росту за счет увеличения автопарка.

Объем сточных вод, сбрасываемых в водные объекты области, год от года снижается, но процент загрязненных вод меняется мало: 2001 – 794, 6 млн. м<sup>3</sup>, из которых 68% - загрязненные сточные воды, 2002 – 795,4 (64,5%), 2003 – 700,3 (75,4%), 2004 – 649,6 (70%).

Характерные для Северной Двины ЗВ – соединения Fe и Cu, органические вещества, лигносульфонаты, на отдельных участках фенолы и нефтепродукты – обнаруживаются, как и прежде, по всему течению реки.

Относящиеся к группе стойких органических веществ (СОЗ) диоксины и диоксиноподобные токсиканты обнаруживаются в донных осадках Северной Двины и на отдельных участках Архангельской области. Основные источники – предприятия целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятий.

За последние годы ежегодно образовывалось огромное количество промышленных и бытовых отходов (2001 – 2,5 млн. т, 2002 – 3, 29 млн. т, 2003 – 4,8 млн. т, 2004 – 5,1 млн. т). На 487 местах складирования отходов размещено 16 млн. т отходов. Обследования свалок показали, что почвы под свалками загрязнены ТМ: Zn – до 16 ПДК, Pb – 26, Hg – 35.

К основным проблемам области относится также состояние на ядерных и радиационно-опасных объектах. Это атомное судостроение – деятельность Российского Центра Атомного Судостроения и других предприятий г. Северодвинск, где на территории предприятий находятся атомные подводные лодки с невыгруженным отработанным топливом, испытательные полигоны на архипелаге Новая Земля и в пос. Ненокса. Следует отметить, что радиационная обстановка на Новой Земле в настоящее время стабильна.

Важной проблемой является решение вопросов экологической реабилитации полей падения отделяющихся частей ракет-носителей при осуществлении ракетно-космической деятельности космодрома «Плесецк», расположенного на территории области.

#### Республика Карелия (РК)

Республика Карелия занимает западную часть внутреннего бассейна Белого моря. Основной вклад в загрязнение атмосферы в РК вносят 5 крупных промышленных предприятий: ОАО «Карельский окатыш», г. Костомукша, ОАО «Кондопога», г. Кондопога, ОАО «Сегежбумпром», г. Сегежа, ОАО «Надвоицкий алюминиевый завод», пос. Надвоицы, Петрозаводская ТЭЦ, г. Петрозаводск. Вместе они выбрасывают 63% от общего объема эмиссии.

В 2001 г. стационарными источниками было выброшено в атмосферу 138, 7 тыс. т отходов, из которых 54% улавливалось и обезвреживалось, соответственно в 2002 г. было выброшено 137,9 (55%), 2003 г. – 132,4, 2004 г. – 136,0 тыс. т.

Объем сточных вод, сброшенных в водные объекты, в 2001 г. составил 226,1 млн. м<sup>3</sup>, из которых 80% относилось к категории загрязненных, а 9,1% вообще не подвергались очистке. В последующие годы динамика была следующая:

2002 г. – 220,4, 80%; 2003 г. – 225,4, 77,3%; 2004 г. – 242,4, 86,2%, без очистки – 8,7%.

Актуальной экологической проблемой РК остается сбор, обезвреживание, захоронение и переработка отходов производства и потребления. В республике слабо развита вторичная обработка отходов и высок удельный вес ресурсо- и

материалопотребления, что приводит к росту объема отходов. В 2002 г. образовалось 68,4 тыс. т отходов, в 2003 г. – 67,0, в 2004 г. – 70, из которых использовано и обезврежено всего 6%. 5,5% площади республики представляет собой природно-заповедный фонд, широко известны национальные заказники «Кижский» и «Заонежский».

## 8.2. Бассейн Баренцева моря

В данном разделе будет рассмотрена экологическая ситуация в Мурманской области, Республике Коми и Ненецком Автономном округе (НАО). Прибрежную зону Печорского моря занимает НАО.

### Мурманская область

Мурманская область – один из наиболее крупных и экономически развитых регионов Европейского Севера России. Область занимает территорию Кольского полуострова и материковую часть, географическая граница между которыми проходит по реке Кола, озеру Имандра и реке Нива.

Горнопромышленный комплекс Мурманской области – это крупнейшие в России предприятия цветной и черной металлургии, горнохимической промышленности, производства редкометаллического сырья и стройматериалов.

В 2001 г., по данным Госкомстата России, промышленными предприятиями области выброшено в атмосферу 369,4 тыс. т ЗВ, из которых 82,6% уловлено и обезврежено. Соответственно в 2002 г. было выброшено 332, 5 тыс. т (82,8% уловлено), в 2003 г. – около 312, в 2004 г. – 315,5. Главными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия РАО «Норильский Никель», входящие в состав РАО «Кольская горнометаллургическая компания» (в том числе АО ГМК «Печенганикель», АО «Комбинат Североникель»). Их общий вклад в суммарные выбросы области составил 57%. Значительный вклад вносят также Апатитская ТЭЦ и ОАО «Апатит», г. Кировск.

В водные объекты области в 2001 г. было сброшено 1839, 3 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, в том числе 370,4 млн. м<sup>3</sup> загрязненных вод (20,1%). В последующие годы ситуация выглядела так: 2002 г. – 1775 (21%), 2003 г. – 1752,2 (19,3%), 2004 г. – 1876,5 (20%).

Анализ водохозяйственной обстановки в МО показал интенсивное загрязнение природных вод Баренцева и Белого морей сточными водами флотов и береговых предприятий транспортного, строительного, оборонного и других ведомств, ОАО «Росагрохим», корпорации «Росцветмет».

В 2001 г. на территории области образовалось 468,9 тыс. т токсичных отходов, из которых 60% было обезврежено. В 2004 г. общий объем всех видов отходов составил 140,7 млн. т, из которых 34,91 было использовано и обезврежено (25%) и размещено в местах хранения и на свалках 105,8 млн. т.

Специфика области – наличие на территории большого количества ядерных реакторов (в том числе 4 реактора Кольской АЭС, ядерные энергетические установки судов) и связанной с организацией безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом инфраструктуры. В их число входят: Ремонтно-технологическое предприятие «Атомфлот», Северный Флот и его войсковые части, ФГУП «Сев Рао», Мурманский спецкомбинат «Радон», Ловозерский и Ковдорский горно-обогатительные комбинаты и др.

По состоянию на 2003 г. на территории МО накоплено около 1 млн. Кюри радиоактивных отходов.

Фауна МО весьма разнообразна, включает 270 видов птиц, 32 млекопитающих, сотни видов беспозвоночных. Численность видов животных остается стабильной, а численность тетеревиных птиц даже возросла.

### Кольский Залив

Кольский залив, в устье которого расположен областной центр г. Мурманск, находится в числе областей с наиболее тяжелой экологической обстановкой. В Таблице 2-3 показано, что вода и донные осадки Кольского Залива сильно загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами, бенз(а)пиреном (до 20 ПДК), радионуклидами.

В 2003 г. объем сброса сточных вод в Кольский Залив от 60 водопользователей (ГОУП «Мурманск водоканал», МУП «Североморск водоканал», ФГУП «Мурманский морской рыбный порт», ОАО «Мурманский морской торговый порт», ФГУП «Водоканал» МО, г. Полярный и др.) составил 71,2 млн. м<sup>3</sup>, из них загрязненных 63,5 млн. м<sup>3</sup> (61,3 без очистки).

Для защиты хрупкой экосистемы региона принимаются к действию различные программы, например «Проект устойчивого развития региона Мурманской области – Баренцева моря» и другие.

### Республика Коми

Республика Коми богата месторождениями нефти (месторождения Усинское, Возейское, Верне-возейское) и угля (Воркутинское, Варгашорское, Интинское и др.). Экологической проблемой для республики является сжигание попутного газа при нефтедобыче и, как следствие, загрязнение воздуха сероводородом и другими ЗВ.

Спецификой загрязнения природных вод в областях добычи угля является сброс большого объема высокоминерализованных вод, обогащенных хлоридами и сульфатами, взвесью, фенолами, НУ и ТМ. Воздушная среда при этом загрязняется диоксидами серы, оксидами азота, окисью углерода, бенз(а)пиреном, формальдегидом, пылью.

В 2001 г. в атмосферу было выброшено 688,3 тыс. т ЗВ, более 90% составляла доля промышленности, в 2002 г. – 663,8 тыс. т, в 2003 г. – 630,6 тыс. т, в 2004 г. – 659,8 тыс. т. Некоторое снижение выбросов связано с сокращением производства на ряде предприятий и принимаемыми мерами по снижению выбросов. К числу предприятий с наибольшими объемами выбросов относятся ТЭЦ-2, г. Воркута (7% республиканского объема выбросов), Сосногорский ПГЗ – 6%, ОАО «Сыктывкарский ЛПК» - 4%, Сосногорское ЛПУБГ, г. Ухта – 4%, Цементный завод, г. Воркута – 3%, ТЭЦ-1, г. Воркута – 3%.

Объем сброса сточных вод составил в 2001 г. 596,4 млн. м<sup>3</sup>, в том числе 146,4 загрязненных (24,5%), в 2002 г. – 673,8 (21,5%), в 2003 г. – 586,8 (25,5%), в 2004 г. – 554,6 (25%).

Острой проблемой для республики остается проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО). В 2001 г. образовалось 13,7 млн. т промышленных и бытовых отходов. В 2002 г. отходов накопилось 13,1 млн. т, в 2004 г. – 11,7 млн. т, из которых 44% было использовано и 61,7% размещено на объектах хранения.

### Ненецкий Автономный Округ (НАО)

НАО относится к регионам РФ, наиболее богатым месторождениями нефти и газа. На материковой части НАО, на острове Колгуев и в прилегающей части Печорского моря открыто и частично эксплуатируется более 3-х десятков нефте- и газовых месторождений. Среди наиболее известных можно упомянуть Варандейское, Приразломное, Штокмановское и многие другие. По сути, каждое разрабатываемое месторождение представляет собой очаг повышенной экологической опасности с хроническим воздействием на наземные и морские экосистемы. Разведка, обустройство и эксплуатация нефтегазовых месторождений приводит к нарушению почвенного покрова и уничтожению растительности, химическому загрязнению буровыми растворами, сточными водами, продуктами добычи, нарушению термического, гидрологического и гидрогеологического режимов, т.е. разрушению, в конечном счете, природных комплексов.

В 2001 г. в атмосферу было выброшено 17,8 тыс. т ЗВ, 67% которых поступило за счет открытого сжигания попутного газа в факельных устройствах. В 2002 г. объем

выбросов несколько снизился – до 15,1 тыс. т, однако в последующие годы резко возрос – 2003 г. – 36,8, 2004 г. – 62,06 тыс. т, практически полностью за счет нефтедобывающей отрасли.

Сброс сточных вод мало менялся за последние годы: 2002 г. – 2,31 млн. м<sup>3</sup> (48% загрязненных), 2003 г. – 2,30 (53%), 2004 г. – 2,24 (53%). Росло образование токсичных отходов: 2001 г. – 286 тыс. т, 2002 г. – 391,7 тыс. т, 2003 г. – 551 тыс. т, 2004 г. – 480 тыс. т, из которых обезврежено всего 7%. Крупнейшие производители отходов – ОАО «Северная нефть», ООО «Лукойл-Коми», ЗАО «Север ТЭК», ОАО «Печора нефть», ФАО «Тоталь РРР», СП «Компания «Полярное Сияние»».

### 8.3. Бассейн Карского моря

Западная Сибирь: Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский Автономные Округа, Тюменская, Омская, Томская области, Красноярский Край.

Тюменская область вместе с двумя автономными округами – Ханты-Мансийским и Ямало-Ненецким занимают основную часть Западно - Сибирской Низменности, где главными речными артериями являются реки Обь, Пур и Таз.

#### Ханты-Мансийский АО

Ханты-Мансийский АО занимает первое место в РФ по добыче нефти – 57,2% в России, или 6,9% Мировой добычи, второе место по выработке электроэнергии – 60,2 млрд. кВт/час и третье место по добыче газа – 24,4 млрд. м<sup>3</sup> (по состоянию на 2003 г.). Главная проблема Ханты-Мансийского АО, как и других основных регионов по добыче нефти и газа, состоит в конфликте между местным народностями и нефтяными и газовыми компаниями. Традиционная экономика Хантов и Манси почти разрушена – они лишились доступа к традиционным местам пастбищ, охоты и рыболовства. Новые федеральные законы защищают права и статус местных народностей. Остается надеяться, что эти законы будут работать в полную силу.

В Ханты-Мансийском АО более 7 тысяч предприятий, 68 нефтегазовых компаний, среди которых такие крупные как ЛУКОЙЛ, ТНК, ЮКОС, Сургутнефтегаз, Газпром, Сибнефть, Славнефть и другие. 14 нефтедобывающих компаний работают на основе иностранных инвестиций. В округе имеется 8 нефтеперерабатывающих заводов, крупные энергетические предприятия – Сургутские ГРЭС-1 и ГРЭС-2, Нижневартовская ПЭС. За последние годы построено 10 новых городов, десятки поселков, проложены тысячи километров железнодорожных путей, 5000 км дорог с твердым покрытием, тысячи километров нефте- и газопроводов, ЛЭП и др.

В 2001 г. в атмосферу было выброшено 1,73 млн. т ЗВ, или на 33% больше, чем в 2000 г. К сожалению, из этой огромной массы было уловлено и обезврежено всего 0,5% - один из самых низких в РФ показателей. Главный источник, как легко понять, нефтегазовый комплекс.

Интересно проследить динамику изменения объемов эмиссии ЗВ в атмосферу. В 2002 г. объем возрос еще на 50%, достигнув 2,55 млн. т, в 2003 г. ситуация мало изменилась – 2,44 млн. т, и вновь значительный рост в 2004 г. – до 2,97 млн. т. Таким образом, за 5 лет с 2000 г. по 2004 г. выбросы в атмосферу возросли почти в 2,3 раза. Среди выбросов преобладали оксид углерода – 1,35 млн. т, летучие органические вещества – 0,49 млн. т, углеводороды (без ЛОС) – 3,36, твердые вещества – 0,15 (по состоянию на 2003 г.). В 2002 г. в Округе произошло 8 аварийных выбросов в результате взрывов газопроводов с последующим возгоранием. Основные причины – механические повреждения трубопроводов, наружная коррозия, брак при строительстве. В 2003 г. в результате аварий в атмосферу было выброшено 6,3 тыс. т ЗВ.

В 2001 г. объем сточных вод составил 483,1 млн. м<sup>3</sup>, из которых 33,3 (7%) были загрязненными. В 2002 г. соответственно было 318, в 2003 г. – 510,4 (7,5%), в 2004 г. – 634,9 (5%).

Главные источники загрязненных вод – промышленные бытовые сточные воды.

Динамика образования отходов и степени их использования и обезвреживания была следующей: 2001 г. – 1,3 млн. т (19,3%), 2002 г. – 1,2 (20,7%), 2003 г. и 2004 гг. – нет данных.

#### Ямало-Ненецкий АО

Экологическая ситуация в Округе оценивается как сложная, она во многом напоминает ситуацию в Х-М АО. Нефтегазовая отрасль создает 83% промышленных и бытовых отходов, остальные 17% - ЖКХ и транспорт.

Основной вклад в загрязнение внешней среды вносят ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз», ООО «Надымгазпром», ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», ООО «Уренгойгазпром», ООО «Тюментрансгаз» и др. Постоянно сжигается колоссальный объем газа на теплоагрегатах компрессорных станций и на факелах. Оказывается мощное антропогенное воздействие на реку Обь и ее притоки. Расширение нефтегазодобычи влечет за собой развитие транспорта, особенно автомобильного, вклад которого в выбросы ЗВ в атмосферу в 2003 г. составили 20%.

В 2001 г. в округе было выброшено в атмосферу 586,6 тыс. т ЗВ и 112,6 от автотранспорта и других передвижных источников.

В 2002 г. выбросы составили 725,5 млн. т от стационарных и 133 от передвижных источников, в 2003 г. – 913,8 и в 2004 г. – 1088, 3 тыс. т от стационарных источников (они составляли 18%).

Объемы сточных вод в Я-Н АО были значительно ниже, чем в Х-М АО: 2001 г. – 76,6 млн. м<sup>3</sup> (43% загрязненных), 2002 г. – 74,9 (44%), 2003 г. – 72,9 (43,8%), 2004 г. – 71,2 (46%).

Со сточными водами в воды Оби поступают нефтяные углеводороды, фенолы, целый букет ТМ – Hg, Sn, Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Sr, Mn и др.

В 2001 г. образовалось 249,1 тыс. т токсичных отходов (на 24% больше, чем в 2000 г.), в 2002 г. – 336,4, в 2003 г. – 474,5 тыс.т.

#### Тюменская область

Тюменская область также является важным нефтегазоносным регионом. Области присущи все упомянутые выше экологические проблемы, хотя и в меньшей степени. Более крупные, чем в автономных округах, города, в первую очередь г. Тюмень, вносят свою лепту в загрязнение внешней среды.

В 2001 г. в атмосферу было выброшено 68,6 тыс. т ЗВ (20% уловлено) от стационарных источников и 563,7 тыс. т от передвижных. Главными поставщиками были ОА «Тюменнефтегаз», ОАО «Тобольский нефтехимический комбинат», ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, г. Тюмень, Ярково и Туртасское ЛПУМГ, Тобольская ТЭЦ.

В 2002 г. эмиссия составила 79,3 тыс. т, в 2003 г. – 72, в 2004 г. – 71,5.

Ситуация со сбросом в водные объекты сточных вод выглядела так: 2000 г. – 313,4 млн. м<sup>3</sup>, загрязненных 82,6 (26,3%), 2001 г. – 316,7 (24,8%), 2002 г. – 318,4 (24,0%), 2003 г. – 326,4 (22%), 2004 г. – 343,6 (22%). «Водоканал» г. Тюмени поставлял 53,8% сточных вод. Объемы твердых отходов в 2002 г. составили 504,4 тыс. т (44,9% обезврежено), в 2003 г. – 800 тыс. т (?) и в 2004 г. – 380 (79% утилизировано).

#### Омская область

Центр области г. Омск фактически один формирует подавляющую часть загрязнений области – 97, 5% сброса сточных вод, 81% атмосферных выбросов, до 1/3 образующихся отходов (2004 г.).

В 2001 г. стационарные источники выбрасывали до 238 тыс. т (в 2000 г. – 225,7 тыс. т), что составляло 40% полной эмиссии (остальные 60% формировали передвижные источники в первую очередь автомобильный транспорт). Главными стационарными источниками в г. Омске были предприятия электроэнергетики и нефтепереработки, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, ОАО «Омский НПЗ».

В 2002 г. объем выбросов от стационарных источников в атмосферу составил 243,6 тыс. т, в 2003 г. – 236,9 тыс. т, в 2004 г. – 219,3 тыс. т, т.е. имеет место тенденция снижения объемов выбросов. В г. Омске загрязнение воздуха довольно серьезное. Высоки концентрации оксида углерода, формальдегида, бенз(а)пирена, пыли, диоксида серы, регистрируется присутствие сероводорода, фенолов, сажи, ксилола, толуола.

Одной из серьезных экологических проблем области остается интенсивное загрязнение водных объектов.

В 2000 г. объем сточных вод в области составил 223 млн. м<sup>3</sup>, в 2001 г. – 232,6 млн. м<sup>3</sup>, 2002 г. – 229,5 млн. м<sup>3</sup>, 2003 – 226 млн. м<sup>3</sup>, 2004 г. – 221,2 млн. м<sup>3</sup>. При этом очищается очень малая часть сточных вод – около 1%.

В 2001 г. в области образовалось 2,4 млн. т отходов, в 2002 г. – 3,2 млн. т, 2003 г. – 3,85 млн. т, 2004 г. – 3,2 млн. т, из которых обезврежено 28,4%.

#### Томская область

По данным Госкомотчетов (2001-2004 гг.), за последние 5 лет экологическая обстановка в области рассматривается как удовлетворительная и стабильная.

Объем выбросов ЗВ в атмосферу изменялся следующим образом: 2001 г. – 254,6 тыс. т, 2002 г. – 293,8 тыс. т, 2003 г. – 335,5 тыс. т, 2004 г. – 296,5 тыс. т. Возрастание выбросов на 30% в 2003 г. по отношению к 2001 г. (в 2004 г. был спад до уровня 2002 г.) объясняется ростом добычи нефти (на 26% в 2003 г. по сравнению с 2001 г.), следствием чего является и рост добычи газа и объемов его сжигания. Наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносят НГДУ «Лугинецкнефть», г. Кедровый, НГДУ «Васюганнефть», г. Стрежевый, ФГУП «Сибирский химический комбинат», ОАО «Томскнефть». Динамика сбросов в водные объекты сточных вод такова: 2000 г. – 516,6 млн. м<sup>3</sup>, 2001 г. – 538,8 млн. м<sup>3</sup>, 2002 г. – 505,7 млн. м<sup>3</sup>, 2003 г. – 549,3 млн. м<sup>3</sup>, 2004 г. – 540,1 млн. м<sup>3</sup>, при этом основная масса проходит очистку и в результате сбрасывается всего 3-3,5% загрязненных вод. Подавляющая часть сбрасывается в реку Томь, которая отличается высоким уровнем загрязнения в бассейне Средней Оби.

В 2000 г. в области образовалось 300 тыс. т токсических отходов, из которых утилизировано всего 2,4%. В последующие годы объем отходов возрос более чем в 2 раза, но оставался стабильным: 2002 г. – 680 тыс. т, 2003 г. – 681,3 тыс. т, 2004 г. – 600 тыс. т. Если нет ошибки в госотчете за 2004 г., то из этого объема уже утилизировано 64%.

#### Таймырский (Долгано-Ненецкий) Автономный Округ

Важнейшей экологической проблемой Округа является расположенный на его территории Норильский промышленный район, один из самых загрязненных на территории РФ. ОАО «Норильский ГК» выбрасывает более 2 млн. т ЗВ в атмосферу (2001 г. – 2111 тыс. т, 2002 г. – 2145,4 тыс. т, 2003 г. – 2020 тыс. т, 2004 г. – 2068 тыс. т). На всей остальной территории Округа объемы выбросов от стационарных источников были несравненно меньше: 2001 г. – 12,4 тыс. т, 2002 г. – 12,1 тыс. т, 2003 г. – 14,7 тыс. т, 2004 г. – 15,1 тыс. т (передвижные источники добавляли всего 7%).

При общей площади городов Норильска, Талнаха и Кайеркана (807 га) под различные виды отходов в Норильском промышленном районе занято около 6 тыс. га земли. Это шлако- и золотоотвалы, отстойники металлосодержащего сырья, свалки промышленных и бытовых отходов, хвостохранилища, отвалы грунта и горных пород и т.п. При этом необходимо отметить, что предприятия по переработке отходов в Норильском промышленном регионе отсутствуют.

Экологическая обстановка в районе катастрофическая, а на обширных сопредельных территориях приближается к критической. Уничтожение растительности привело к нарушению водного и теплового баланса, развитию болот, эрозии почв, термокарста, оползней, привело к гибели и миграции животных, ухудшило условия жизни населения. Ведение сельского хозяйства становится проблематичным.

В 2001 г. объем сточных вод составил 202,1 млн. м<sup>3</sup>, в том числе 47,5% загрязненных. В последующие годы объем сточных вод почти не менялся: 2002 г. – 196,6, 2003 г. – 192,6, 2004 г. – 195,7 (49,5% загрязненных).

Проблемой остается сбор, утилизация и размещение промышленных и бытовых отходов. С 2001 г. объем образовавшихся отходов вырос к 2004 г. в 2,4 раза, оставив 31,5 тыс. т, из которых 24% было утилизировано.

#### Эвенкийский Автономный Округ

Основными источниками загрязнений в Округе являются объекты нефтегазового комплекса, ЖКХ, авиапредприятия. В целом обстановка удовлетворительная, поскольку на территории в 76,3 тыс. га население составляет всего 18 тыс. человек.

В атмосферу в 2001 г. было выброшено 5,2 тыс. т, в 2001 г. – 5,5 тыс. т, 2002 г. – 4,5 тыс. т, 2003 г. – 5,5 тыс. т, 2004 г. – 6,8 тыс. т.

Однако в ближайшем будущем можно ожидать ухудшения обстановки в Округе. Российские нефтегазовые компании получили лицензии на разработку месторождений Юрубчено-Тахомской зоны (Байкинский район) и Собинского месторождения.

Трансграничные переносы ЗВ из Норильского промышленного региона приводят к загрязнению почв тяжелыми металлами Cu, Zn, Ni, Fe, Pb и др. тем большим, чем ближе к границе Таймырского АО. Сброс сточных вод производится не в водные объекты, а на рельеф местности.

Остается проблема отходов. Территория поселков, мест производства геологических работ захлавлена металлоломом, накопившимся за несколько десятилетий до 12 тыс. т. Объем строительных отходов – 2 тыс. т, на поселковых свалках – 30 тыс. т твердых хозяйственно-бытовых отходов.

#### Красноярский Край

Большинство экологических проблем Края связаны с очень небольшой его частью, относящейся к промышленным центрам края и зонам непосредственного антропогенного воздействия. В Крае размещены крупнейшие в РФ тепло- и гидроэлектростанции, угольные разрезы, объекты алюминиевого производства, золотодобычи и др. Всего на территории Края, по состоянию на 2003 г., находилось 1396 производственных объектов, представлявших собой источники загрязнения.

Объем выбросов в атмосферу составил в 2001 г. – 2571 тыс. т (в том числе 2111,7 за счет ОАО «Норильский ГК»), в 2002 г. – 2455 (2145,4), 2003 г. – 2460 (2020), 2004 г. – 2528 (2068).

Для ОАО «Норильский ГК» остается нерешенной проблема переработки серы из газов в серу элементарную. Кроме Норильского ГК свой вклад в загрязнение атмосферы вносят ОАО «Красноярский алюминиевый завод», ОАО «Ачинский глиноземный комбинат», Назаровская и Красноярская ГРЭС, Красноярские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2.

В 2001 г. забор воды на промышленные цели снизился с 2730 до 2554 млн. м<sup>3</sup>, (21% загрязненных), сброс сточных вод в 2001 г. – 2211 млн. м<sup>3</sup>, 2002 г. – 2227 млн. м<sup>3</sup>, 2003 г. – 2420 млн. м<sup>3</sup>, 2004 г. – 2136 млн. м<sup>3</sup> (20% загрязненных).

В 2001 г. было образовано 18,1 млн. т токсичных и 34,1 млн. т неопасных отходов, в 2002 г. – уже 100 млн. т (29,6% использовано), в 2004 г. – 132,5 млн. т (41% утилизировано).

2% территории Края это особо охраняемые природные территории федерального значения. Широко известны государственный заповедник «Столбы», национальный парк «Шуменский бор», эколого-этнографический заказник «Елогуйский».

Сравнительно устойчивая ситуация сохраняется в животном и растительном мире Края.

#### **8.4. Бассейны Моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей**

##### Республика Саха (Якутия)

Основные отрасли промышленности, влияющие на экологию, это электроэнергетика, горнодобывающая, нефтегазовая и промышленность стройматериалов.

Стационарные источники в 2000 г. выбросили в атмосферу 134,2 тыс. т, в 2001 г. – 130,3 тыс. т, 2002 г. – 131,0 тыс. т, 2003 г. – 134,3 тыс. т, 2004 г. – 154,2 тыс. т ЗВ. До 70% выбросов улавливается и обезвреживается. Основные предприятия – источники ЗВ это Акционерный комплекс «Якутскэнерго» (электроэнергетика дает 70%) и АК «Алданзолото».

Столица республики г. Якутск отличается высоким уровнем загрязнения атмосферы, особенно с мая по сентябрь, что связано не только с сезонностью работы АО «Якутскцемент» в пос. Мохсоголлох, но и крупными лесными пожарами в центральной Якутии. Одно из важных загрязняющих воздух веществ – бенз(а)пирен образуется при сгорании разных видов топлива на предприятиях теплоэнергетики, а также от частного сектора домов с печным отоплением. Атмосфера в г. Якутске по уровню загрязнения превышает 2,3 стандарта ВОЗ, в г. Нерюнги – 2,4 стандарта ВОЗ. В воздухе также регистрируются диоксиды азота, фенолы, аммиак, формальдегид.

Объем сточных вод, сброшенных в водные объекты, составил в 2001 г. 145,1 млн. м<sup>3</sup>, из которых 86,8% были загрязненными. Основные источники сточных вод – объекты ЖКХ, цветной металлургии. Динамика в последующие годы была: в 2002 г. – 141,6 млн. м<sup>3</sup> (82,9% загрязненных), 2003 г. – 134,3 млн. м<sup>3</sup> (91%), 2004 г. – 132,1 млн. м<sup>3</sup> (60%). При незначительном снижении объемов сброса сточных вод заметна положительная тенденция увеличения степени очистки вод. Однако растет пропорция проб воды, не удовлетворяющих необходимым санитарно-химическим показателям водоемов. Это следствие отсутствия зон санитарной охраны на источниках водоснабжения и сброса загрязненных вод. Ежегодно в республике накапливается до 300 000 люминесцентных (ртуть содержащих) ламп, утилизировать которые установка по демеркуризации в г. Якутске в полном объеме не способна.

Растут площади нарушенных земель при разработке месторождений, геологоразведочных работах и др. В 2003 г. общая площадь нарушенных земель составила 37 000 га.

В 2002 г. из-за особо суровой зимы и летних пожаров погибло более 10 тысяч охотничьих птиц. В последние годы сокращается численность диких и домашних оленей (дикие олени с 250 до 140-160 тысяч голов за несколько лет).

Строительство плотины на р. Вилюй привело к снижению числа ценных промысловых рыб – лососевых и сиговых. Алмазо- и золотодобывающие и нефтегазовые отрасли, добыча нерудных материалов, дноуглубительные работы негативно влияют на рыбное стадо. Некоторые популяции находятся за чертой, когда естественное восстановление запасов уже невозможно (осетр, нельма, муксун, омуль).

##### Чукотский Автономный Округ

Территория округа удалена от основной части страны. Почти полное отсутствие дорог, суровые климатические условия определяют очень низкую численность населения округа и размещения его в основном на побережье Чукотского моря. С середины прошлого века началось промышленное освоение Севера в ущерб традиционным отраслям хозяйствования местного населения – возникли очаги техногенного загрязнения.

Основными источниками загрязнения воздуха в Округе являются Певекский и Иультинский ГОКи, и ЖКХ (многочисленные котельные).

В 2001 г. общий объем выбросов в атмосферу от стационарных источников составил 35,4 тыс. т, 2001 г. – 31,9 тыс. т, 2002 г. – 28,4 тыс. т, 2003 г. – 38,2 тыс. т, 2004 г. – 38,1 тыс. т (до половины объема выбросов улавливается).

Объем сточных вод в 2001 г. составил 18,6 млн. м<sup>3</sup>, 2002 г. – 20,5 млн. м<sup>3</sup>, 2004 г. – 17,5 млн. м<sup>3</sup> (около 28% загрязненных).

Важной экологической проблемой округа является проблема хранения отходов. На территории Чаунского района находится выведенная из эксплуатации в начале 1950-х годов обогатительная фабрика, в хвостохранилищах которой общей площадью 20 000 м<sup>2</sup> накоплены радиоактивные отходы (концентрация радона – 400-600 Бк/м<sup>3</sup> (> 1000 фонов)). Хвостохранилище находится в непосредственной близости от берега Восточно-Сибирского моря (18 км от г. Певека), что представляет угрозу для Чаунской Губы и всего Восточно-Сибирского моря.

Билибинская АЭС, эксплуатируемая с 1974 г., накопила до 600 т твердых и 700 т жидких радиоактивных отходов, на 80-90% заполняющих хранилища.

Весеннее подтопление создает опасность загрязнения моря нефтепродуктами (на 7 складах хранится 1600 т ГСМ и на 7 отработанных карьерных выемках-отстойниках накопилось большое количество отходов ГСМ и твердых отходов).

Отличительной экологической особенностью территории округа является интенсивное разрушение поверхностного слоя тундры, рост площадей нарушенных земель, сокращение биоресурсов.

Известный заповедник на о. Врангеля отличается богатством флоры и фауны.

## **9. Важнейшие горячие точки в Российской Арктике.**

Рабочая Группа Экспертов (РГЭ) (Evseev et al., 2000) приводит следующее определение понятия «горячая точка». Горячая точка определяется как «Ограниченная и поддающаяся определению область, в которой расположены антропогенные источники и/или имеет место деятельность человека, или комплекс таких источников и/или видов деятельности, которые негативно влияют или угрожают негативным воздействием здоровью человека, экосистемам, биоразнообразию, устойчивому развитию или имеют негативные экологические последствия для жизнеспособности и товарного вида биоресурсов, что могло бы гарантированно привлечь внимание управленцев».

По мнению автора, ГТ можно дать следующее определение: «Горячая точка это определенная область, в которой происходит накопление одного или нескольких видов ЗВ от одного или нескольких антропогенных источников до или выше критического уровня, что приводит к деградации экосистем, и, в конечном счете, угрожает здоровью человека».

В данном обзоре выбран субрегиональный масштаб ГТ, в отличие от локального, когда, например, отдельное небольшое нефтегазовое месторождение или даже отдельное предприятие могут рассматриваться как ГТ. РГ экспертов (Evseev et al., 2000) выделяет 147 ГТ в Российской Арктике, 63 из которых это нефтегазовые месторождения, некоторые из которых еще даже не разрабатываются и рассматриваются только как потенциальные РГ. Субрегиональный масштаб представляется более предпочтительным для целей НПД-Арктика, поскольку на первом этапе разработки СПД чрезмерная детализация кажется излишней.

Идентификация ГТ основана на анализе всей имеющейся информации и экспертных оценок условий на местах. Используются Государственные доклады о состоянии внешней среды в РФ за 2001, 2002, 2003 и 2004 гг., ежегодники качества поверхностных вод в РФ за 1997-2003 гг., обзоры загрязнения природной среды в РФ за 2000-2003 гг., многочисленные научные публикации в отечественной и зарубежной научной литературе, материалы собственных исследований в Арктике автора с коллегами, начиная с 1972 г.

Автор обзора имеет собственную точку зрения на качество фактических данных, публикуемых в печати, в первую очередь по тяжелым металлам, биогенным элементам и

нефтепродуктам, что оказывало определенное влияние на экспертные оценки состояния среды в том или ином регионе.

Фактическая основа для бассейнов основных рек Российской Арктики представлена в обобщенном виде в Таблицах 2-1, 2-2, ..., 2-11. Рассматривались разные виды загрязняющих веществ, виды человеческой деятельности и некоторые природные процессы, воздействие которых на внешнюю среду региона могло привести к формированию ГТ. Это такие виды загрязнений как тяжелые металлы, нефтепродукты, стойкие органические вещества, специфические органические вещества, радиоактивное загрязнение, микробиологическое загрязнение, закисление, эвтрофикация, прибрежная эрозия, седиментация, водопотери. При установлении категории импакта в рассматриваемом регионе использовался весь комплекс представленных данных.

На основании официальных материалов Государственных Докладов рассмотрено состояние внешней среды и тренды его изменения за последние годы для многих административных регионов РФ в Арктике.

На базе всего сказанного выделены наиболее важные, на взгляд автора обзора, горячие точки в Российской Арктике и дана качественная оценка степени их воздействия на морскую среду.

### **Список горячих точек в Российской Арктике**

#### **1. Кольский полуостров (без Кольского залива)**

Гг. Никель, Заполярный, Мончегорск – горнодобывающая промышленность;

Гг. Апатиты, Кировск, Ковдор, Орленегорск – металлургия;

Г. Полярные Зори-АЭС;

Экологическая ситуация кризисная – 8-9.

#### **2. Кольский залив (включая Мурманск)**

Г. Мурманск – торговый и рыбный порт, энергетика, транспорт, городская инфраструктура;

Залив – приемник стоков сильно загрязненных рек – Кола, Тулома, руч. Варничный, Кольская АЭС, радиоактивное загрязнение.

Экологическая ситуация кризисная-9.

Серьезное воздействие на морскую среду.

#### **3. Устье реки Северная Двина и Двинский залив**

Г. Архангельск – крупный порт, судоремонтная промышленность, энергетика, транспорт. Городская инфраструктура;

Гг. Соломбала, Новодвинск, Коржма – деревообработка, ЦБК;

Г. Северодвинск – машиностроение, судоремонт, энергетика, базы ВМФ.

Экологическая ситуация близка к критической-8.

Серьезное воздействие на морскую среду.

#### **4. Тимано-Печерский регион (НАО)**

Средоточие нефтяных и газовых месторождений, как на суше, так и в море (Приразломное, Штокмановское – открыто на НИС «Профессор Штокман», ИО РАН).

Разработка и обустройство новых месторождений идет высокими темпами.

Экологическая ситуация близка к критической-8.

Воздействие на морскую среду значительное.

#### **5. Воркутинский регион (Республика Коми)**

Средоточие угольных месторождений (Воркута, Мульда, Варгашор, Инта).

Г. Воркута – угледобыча, энергетика, транспорт.

Ситуация близкая к кризисной-8.

Воздействие на морскую среду незначительное.

#### **6. Обско-Тазовский регион (Ямало-Ненецкий АО)**

Средоточие нефтяных и газовых месторождений.

Ситуация близка к критической-8.

Воздействие на морскую среду значительное.

#### **7. Ханты-Мансийский регион (Ханты-Мансийский АО)**

Крупнейший в РФ регион по объемам добычи нефти и газа.

Ситуация близка к критической-8.

Влияние на морскую среду умеренное.

#### **8. Норильский регион (Долгано-Ненецкий АО)**

Г. Норильск, Талнах – крупнейший в РФ центр металлургической промышленности – цветные металлы, энергетика.

Глубокий кризис-10.

Полное разрушение экосистем (лесов, пастбищ, охотоугодий и т.д.).

Ухудшение здоровья местного населения.

#### **9. Архипелаг Новая Земля (Губа Черная)**

На юго-западе архипелага расположена Губа Черная, откуда начинался Северный полигон СССР, объект 700, по ядерным испытаниям. Уровень радиоактивного загрязнения донных осадков Губы остается экстремально высоким ( $^{137}\text{Cs} > 1200 \text{ Bk/kg}$ ). Глубокий экологический кризис-10.

Донные осадки прилегающей к Губе акватории сильно заражены радиоактивным цезием.

Итак, выделено 9 ГТ, реально существующих, а не потенциальных. Расположение выделенных ГТ показано на рис. 1. Легко видеть, что все ГТ сосредоточены в европейской части Арктики и Западной Сибири. Это не означает, что в Восточной Сибири отсутствуют экологические проблемы. Достаточно серьезные проблемы с экологией имеют место в Республике Саха (Якутия), в бассейне Колымы, в Чукотском АО и других регионах Восточной Арктики, что видно из Таблиц (2-8) – (2-11). Однако до критического или выше критического порога ситуация в этих регионах еще не дошла.

Дадим далее краткую оценку тенденций развития ситуаций в выделенных субрегионах ГТ за последние годы. Наиболее показательными являются изменения от года к году в объемах выброса ЗВ в атмосферу, объемов сброса сточных вод в водные объекты и объемов образовавшихся отходов. Такие данные имеются в Государственных Докладах, они представлены в параграфе 6 для наиболее важных административных регионов страны.

Первые три ГТ – Кольский полуостров, Кольский Залив и устье Северной Двины и Двинский Залив расположены на территории Мурманской и Архангельской областей. Изменения объемов эмиссии ЗВ в атмосферу, сброса сточных вод и образовавшихся за год отходов за период с 2000 (2001) по 2004 г. показаны на рис. 2. Из рисунка видно, что в Мурманской области объемы выброса ЗВ в атмосферу за 4 года снизились на 15 %, практически не изменились объемы сброса сточных вод (данные по отходам в явном виде отсутствуют). В Архангельской области почти не меняются объемы выброса ЗВ в атмосферу, на 18 % снизились объемы сброса сточных вод и в 2 раза увеличились объемы образующихся отходов.

Однако последняя цифра не отражает реальное положение вещей. В 2003 г. резкое увеличение объема образовавшихся отходов было обусловлено не фактическим его увеличением, но возрастанием количества предприятий (на 98), представляющих отчетность и уточнением показателей отчетности.

Таким образом, судя по представленным данным, сколь-нибудь значительных изменений за период 2001-2004 г. на территориях Мурманской и Архангельской областей не произошло. Можно ожидать, что такие крупные города и порты как Мурманск и Архангельск будут постепенно развиваться. Однако на сегодня можно констатировать,

что три ГТ (Кольский полуостров, Кольский Залив и устье Северной Двины – Двинский Залив) находятся в близкой к кризисной, но достаточно стабильной ситуации.

Следующие ГТ (Тимано-Печорский, Обско-Тазовский и Ханты-Мансийский регионы – ГТ № 4, 6 и 7) демонстрируют следующую динамику развития (рис. 3). Все три региона – важнейшие нефтегазодобывающие регионы РФ. Данные свидетельствуют о том, что в этих регионах происходит быстрыми темпами увеличение объемов добычи нефти, что влечет за собой выход попутного газа и его сжигание. В результате объемы эмиссии в атмосферу возросли в 2004 г. относительно 2001 г. на 1,85 раза в Ямало-Ненецком АО, в 2,3 раза в Ханты-Мансийском и в 3,5 раза в Ненецком АО. Объемы сброса сточных вод за этот период мало изменились во всех трех регионах, тогда как объемы образовавшихся отходов почти в 2 раза увеличились в НАО и ЯНАО (по Х-МАО данные за 2003-2004 гг. отсутствуют).

Таким образом, с большой вероятностью можно ожидать значительного увеличения выбросов ЗВ в атмосферу и образования отходов в трех АО, что только подтверждает справедливость включения этих регионов в число ГТ в Российской Арктике.

ГТ № 5 (Воркутинский район, Республика Коми) широко известен своими угольными месторождениями. За период с 2001 по 2004 г. произошло небольшое (5-10 %) снижение объемов выброса ЗВ в атмосферу, примерно на столько же снизились сбросы сточных вод, еще больше (на 15 %) уменьшились объемы образующихся отходов. По-видимому, можно утверждать о стабильности ситуации, предполагая сохранение наметившейся тенденции.

ГТ № 8 (Норильский регион), вероятно, не требует дополнительных доказательств – настолько велико разрушение экосистемы. Данные по объему выбросов ЗВ в атмосферу ОАО «Норильский ГК» показывают, что существенных изменений в ситуации не происходит, выбросы в течение ряда лет остаются на стабильно высоком уровне: 2111 тыс. т в 2001 г., 2145 в 2002 г., 2020 в 2003 и 2068 в 2004 г.

Последняя ГТ № 9 (Губа Черная, Архипелаг Новая Земля) отсутствует в списке горячих точек, выделенных РГ экспертов (Evseev et al., 2000). В Губе Черной начинался Северный полигон СССР по ядерным испытаниям. На рис. 4 показаны уровни  $\gamma$ -нуклидов (в Бк/кг) в донных осадках Губы по данным (Матишов и др., 1994). Хорошо видно, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  превышает 1200 Бк/кг при фоновом уровне 10-15 Бк/кг.

Очень велики также концентрации других радиоактивных изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{52}\text{Co}$  и других. Учитывая, что период полураспада  $^{137}\text{Cs}$  равен 30 годам, надо признать, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  заметно снизилась за последние 12 лет. То, что снижение концентраций  $^{137}\text{Cs}$  происходит со временем пропорционально значению его физического распада, было показано недавними исследованиями на территории Уральского региона, где в 1957 г. произошла тяжелая авария на ПО «Маяк». Тогда было выброшено в атмосферу радионуклидов суммарной массой 20 млн. кюри, 18 млн. из которых осело непосредственно в промзоне, а остальные 2 млн. кюри распространилось в северо-восточном направлении, образовав след ВУРС. В 1957 г. после аварии запас  $^{90}\text{Sr}$  на ВУРС оценивался в 100 тыс. кюри, а к 1997 г. за счет физического распада это количество уменьшилось на 38 тыс. кюри.

Этот регион остается важнейшей ГТ на Южном Урале, в верховьях бассейна Оби. Последние измерения радиоактивности в Обской Губе показывают (Айбулатов, 2000; Stepanets et al., 2002, 2004), что уровень концентраций  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в донных отложениях Губы находится на фоновом уровне. Поэтому данная ГТ не была включена в число рассматриваемых в обзоре ГТ.

Большое влияние Губы Черной на уровень концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках прилегающей части Печорского моря отчетливо видно на рис. 5, взятом из работы (Ivanov, 1999).

В заключение хотелось бы обратить внимание на восточное побережье Белого моря и побережье Морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Последние исследования показали

(Коротаев и др., 1991, 1998; Rachold et al., 2003), что за счет термоабразии и волновой эрозии происходит интенсивное разрушение береговой линии: отступление в Белом море – до 17 м/год, море Лаптевых – до 6 м/год, в Восточно-Сибирском – до 30 м/год! Столь высокая скорость отступления берегов может рассматриваться как природная катастрофа (хотя эти области не отвечают определению горячей точки).

## **11. Пробелы и слабости в понимании процессов переноса загрязняющих веществ в Арктике**

Понимание процессов переноса ЗВ и способность дать их количественную оценку в настоящее время остаются неполными и неадекватными. Особенно это относится к оценкам переноса ЗВ как внутри, так и между основными средами (атмосфера, вода, земля, лед, осадки, биота). Среди наиболее существенных пробелов следует упомянуть следующие (большая часть их отмечена в Отчете АМАП (1998)):

- Пути транспортировки в Арктику ЗВ из различных источников, включая источники внутри региона, которые либо не могут быть оценены количественно, либо вообще не известны;

- Процессы трансформации и осаждения основных ЗВ, таких как ТМ, радионуклиды, нефтепродукты, СО<sub>2</sub>, транспортируемых через атмосферу, реки, с морскими течениями, льдами и т.д.;

- Влияние особых климатических условий Арктики (особенно недостаток света и низкие температуры) на трансформацию и судьбу ЗВ в регионе;

- Отсутствие необходимой информации о концентрации и потоках многих ЗВ, а для многих ЗВ вообще полное отсутствие данных во внешней среде Арктики;

- Информация об изменениях концентраций и потоков многих ЗВ во времени (трендах) либо не полна, либо полностью отсутствует;

- Почти всегда измеряются концентрации и иногда потоки отдельных видов ЗВ и очень мало данных о совместном воздействии (синергетике) комплекса ЗВ на внешнюю среду;

- Слабо изучено физиологическое и токсикологическое воздействие как отдельных ЗВ, так тем более их комплекса на здоровье человека;

Следует подчеркнуть также существующие трудности методического порядка:

- Слабо разработаны критерии оценки уровня концентраций и потоков как отдельных, так и особенно комплекса ЗВ в различных природных средах. Например, широко применяются ПДК – предельно допустимые концентрации того или иного элемента или компонента. При этом установленные уровни ПДК иногда вызывают недоумение (например, для  $\text{Cu}^{2+}$  токсикологическая ПДК в воде равна 1 мкг/л, что в 2,5 раза ниже средней концентрации растворенной меди в антропогенно незагрязненной речной воде). Наиболее приемлемый метод критических нагрузок, к сожалению, требует столь значительного объема данных, что на практике он применяется в единичных случаях.

- Остается важной проблема качества получаемых первичных данных по уровням концентраций тех или иных ЗВ. При определении целого ряда ЗВ требуется высокочувствительная, а значит дорогая, аналитическая аппаратура и выполнение жестких методических требований при получении, хранении, транспортировке и обработке образцов воды, взвеси, осадков, планктона, растительной и животной ткани и других видов исследуемых образцов. В системе мониторинга такие требования не всегда, к сожалению, соблюдаются, что приводит к получению неверных данных (как правило, завышенных). В первую очередь, сказанное относится к анализу растворенных форм тяжелых металлов, некоторых форм биогенных элементов, нефтяных углеводородов и др. (Holmes et al., 2001; Gordeev, 2001).

Сказанное выше, к сожалению, усложняет интерпретацию полного объема получаемой информации при оценке степени антропогенного воздействия на внешнюю среду любого региона, и особенно в Арктике.

## 12. Основные выводы

Обобщение всей имеющейся информации о состоянии внешней среды в Российской Арктике (Государственные доклады за последние годы, Ежегодники качества поверхностных вод РФ, Обзоры загрязнения природной среды в РФ, материалы выполненных ранее подобных обзоров, научная литература по данной тематике и результаты собственных исследований автора обзора) показывает, что, оставаясь в целом чистым регионом по сравнению с большинством других регионов планеты, Арктика становится все более подверженной влиянию как местных, так и удаленных источников загрязнений. В принятом в данном обзоре субрегиональном масштабе выделено 9 субрегионов, в которых экологическая ситуация приближается или уже перешла критический порог. К числу горячих точек отнесены следующие:

1. Кольский полуостров (без Кольского залива). Горнодобывающая и металлургическая промышленность, атомная энергетика. Экологическая ситуация близка к кризисной.

2. Кольский Залив (включая г. Мурманск). Сток сильно загрязненных рек, торговый и рыбный порты, транспорт, базы ВМФ, хранилища ядерных отходов. Экологическая ситуация кризисная.

3. Устье Северной Двины и Двинский Залив. Деревообработка и производство бумаги, судоремонт, машиностроение, энергетика, базы ВМФ, транспорт. Экологическая ситуация близка к кризисной.

4. Тимано-Печорский регион (Ненецкий АО). Нефтяные и газовые месторождения на суше и в море. Экологическая ситуация близка к кризисной.

5. Воркутинский регион (Республика Коми). Угольные месторождения. Экологическая ситуация приближается к кризисной.

6. Обско-Тазовский регион (Ямало-Ненецкий АО). Нефтяные и газовые месторождения. Экологическая ситуация близка к кризисной.

7. Ханты-Мансийский регион (Ханты-Мансийский АО). Нефтяные и газовые месторождения. Экологическая ситуация близка к кризисной.

8. Норильский промышленный регион (Долгано-Ненецкий АО). Крупнейший центр металлургической промышленности. Глубокий экологический кризис.

9. Архипелаг Новая Земля (Губа Черная). Остаточная после эры ядерных испытаний радиоактивность донных отложений губы многократно превышает критический уровень. Глубокий экологический кризис.

Для целей разрабатываемой Программы исключительно важно иметь четкое представление о тенденциях (или трендах) развития ситуации в регионах ГТ.

Наиболее показательными интегральными характеристиками изменения экологической обстановки могут служить официальные оценки объемов выбросов ЗВ в атмосферу, объемы сброса сточных вод в водные объекты и объемы образующихся отходов в данном административном регионе в течение года (а также количественные оценки улавливаемых, очищаемых и утилизируемых объемов выбросов в атмосферу, сточных вод и отходов).

В целом по РФ в 2004 г. объем выбросов ЗВ в атмосферу от стационарных источников составил 20,5 млн. т, уловлено и обезврежено из которых 73,3% (рис. 6).

Ясно видно, что минимальный объем имел место в 1999 г. – 18,5 млн. т, очевидно как результат снижения промышленного производства в стране в 1990-х годах. После 1999 г. наблюдается устойчивый рост объемов выбросов (в 2004 г. увеличение составило 2 млн. т или 10,8% к 1999 г.). Интересно подчеркнуть, что нарастание объемов происходило

за счет выбросов газообразных и жидких веществ, а не твердых, объем которых мало менялся год от года. Также не меняются, или даже немного уменьшаются выбросы диоксида серы и оксидов азота, тогда как выбросы оксида углерода возросли в 2004 г. по отношению к 2002 г. на 15%.

В отличие от эмиссии в атмосферу объемы сброса загрязненных сточных вод в целом по стране постоянно уменьшаются – с 24,5 млн. м<sup>3</sup> в 1995 г. до 18,5 млн. м<sup>3</sup> в 2004 г. (рис.7). Более детальные данные показывают, что постоянно снижается объем использованной свежей воды, тогда как объем оборотной и повторно-последовательно используемой воды, напротив, возрастает.

Что касается информации о динамике объемов образования отходов производства и потребления в РФ, то таких данных меньше и данные для разных лет трудно сопоставимы, поскольку достаточно часто меняются правила оценок и количество промышленных предприятий, представляющих годовые отчеты с подобной информацией. Динамика объемов образования отходов производства и потребления в РФ только за три года (2002-2004 гг.) показана на рис.8. Хорошо видно, что после резкого увеличения с 2002 г. к 2003 г. ситуация практически стабилизировалась (2003 г. и 2004 г. находятся на одном уровне).

Представленные данные для территории всей РФ могут быть полезными при рассмотрении данных по динамике объемов выброса ЗВ в атмосферу, объемов сточных вод и образующихся отходов на территориях отдельных административных образований в Российской Арктике.

Имеющиеся данные, по материалам Госдокладов о состоянии внешней среды в РФ за 2001-2004 гг., показывают, что объемы выбросов ЗВ в атмосферу в большинстве административных образований либо стабильны, либо немного снижаются. Важным исключением являются регионы, выделенные как Горячие Точки под номерами 4,6 и 7 (Тимано-Печорский, Обско-Газовский и Ханты-Мансийский регионы), все представляющие территории с интенсивно развивающейся нефтегазовой отраслью. Как было показано выше (см. раздел 8, рис.3), за период с 2001 по 2004 гг. объем выбросов ЗВ в атмосферу увеличился в Ямало-Ненецком АО (ГТ № 6) в 1,85 раза, в Ханты-Мансийском АО (ГТ № 7) в 2,3 раза и в Ненецком АО (ГТ № 4) в 3,5 раза.

Это увеличение выбросов происходит за счет быстрых темпов роста добычи сырой нефти, что приводит к росту объемов выхода попутного газа и необходимости его сжигания. Об этом свидетельствуют и данные о динамике выбросов в атмосферу: существенно увеличиваются объемы выбросов газообразных (и жидких – учитываются только совместно) веществ и оксидов углерода по сравнению с диоксидами серы и оксидами азота.

В большинстве других административных образований, в том числе наиболее проблемных с экологических позиций, объемы выбросов в атмосферу довольно стабильны (за период 2001-2004 гг. в Мурманской и Архангельской областях наблюдалось снижение на 15-17%, Красноярском Крае, Кемеровской, Новосибирской, Омской, Томской, Тюменской областях колебания объемов были от -10 до +3%, также стабильны выбросы «Норильского ГК», наблюдалось увеличение в Республике Саха – +17%, Чукотском АО – +34% и Эвенкийском АО – +150%, однако в абсолютных величинах это были весьма небольшие объемы).

Объемы сброса сточных вод в разных административных образованиях, как правило, либо стабильны (Мурманская обл., Коми, НАО и др.), либо слегка снижаются (Архангельская обл. – на 18%, ЯНАО – на 8%). Только в Ханты-Мансийском АО объем сбросов сточных вод возрос в 2004 г. по отношению к 2001 г. на 45%. Относительная доля сбрасываемых загрязненных вод существенно меняется от области к области. Так, в Мурманской области 20% сточных вод сбрасывается в водные объекты без очистки, в Архангельской до 80%, в НАО около 50%, ЯНАО – 45%, довольно высок объем очищаемых сточных вод в ХМАО – только 5-7% сбрасывается без очистки.

Проследить динамику образования отходов промышленного производства и потребления за последние годы в разных административных образованиях достаточно сложно из-за недостатка информации и меняющегося год от года количества предприятий, предоставляющих по этому параметру отчетность.

Таким образом, 9 субрегиональных ГТ Российской Арктики можно сгруппировать по темпам их затухания или развития следующим образом: ГТ № 9 – Архипелаг Новая Земля, Губа Черная – происходит со временем снижение степени радиоактивного заражения донных осадков Губы Черная в результате естественного физического распада радионуклидов. Однако период полураспада многих радионуклидов очень велик и данная ГТ, по-видимому, будет существовать длительное время.

Для следующих четырех ГТ (№№ 2, 3, 5, 8 – Кольский полуостров и Кольский Залив, устье Северной Двины и Двинский залив, Воркутинский регион и Норильский промышленный регион) характерна стабилизация экологической ситуации за последние годы. Уровень загрязнения внешней среды и степень разрушения экосистем находятся на высоком и даже критическом уровне, однако существенного ухудшения ситуации ожидать в недалеком будущем, по-видимому, не приходится.

Наконец, оставшиеся три ГТ (№№ 4, 6 и 7 – Тимано-Печорский, Обско-Тазовский и Ханты-Мансийский регионы) характеризуются высокими темпами разработок новых нефтегазовых месторождений и увеличением добычи нефти и газа, что уже приводит к резкому увеличению объемов эмиссии ЗВ в атмосферу (относительно сбросов сточных вод и образования отходов, данные не дают столь очевидной картины). Принимая во внимание явно недостаточную степень улавливания и обезвреживания, выбрасываемых ЗВ в атмосферу, с большой долей вероятности можно ожидать резкого нарастания негативных последствий для указанных и сопредельных с ними регионов.

В заключение отметим, что рост промышленного производства в целом по стране, и в ряде регионов Российской Арктики с особенно высокими темпами роста, почти определенно приведет к обострению экологической обстановки и повышению вероятности техногенных аварий с негативными для внешней среды последствиями. Очевидно, необходим комплексный системный подход при разработке правовых, экологических, организационных и иных условий рационального природопользования и охраны внешней среды от загрязнений. В этом контексте трудно переоценить особую важность разрабатываемой Программы Поддержки Национального Плана действий по защите арктической морской среды (НПД-Арктика).

## Приложение

### **Возможно ли предсказать развитие ситуации в Российской Арктике в будущем?**

Данный раздел не является составной частью аналитического обзора современного состояния внешней среды Российской Арктики. Однако представляет несомненный интерес иметь представление о развитии ситуации в регионе Арктики в ближайшее столетие в связи с ожидаемым глобальным потеплением климата. На взгляд автора этих строк, на сегодня нет единого мнения о причинах такого потепления. Одни специалисты считают, что оно связано с «парниковым эффектом», в который свою лепту вносит человечество. Другие утверждают, что это типично природное явление и есть следствие достаточно известных периодических колебаний климата на планете. Третьи вообще утверждают, что предсказываемого потепления не будет, и вся развернутая в мире кампания есть просто пиаровская акция отдельных групп ученых Запада, направленная на выбивание немалых средств на такие исследования.

Автор не ставит себе целью дать исчерпывающий обзор состояния данной проблемы, а считает полезным кратко изложить имеющиеся представления о направлении

развития ситуации в Арктике, основанное на опубликованных материалах и некоторых собственных оценках.

Межправительственная Комиссия по изменению климата (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) в своем третьем отчете (2001) предсказывает повышение глобальной средней поверхностной температуры воздуха от 1,4° до 5,8°С к 2100 году. Если принять эти оценки как ожидаемые с высокой вероятностью, то встает вопрос: к каким последствиям такое потепление может привести в регионе Арктики?

Дж. Сивицки (Syvitski, 2002) пишет, что в недавнем отчете (2001) группа SEARCH (<http://psc.apl.washington.edu/search/>) предупреждает: «Сегодня уже достаточно ясно, что комплекс важных взаимосвязанных атмосферных, океанских и наземных изменений произойдет в Арктике в ближайшие десятилетия». Эти изменения будут, вероятно, масштабным следствием потепления в результате «парникового эффекта» и могут состоять в следующем:

1. Быстрое проникновение более теплых атлантических вод в Арктический океан, сопровождаемое изменениями в циркуляции поверхностных вод и соответственно изменениями дрейфа льдов, что приведет к изменениям атмосферного давления (Steele, Boed, 1998; Maslanik, 1999).

2. Повышение температуры воздуха приведет к усилению облачности (Serreze et al., 2000).

3. Снижение площадей прибрежных льдов приведет к усилению штормового воздействия и механической и термальной эрозии прибрежной зоны (Forbes, Syvitski, 1995).

4. Снижение площадей снежного покрова приведет к увеличению абляции ледников и соответствующим изменениям арктической гидрологии (Lemeshko, 1992; Lammers et al., 2001).

В отличие от других океанов Арктический океан принимает гораздо больший объем пресных вод, что сильно влияет на его свойства и циркуляцию (Carmack, 2000). В Арктический океан впадают входящие в десятку крупнейших рек Мира такие реки как Енисей, Обь, Лена, Маккензи (Таблица 1). Если действительно температура воздуха поднимется в XXI веке на несколько градусов, это вызовет увеличение стока речных вод и твердого взвешенного в воде осадочного материала.

За последние 100 лет средняя глобальная температура воздуха возросла на  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$  (IPCC, 2001). Доказательства увеличения стока рек в Арктике были недавно опубликованы (Shiklomanov et al., 2002; Peterson et al., 2002). Выявлены многолетние тренды в стоке основных арктических рек и оценены возможные связи с климатической изменчивостью. За период наблюдений с 1936 по 1999 гг. общий ежегодный водный сток шести рек Арктики (Енисей, Обь, Лена, Северная Двина, Печора и Колыма) увеличивался со скоростью  $2,0 \pm 0,7 \text{ км}^3/\text{год}$ . Таким образом, за 63 года общий сток этих шести рек увеличился на  $128 \text{ км}^3$  по сравнению со временем начала измерений в 1930-х годах, т.е. на 7%. Это увеличение стока рек соответствует увеличению глобальной, пан-арктической и Евразийской арктической температуры воздуха. За отмеченный период пан-арктическая температура возросла на  $0,6^\circ\text{C}$ , а Евразийская арктическая на  $0,7^\circ\text{C}$  (Peterson et al., 2002).

В работе автора (Gordeev, 2006) сделана попытка оценить увеличение твердого (взвешенного) стока этих рек к концу XXI века, основываясь на полученных Петерсоном с соавторами данными по увеличению водного стока и недавно опубликованной стохастической модели (Morehead et al., 2003), предсказывающей изменение твердого стока рек в зависимости от площади речного бассейна, рельефа и средней температуры воздуха.

Модель предсказывает, что при увеличении температуры в бассейне на  $2^\circ\text{C}$  взвешенный сток арктической реки возрастет на 30%. Однако из-за того, что основное уравнение модели справедливо для установившихся условий среды, модель не может предсказать длительность переходного периода, который потребуется для достижения

указанного роста взвешенной нагрузки реки. Модель также предсказывает, что рост водного стока на каждые 20% приведет к росту твердого стока на 10%. Комбинация 2°C потепления воздуха и 20% увеличения стока должна, в соответствии с моделью, привести к росту твердого стока на 40%.

Если применить модель к реально зафиксированному увеличению водного стока 6 рек Арктики на 7% за период 1936-1999 гг., то увеличение твердого стока этих рек за тот же период должно быть 14%.

К сожалению, отсутствующие или неполные данные для всех 6 рек по твердому стоку не позволяют сравнить предсказанную величину роста твердого стока с реально имевшим место за это время.

Кроме того, построенные за этот период плотины, особенно на Енисее, что привело к 2-3 кратному снижению твердого стока, а также другие антропогенные факторы, только затрудняют такое сравнение.

Несложные арифметические расчеты показывают, что к 2100 году при росте средней глобальной температуры воздуха от 1,4° до 5,8°C (IPCC, 2001) водный сток шести арктических рек может увеличиться от 315 до 1260 км<sup>3</sup>, т.е. рост составит от 18 до 70% по отношению к сегодняшнему дню. Модель (Morchhead et al., 2003) предсказывает, что увеличение температуры воздуха вместе с ростом водного стока может привести к возрастанию твердого стока 6 рек от 30 до 122%, или от 17,8x10<sup>6</sup> т/г до 72,6x10<sup>6</sup> т/г, что представляется весьма серьезным ростом.

Итак, представленные оценки свидетельствуют о значительном увеличении как водного, так и твердого стока рек Арктики в результате глобального потепления климата. Нетрудно представить, что, наряду с другими последствиями потепления, о которых говорилось в начале данного раздела – таяние снега и льдов, повышение уровня моря, усиление эрозионной активности волн и термоабразии и других, существенное увеличение стока пресных вод и твердого осадочного материала также серьезно повлияет на все гидрологические и биогеохимические процессы в океане. Таяние вечной мерзлоты, размыв зафиксированной в мерзлоте органики и биогенов и вынос их реками как в растворенном, так и взвешенном состоянии в повышенных объемах в океан повлияют на биологию океана и приведут к росту первичной продукции в океане.

Трудно сказать, как эти процессы скажутся на развитии разных видов промышленного производства и объемах добычи углеводородного сырья, влияющих на экологическую ситуацию. Однако иметь хотя бы самое общее представление о тенденциях развития ситуации в регионе Арктики в ближайшие десятилетия при разработке Программы поддержки НПД – Арктика кажется весьма полезным.

## Список литературы

- Айбулатов Н.А., 2001. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС. 306 с.
- Братцев А.П., 1989. Адсорбция нефти и нефтепродуктов торфяными почвами. Влияние геологических работ на природную среду Большеземельской тундры. Сыктывкар. С. 54-62.
- Воропаев Г.В., Авакян А.Б. (отв. ред.), 1986. Водохранилища и их воздействие на внешнюю среду. М.: Наука. 368 с.
- Галимов Э.М., Лаверов Н.П., Степанец О.В., Кодина Л.А., 1996. Предварительные результаты эколого-геохимических исследований в морях Российской Арктики (результаты 22 рейса НИС «Академик Борис Петров»). Геохимия. № 7. С. 579-597.
- Геозкология шельфа и берегов морей России, 2001. Н.А. Айбулатов – отв. ред. М.: Ноосфера. 428 с.
- Гордеев В.В., 2004. Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан. В кн.: Новые идеи в океанологии. Т. 2. М.Е. Виноградов, С.С. Лаппо – отв. ред., М.: Наука. С. 113-167.
- Гордеев В.В., Демина Л.Л., 2001. Тяжелые металлы в шельфовой зоне морей России. В кн.: Геозкология шельфа и берегов морей России. Айбулатов А.Н.-отв.ред., М., Ноосфера, 328-376.
- Голубева Н.И., Бурцева Л.В., 1996. Особенности загрязнения воздушного бассейна Кольского залива газообразной ртутью. В кн.: Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Г.Г. Матишов – ред. Апатиты: КНЦ РАН. С. 201-208.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2001 г.». М., 2002.
- То же, 2003, 2004 и 2005 гг.
- Григорьев М.Н., 1996. Вечная мерзлота в прибрежной зоне Якутии. М.: Наука. 180 с.
- Гудимов А.В., Фролов А.А., 1996. Донные сообщества литорали эстуария реки Тулома и в вершине залива. В кн.: Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Г.Г. Матишов – ред. Апатиты: КНЦ РАН. С. 123-133.
- Даувальтер В., Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л., Сандимиров С., 2000. Накопление тяжелых металлов в озере Имандра в результате загрязнения промышленными отходами. Водные ресурсы. 27. С. 279-287.
- Евсеев А., 1996. Загрязнение наземных экосистем. В кн.: Российская Арктика: на краю катастрофы. А. Яблоков – ред. Центр Экологической политики РФ. С. 47-63.
- Залогин Б.С., Родионов Н.А., 1969. Устьевые области рек СССР. М.: Мысль. 312 с.
- Иванов В.В., 1985. Сток пресных вод в Северный ледовитый океан. В кн.: Атлас Арктики. Трешников А.Ф.-отв. ред., М., Госкомгидромет, 92-93.
- Ильин Г.В., Дале С., 1996. Тяжелые металлы в донных осадках. В кн.: Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Апатиты, КНЦ РАН, С.197-201
- Ильин Г.В., Щекатурина Т.Л., Петров В.С., 1996. Сравнительные характеристики состава углеводов донных осадков южной части Баренцева моря. Океанология. 36. С. 787-792.
- Израэль Ю.А., Семенов С.М., Кунин И.М., 1991. Экологическое ранжирование: методология и практика. В кн.: Проблемы экологического мониторинга и экосистемное моделирование. Ленинград: Гидрометеиздат. С. 10-24.
- Израэль Ю.А., Цатуров Ю.С., Назаров И.М. (отв. ред.). Обзор загрязнения внешней среды РФ в 2001 г. М.: Росгидромет.
- Карамушко О.В., Берестовский Е.Г., Карамушко Л.И., 1996. Рыбная фауна. В кн.: Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Г.Г. Матишов – ред. Апатиты: КНЦ РАН. С.144-155.

- Коломиец Б.И., Самородов А.Ф., Филиппов М.П., 1993. Радиоактивные отходы атомных ледоколов, источники, характеристики, обращение и хранение. 4-ая Ежегодная Н-Т конференция Ядерного Общества. Нижний Новгород. 12.
- Коротаев В.Н., 1991. Геоморфология речных дельт. М.: МГУ. 256 с.
- Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Чалов Р.С., 1998. Нижняя Яна: процессы в устье и русле. М.: ГЕОС. 212 с.
- Кравцов В.А., Гордеев В.В., Пашкина В.И., 1994. Растворенные формы тяжелых металлов в водах Карского моря. Океанология, т.34, 673-680.
- Кукина С.Е., Садовникова К.К., Хуммель Х., Калафат-Фрау А., 1999. Распределение металлов в донных осадках эстуария Северной Двины. Экология. 12. С. 1324-1329.
- Лебедева Е.С., 2001. Загрязнение нефтяными углеводородами и пестицидами. В кн.: Геоэкология шельфа и берегов морей России. Н.А. Айбулатов – отв. ред. М.: Ноосфера. С. 289-328.
- Лисицына К.Н., 1974. Вынос взвеси реками Сибири. Труды ГГИ. Ленинград. 210. С. 48-72.
- Лукин А., Даувальтер В., 1997. Распределение тяжелых металлов, алюминия и нефтепродуктов в осадках и рыбах бассейна Печоры. Биология внутренних вод. 2. С. 70-78.
- Магрицкий Д.Н., 2001. Природные и антропогенные изменения гидрологического режима в нижнем течении и устьях крупнейших рек Восточной Сибири. Диссертация на соискание к.г.н. М.: МГУ. 25 с.
- Малов А.И., 1999. Тяжелые металлы в донных отложениях и почвах юго-восточного Беломорья. В кн.: Экология Северной Двины. Архангельский Зеленый Крест, Архангельск, 111-120.
- Марков Ф.Г., 1985. Геологические структуры. В кн.: Атлас Арктики. А.Ф. Трешников – отв. ред. М.: Госкомгидромет. С. 163.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Щипа Дж., Риссанен К., 1994. Радионуклиды в экосистемах Баренцева и Карского морей. Апатиты: КНЦ РАН. 238 с.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Намятов А.А., Зуев А.Н., Кириллова Е.Е., 1996. Радионуклиды в экосистемах залива и прилегающей части моря. В кн.: Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН. С. 208-242.
- Мельников С.А., Горшков А.Н. (отв. ред.) Атлас загрязнения природной среды акватории и прибрежной зоны Российской Арктики. Региональный Центр « Мониторинг Арктики». Росгидромет. АМАП. С.-Петербург.
- Михайлов В.Н., 1997. Устьевые области рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС. 413 с.
- Моисеенко Т.И., 1997. Теоретические основы критических порогов антропогенных нагрузок на субарктические поверхностные воды. Г.В. Калабин – отв. ред. Апатиты: КНЦ РАН. 262 с.
- Моисеенко Т.И., 2001. Теория критических нагрузок и первое приложение к определению воздействия кислотных субстанций на поверхностные воды. Доклады РАН. 378. С. 250-253.
- Моисеенко Т.И., 2003. Подкисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука. 276 с.
- Моисеенко Т.И., Даувальтер В., Родюшкин И., 1997. Геохимическая миграция элементов в субарктическом пресноводном объекте (на примере озера Имандра). Апатиты: КНЦ РАН. 127 с.
- Моисеенко Т.И., Сандимиров С.С., Кудрявцев Л.П., 2001. Особенности эвтрофикации вод Арктического региона. Водные ресурсы. 28. С. 339-348.
- Мокиевский В., 1996. Биоресурсы морей и пресных водоемов. В кн.: Российская Арктика: на краю катастрофы. А.В. Яблоков – отв. ред. Центр Экологической Политики РФ. М. С. 93-102.

- Морозов Н.П., Батурич Г.Н., Гордеев В.В., Гурвич Е.Г., 1974. О составе взвеси и донных осадков устьев рек Северной Двины, Мезени, Печоры и Оби. Гидрохимические материалы. 60. С. 60-73.
- Мошиашвили Л.Д., 1992. Влияние сульфатного загрязнения атмосферы на концентрацию соединений серы в речной воде. Географические и гидрологические исследования. М.: РАН. С. 139-145.
- Мяч Л., 1996. Химическое загрязнение. В кн.: Российская Арктика: на краю катастрофы. А. Яблоков – ред. Центр экологической политики РФ. М. С. 18-24.
- Никаноров А.М., 1990. Экологическое ранжирование антропогенного воздействия на пресноводные и эстуарные объекты. В кн.: Методология экологического ранжирования. Всесоюзная конференция. Харьков. С. 40-41.
- Никаноров А.М., Жулидов А.В., 1991. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л., Гидрометеиздат, 312 с.
- Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2000 г. М. 2001.  
То же за 2002 и 2003 гг. М. 2003, 2004.
- Павлова Л.Г. Геохимические аспекты загрязнения. В кн.: Кольский Залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН. С. 167-179.
- Самойлов И.В., 1952. Устья рек. М.: Географиздат. 526 с.
- Савинов В.М., Дале С., Савинова Т.Н., 1996. Хлорированные углеводороды в донных осадках. В кн.: Кольский Залив: океанография, биология, экосистемы, загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН. С. 187-197.
- Яблоков А.В., Карасев В.К., Румянцев В.М., Кокеев М.Ю., Петров О.И., Лыстов В.Н., Емельяников А.Ф., Рубцов П.М., 1993. Факты и проблемы, относящиеся к радиоактивному загрязнению морей, прилегающих к территории Российской Федерации. Офис Президента Российской Федерации (также известный как «Отчет Яблокова»). 72 с.
- Abakumov V.A., 1998. Chapter 13. Hydrobiological assessment. P. 351-374 in V. Kimstach, M. Meybeck and E. Baroudy (eds.) A water quality assessment of the former Soviet Union. E. & F.N. Spon. London and New York.
- Abakumov V.A. and Talayeva Y.G., 1998. Chapter 10. Microbial pollution. P. 267-285 in V. Kimstach, M. Meybeck and E. Baroudy (eds.). A water quality assessment of the former Soviet Union. E. & F.N. Spon. London and New York.
- Alexeeva L.B., Surnin V.A., Babkina E.I., Shlychkova V.V., Korotova L.G., Gagnin G.I. and Stachan W.M.J., 1997. Hexachlorocyclohexanes and DDT residues in Russian rivers flowing to the Arctic Ocean. The AMAP International Symposium of Environmental Pollution in the Arctic. Extended abstracts. Tromso, Norway. June 1-5. 1997. P. 68-70.
- AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues, 1998. AMAP, Oslo. 960 pp.
- Are F.E., 1999. The role of coastal retreat for sedimentation in the Laptev Sea. In: H. Kassens, H. Bauch, I. Dmitrenko, H. Eicken, H.-W. Hubberten, M. Melles, J. Thiede and L. Timokhov (eds.) Land-Ocean systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Springer, Berlin. P. 287-299.
- Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V. and Lemeshko N.A., 2003. Regional patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers. Glob. Planet. Change, 39. P. 127-146.
- Brown J., Jorgensen M.T., Smith O.P. and Lee W., 2003. Long-term rates of erosion and carbon input, Elson Lagoon, Barrow, Alaska. Proceeding of the 8-th International Conference on Permafrost. Zurich, Switzerland. 21-25 July 2003. P. 101-106.
- Caritat P. de., Ayras M., Niskavaara H., Chekushin V., Bogatyrev I. and Reimnaa C., 1998. Snow composition in eight catchments in the central Barents Euro-Arctic region. Atmospheric Environment. 32. P. 2609-2626.
- Carmack E.C., 2000. The Arctic Ocean's freshwater budget: sources, storage and export. In: E.L. Lewis (ed.). The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. NATO Sci. Series 2. V. 70. P. 91-126. Kluwer Acad. Publ.

- Champ M.A., Drooks J.M., Wade T.L., 1994. A research and monitoring strategy for assessment of Arctic environmental and human health risks. Background paper for AMAP expert meeting and WG-G. Tromso. Norway. February 28 – March 4. 1994. P. 1-7.
- Chernogaeva G.M., Abakumov V.A. and Kimstach V.A., 1998. Chapter 11. Acidification. P. 293-310 in Kimstach V., Meybeck M. and Baroudy E. (eds.). A water quality assessment of the former Soviet Union. E. & F.N. Spon. London and New York.
- Cocran T. and Norris R., 199. Nuclear Weapons Databook 93-1. Working paper. Washington DC. September 8. 1993.
- Dahle S., dos Santos J., Naes K., Evertsen A., Futsaether G. and Matishov G., 1997. Distribution of persistent organics and oil hydrocarbons in marine sediments in the Norwegian-Russian Arctic. P. 131-133 in The AMAP International Symposium on Environmental Pollution in the Arctic. Extended Abstracts. Tromso. Norway. June 1-5. 1997.
- Dai M. and Martin J.-M., 1995. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-estuarine systems (Ob and Yenisey) and in adjacent Kara Sea. Earth and Planet. Sci. Lett. 131. P. 127-141.
- Drabkova V.G., 1998. Chapter 6. Eutrophication of lakes and reservoirs. P. 137-164 in Kimstach V., Meybeck M. and Baroudy E. (eds.). A water quality assessment of the former Soviet Union. E. & F.N. Spon. London and New York.
- Evseev A.V., Belousova A.P., Ivanov V.V., Krasovskaya T.M., Sazykina T.G. and Solntseva N.P., 2000. Environmental hot spots and impact zones of the Russian Arctic. PDF-B, 47 p.
- Forbes D and Syvitsky J.P.M., 1995. Paraglacial Coasts. In: Woodruffe C. and Carter R.W.G. (eds.). Coastal Evolution. P. 373-424. Cambridge Univ. Press.
- Gordeev V.V., 1997. Heavy metals in water, suspended matter and bottom sediments of the Kara and Laptev seas. The AMAP International Symposium on the Environmental Pollution of the Arctic. Extended abstracts. V. 1. P. 216-217. Tromso. Norway. June 1-5.
- Gordeev V.V., 2001. Heavy metals in the rivers and estuaries of the Russian Arctic: concentrations and fluxes. Proceeding of AMAP Workshop on Sources, Emission and Discharges. Kjeller, 23-24 August 2001. J.M. Pacyna (ed.). Norwegian Institute for Air Research. Postboks 100-N-2027. Kjeller. Norway. P. 79-100.
- Gordeev V.V., 2002. Pollution on the Arctic. Regional Environmental Change. V. 3. P. 88-98.
- Gordeev V.V., Rachold V. and Vlasova I.E., 2004. Geochemical behavior of major and trace elements in suspended particulate material of the Irtysh river, the main tributary of the Ob river, Siberia. Applied Geochemistry. V. 19. P. 593-610.
- Gordeev V.V., 2006. Fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. Geomorphology. Oslo (in press).
- Gordeev V.V., Martin J.-M., Sidorov I.S., Sidorova M.V., 1996. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements and nutrients to the Arctic Ocean. American Journal of Sciences. V. 296. P. 664–691.
- Gordeev V.V., Shevchenko V.P., 1995. Chemical composition of suspended sediments of the lower course of the Lena River and its mixing zone. P. 154-169 in Kassens H et al. (eds.). Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. Berichte Zur Polar Forschung. V. 176. P.154–169.
- Gordeev V.V., Rachold V., 2006. Geochemistry of the Ob and Yenisey Estuaries: a comparative study. Reports of Polar Research, Bremerhaven, Germany (in press).
- Hakansson L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. Water Resources. V. 14. P. 975-1001.
- Henriksen A., Kamari J., Posh M., Forsius M., Wilander A. and Moiseenko T. I., 1994. Critical loads for surface waters in Scandinavia and Kola region. In: Critical loads and critical limit values. Proceeding of the Finnish-Swedish Environmental Conference. Vaasa. Finland. P. 97-109.
- Holmes R.M., Peterson B.J., Kosmenko L.S., Kohler G.H., Gordeev V.V., Makkaveev P.N., Stunzas P.A. and Shiklomanov A.I., 2001. Nutrient chemistry in the Ob' and Yenisey

- rivers, Siberia: result from June 2000 expedition and evaluation of long-term data sets. *Marine Chemistry*. V. 75. P. 219–227.
- Holmes R.M., McClelland J.W., Peterson B.J., Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Zhulidov A.V., Gordeev V.V., Bobrovitskaya N.N., 2002. A circumpolar perspective on fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*. V.16. P.1849-1862.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of WG 1 to the Third Assessment Report of the IPCC. J.T. Houghton et al. (eds.). Cambridge Univ. Press. Cambridge. 2001.
- Ivanov G.I., 1999. Assessment of radioactive contamination in the Pechora region. *Proceedings of the 4th Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic*. Edinburgh. Scotland. 20-23 September 1999. P. 259-263.
- Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Vorosmarty C.J., Fekete B.M. and Peterson B.J., 2001. Assessment of contemporary arctic river runoff based on observational records. *J. Geophys. Res.* V. 106. P. 3321-3334.
- Lemeshko N.A., 1992. Changes in surface water balance components with global warming by 1°C. *Water Resources*. V. 4. P. 64-70.
- Loring D.H., Naes K., Dahle S., Matishov G.G. and Ilyin G., 1995. Arsenic, trace metals and organic micro-contaminants in sediments from the Pechora Sea, Russia. *Mar. Geol.* V. 128. P. 153-167.
- Loring D.H., Dahle S., Naes K., dos Santos, J. Matishov G.G. and Petersen S.F., 1997. Metal contaminants in Circumpolar Marine Shelf sediments. In: *The AMAP International Symposium on Environmental Pollution in the Arctic*. Extended abstracts. Tromso. Norway. June 1-5. 1997. Tromso. P. 213-215.
- MacDonald R.W., Solomon S., Cranston R.E., Welch H.E., Yunker M.B. and Gobeil C., 1998. A sediment and organic carbon budget for the Canadian Beaufort Shelf. *Marine Geol.* V. 144. P. 255-273.
- Martin J.-M., Guan D.M., Elbaz-Poullishet F., Thomas A. and Gordeev V.V., 1993. Preliminary assessment of the distributions of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: the Lena River estuary (Russia). *Marine Chemistry*. V.43. P.185–200.
- Maslanik J.A., Serreze M.C. and Agnew T., 1999. On the record reduction in 1998 western Arctic ice cover. *Geophys. Res. Lett.* V. 26. P. 1905-1908.
- Morehead M.D., Syvitski J.P., Hutton E.W.H. and Peckman S.D., 2003. Modeling the temporal variability in the flux of sediment from ungauged river basins. *Global Plan. Change*. V. 39. P. 95-110.
- Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W., Vorosmarty C.J., Lammers R.B., Shiklomanov A.I., Shiklomanov I.A. and Rahmstorf S., 2002. Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science*. V.298. P. 2171-2173.
- Petrosyan V.S., Vinnikov Y.Y., Kimstach V.A., Boeva L.V. and Sergeeva T.A., 1998. Chapter 9. Organic pollutants. P. 211-266 in Kimstach V., Meybeck M. and Baroudy E. (eds.). *A water quality assessment of the former Soviet Union*. E.&F.N. Spon, London and New York.
- Rachold V., 1999. Major, Trace and Rare Earth Element geochemistry of suspended particulate material of East Siberian Rivers draining to the Arctic Ocean. In: Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I.A., Eicken H., Hubberten H.-W., Melles V., Thiede J. and Timokhov L.A. (eds.): *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Springer, Berlin. P. 199-222.
- Rachold V., Grigoriev M.N., Are F.E., Solomon S., Reimnits E., Kassens H. and Antonov M., 2000. Coastal erosion vs riverine sediment discharge in the Arctic shelf seas. *Int. J. Earth Sciences*, 89. P. 450-460.
- Rachold V., Eicken H., Gordeev V.V., Grigoriev M.N., Hubberten H.-W., Lisitzin A.P., Shevchenko V.P., Shirmmeister L., 2003. Modern terrigenous organic carbon input to the

- Arctic Ocean. In: Stein R. and Macdonald R.W. (Eds.). *Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean: Present and Past*. Springer Verlag, Berlin. P. 33-55.
- Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Peterson D.J. and Vorosmarty C.J., 2000. The Freshwater Budget of the Arctic Ocean. NATO Sci. Series. The dynamic of river water inflow to the Arctic Ocean. P. 281-296 in Lewis E.L. (ed.). Vol. 70. Kluwer Acad. Publ.
- Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin III, F.S., Oster G., Kamp T., Dyrurgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morrison J., Zhang T. and Barry R.G., 2000. Observational evidence of recent change in the northern high latitude environment. *Climate Change*. Vol. 46. P. 159-207.
- Steele M. and Boyd T., 1998. Retreat of the cold halocline layer in the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* Vol. 103. P. 10419-10435.
- Syvitski J.P.M., 2002. Sediment transport variability in Arctic rivers: implications for a warmer future. *Polar Res.* Vol. 22. P. 323-330.
- Walling D.E. and Fang D., 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world rivers. *Global Planet. Change*. Vol. 39. P. 111-126.
- Wartena E.M.M., Evansen A., Dahl-Hansen G.A., Skakalsky V. and Chibissov S., 1997. Investigation of oil components, heavy metals, PCBs and radioactivity in sediments and fish from the Nenets Autonomous Okrug, N.-W. Russia. In: *The AMAP Intern. Symposium on Environmental Pollution in the Arctic*. Extended abstracts. Tromso, Norway, June 1-5. P. 270-276.
- Yakovlev V., Sharov A. and Vandysh O., 1996. Biological studies of atmospheric deposition impact on biota in Kola North mountain lakes, Russia. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Intern. Conf. Atmos. Sci. Applic. Air Quality*, Univ. Washington, Seattle, USA. 57.

### Список таблиц.

- Табл.1 Характеристики основных рек Российской Арктики (Михайлов, 1997; Gordeev et al., 1996; Holmes et al., 2002)
- Табл. 2-1 Основные импакты и их уровни. Бассейн Северной Двины.
- Табл. 2-2 То же. Кольский полуостров.
- Табл. 2-3 То же. Бассейн Кольского залива.
- Табл. 2-4 То же. Река Печора и прибрежная зона Печорского моря.
- Табл. 2-5 То же. Река Обь и Обская Губа.
- Табл. 2-6 То же. Река Енисей и Енисейский залив.
- Табл. 2-7 То же. Бассейн реки Хатанги.
- Табл. 2-8 То же. Бассейн реки Лены.
- Табл. 2-9 То же. Бассейн реки Яны.
- Табл. 2-10 То же. Бассейн реки Индигирки.
- Табл. 2-11 То же. Бассейн реки Колымы.
- Табл. 3 Измеренные, расчетные и критические нагрузки серы и азота в районах российских станций ЕМЕП.
- Табл.4 Взаимосвязь между наземными источниками загрязнений и их воздействием на морскую среду (прибрежную зону Российской Арктики).

### Список рисунков

- Рис.1 Схема расположения горячих точек в Российской Арктике.
- Рис.2 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, объемов сбросов загрязненных сточных вод и объемов образования отходов производства и потребления в Мурманской и Архангельской областях
- Рис.3 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, объемов сбросов загрязненных сточных вод и объемов образования отходов производства и потребления в Ненецком АО, Ямало-Ненецком АО и Ханты-Мансийском АО.
- Рис.4 Уровни гамма-нуклидов (в Бк/кг) в донных осадках Губы Черной на Новой Земле (Матишов и др., 1994).
- Рис.5 Распределение  $^{137}\text{Cs}$  (в Бк/кг) в донных осадках Печорского моря (Ivanov, 1999)
- Рис.6 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в Российской Федерации, млн.т.
- Рис.7 Динамика объемов сбросов загрязненных сточных вод в Российской Федерации, млн. м<sup>3</sup>
- Рис.8 Динамика объемов образования отходов производства и потребления в Российской Федерации, млрд.т.

Таблица 1. Характеристики основных рек Российской Арктики (Михайлов, 1997; Gordeev et al., 1996; Holmes et al., 2002)

Река	Длина реки км	Площадь водосбора $10^3 \text{ км}^2$	Площадь дельты $\text{км}^2$	Длина дельты км	Водный сток $\text{км}^3/\text{год}$	Осадочная нагрузка $10^6 \text{ т}/\text{год}$	Солевая нагрузка $10^6/\text{год}$	Длина проникновения, км		
								Приливы	Штормовые нагоны	Морская вода
С. Двина	744	357	900	45	110	4.1	22.0	135	135	45
Кола	83	3.85	0	0	1.46	1.9	–	–	–	–
Тулома	64	21.5	0	0	7.63	–	–	–	–	–
Печора	1810	322	3200	120	130	8.5	–	190	160	10
Обь	3650	2990	3200	144	402	13.0	54.0	50	350	0
Енисей	3490	2580	4500	196	597	13.0/4.9*	70.0	445	870	–
Хатанга	1636	364	0	0	105	5.2	6.3	227	–	–
Лена	4400	2448	32000	175	523	20.7	55.0	–	–	–
Яна	872	238	6600	140	33.1	4.2	1.5	30	70	60
Индигирка	1726	360	5000	130	53.9	11.9	11.0	24	200	–
Колыма	2130	647	3200	120	119	12.1	–	185	185	–

\* Первая цифра- до строительства Красноярской ГЭС в 1965г, вторая – после строительства.

Таблица 2-1. Основные импакты и их уровень. Бассейн Северной Двины. (Ранжирование: 0 – отсутствие импакта, 10 – максимальная нагрузка).

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	ТМ	<p>Вода в дельте С.Двины (в ПДК):  1997: Cu-2-4; Fe-2-4; Zn-2.  <u>Рукав Кузнечиха</u>: Al-6; Fe-8; Zn-11; Cu-9.  2003: дельта: Cu-2-3; Fe-4-6; Zn-1-2.  <u>Рукав Кузнечиха</u>: Fe-9; Cu-7; Zn-6.  <u>Донные осадки реки и дельты</u>: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Hg – фоновый уровень.  <u>Донные отложения близ Архангельска-Новодвинска-Северодвинска</u>: Cr-177 ppm (2ПДК), Pb-18 (1); Ba-296 (2); почвы: Cr-695 ppm (7,7 ПДК); Pb-112 ppm (3,5); Ba-623 (4,1).</p>	5-7	<p>Качество пов.вод, 2000</p> <p>Качество пов.вод, 2005</p> <p>Кукина и др., 1999</p> <p>Малов, 1999</p>
	НП (нефтяные продукты)	<p><u>Вода С.Двины</u>: верховья – 1975-1993 – 0-0,26, ср. 0,04 мг/л; устье – 1975-1993 – 0-0,56, ср. 0,03-0,09 мг/л (max 10 ПДК).  <u>Двинский залив</u>: вода – 1988-1996 – 0,03-0,04 мг/л, max 0,5 мг/л (3-10 ПДК).  <u>Донные осадки</u>: 0,15-0,17 мг/г, max 0,87 мг/г.</p>	6-8	<p>Petrosyan et al., 1998</p> <p>Израэль и др., 2001</p> <p>Лебедева, 2001</p>
	ПАУ	<p><u>С.Двина</u>: вода – бенз(а)пирен - &lt; 5 нг/л; флуоринтан – 20-45 нг/л; пирен – 10-75 нг/л.</p>		<p>Лебедева, 2001</p>
	СОЗ	<p>г.В.Устюг – <math>\alpha</math>-ГХЦГ-19 нг/л, <math>\beta</math>-ГХЦГ-14 нг/л, <math>\gamma</math>-ГХЦГ-26 нг/л (ПДК&lt;10 нг/л).  <u>Двинский Залив</u>: <math>\alpha</math>-ГХЦГ-0,1-3 нг/л, <math>\gamma</math>-ГХЦГ-0,1-2 нг/л, max 10 нг/л.</p>		<p>Качество пов.вод, 2005</p> <p>Лебедева, 2001</p>
	Специфические загрязнители	<p><u>С.Двина</u>: г.Архангельск – фенолы – 10 ПДК, лигносульфонаты – 5 ПДК.  <u>Дельта</u>: фенолы – 3-4 ПДК, лигносульфонаты – 2-3 ПДК, рукава Маймакса и Кузнечиха – до 8 ПДК, р. Пельшма – лигносульфонаты до 400 ПДК,</p>		

фенолы до 100 ПДК.
--------------------

Продолжение таблицы 2-1

1	2	3	4	5
	Микробиальные загрязнения	г.Архангельск: число проб воды, не соответствующих колиморфным стандартам: 1991-24%, 1992-22%	5	Абакумов, 1998
Закисление		Вынос сульфатов С.Двиной – $6,7 \times 10^6$ т/г. Атмосферный компонент – 5%	5	Мошиашвили, 1992
Эвтрофикация		Среднегодовые концентрации: No <sub>3</sub> -84 мкг/л, Po <sub>4</sub> -19 мкг/л, C <sub>орг</sub> -23,4 мг/л	5	Cordeev et al., 1996: Качество пов.вод, 2000
Радиоактивность		Данные по С.Двине не известны. Донные осадки Белого моря: <sup>137</sup> Cr<10 Вq/кг		Айбулатов, 2001; Галимов и др., 1996
Седиментация		Общий вынос взвеси С.Двиной в Белое море – $4,4 \times 10^6$ т/г, ср.мутность – 35 мг/л. Имеются аккумулятивные формы в Двинском Заливе. Проводятся диоуглублительные работы с навигационными целями		Михайлов, 1997
Биоразнообразие	Оценка водных экосистем: Класс 1 – условно нетронутая среда, Класс 2 – экологический стресс, Класс 3 – признаки экологической регрессии, Класс 4 – полная деградация биоценоза	Почти вдоль всего протяжения С.Двина находится в условиях экологического стресса (Класс 2). Признаки экологической регрессии (Класс 3) – ниже г.Архангельска	5-7	Абакумов, 1998

Таблица 2-2. Основные импакты и их уровни. Кольский полуостров .

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	ТМ: Малые реки п-ова: Печенга, Колос-Йоки, Ньюдай, Роста, Поной и др. (без Кольского залива); Города Никель, Заполярный, Кировск, Мончегорск, Ревда	На 30% северной территории полуострова (460 изученных озер) в воде для Ni, Cu, Cd, Pb, As, Co, Cr, Sr индекс токсичности ИТкрит.=1-2 (максимум до 25) <u>Реки:</u> Ньюдай (г.Мончегорск) – Cu-102, Ni-87 (1997). Hg-8, Cu-64, Ni-20, Mn-4, Zn, Fe, Co-1-2 (2003). Колос-Йоки (г.Никель) – Cu-5-9, Ni-36-88 (1997). Cu-10-13, Ni-39, Zn, Fe-2 (2003). Печенга (близ «Печенга-никель») – Cu -10-13, Ni-10-13 (1997). Cu, Zn, Ni, Mn, Fe-7-14 (2003). Ковдора (г.Ковдор) – Cu-4-5, Mn-2-7, Mo-2 (2003). Донные осадки о.Имандра: Залив Монче – Ni-80, Cu-25, Mn-4, Zn-2-5, Залив Белая – Sr-5, Al-3, Mn-2, Zn-2,5. <u>Снег</u> близ гг.Заполярный, Мончегорск и Кировск – Cu-35-555, Ni-7-26	9-10	Моисеенко и др., 1997  Качество пов.вод, 2000  Моисеенко и др., 2001 Даувальтер и др., 2000  Caritat et al., 1998
	НП:	Мотовский Залив (1988-1993): max 6 ПДК в воде. р.Печенга: 1980-1984, ср. 0,1 мг/л, max 4ПДК 1985-1993, ср. 0,02 мг/л, < 1 ПДК	5	Лебедева, 2001 Petrosyan et al., 1998
	СОЗ	Мотовский Залив (1988-1993): $\alpha$ -ГХЦГ-0,7-4,1 нг/л (<1 ПДК) $\gamma$ -ГХЦГ-0-2,4 нг/л	2-3	Лебедева, 2001

Продолжение таблицы 2-2.

1	2	3	4	5
	Микробиальное загрязнение: колиформный стандарт - % проб, не соответствующих КС	Мурманская обл.: 1991 – 100%, 1992 – 97,8%	6-8	Авакумов, Talayeva, 1998
Закисление	Низкие рН в озерной воде; Критические нагрузки (КН): КН=0,3 гS/м <sup>2</sup> ·год для районов тундры и горных регионов	460 озер: рН<6,1 – 26% рН<5,0 – 11% С 1980 по 1995 гг. эмиссия SO <sub>2</sub> снизилась с 650 до 450 тыс.т/год. 17% озер – критический порог перейден. 1990 по 1992 гг.: на 40% территории КН>8. 1995: <30% территории К>8	8-9	Моисеенко и др., 1997 Моисеенко, 2003 Chernogaeva et al., 1998
Эвтрофикация	РОВ ----- <1000 - дистрофический Р <sub>tot</sub> тип озера. O <sub>2раств.</sub> <4 мг/л	50-70% озер принадлежат к дистрофическому типу (из 460): Эвтрофикация имеет место в мелководных, прогреваемых солнцем водоемах в результате городских и сельскохозяйственных сбросов. Даже при высокой концентрации фосфора цветение водорослей не возникает – процесс эвтрофикации ограничивается низкими температурами и высоким речным стоком.	4-5	Моисеенко и др., 2001 Drabkova, 1998
Биоразнообразие	Степень потери биоразнообразия	Деградация биоразнообразия наблюдается в 5% озер (из 460). Наибольшее влияние оказывает накопление ТМ в органах и тканях рыб.	4-5	Кашулин, 1994 Яковлев и др., 1996 Моисеенко и др., 1997

Таблица 2-3. Основные импакты и их уровни. Бассейн Кольского залива.

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	ТМ Наиболее загрязнены ручей Варничный (сбросы Мурманска), р. Ньюдай, донные осадки порта г. Мурманска	Ручей Варничный: Cu-13 (max 26 ПДК), Mn-19 (36). р. Роста: Cu, Fe, Mn-8-15 (max 20). Донные осадки: порт Мурманск – Cu-567 ppm (16 ПДК), Cd-0,34, Hg-0,36, Pb-93 ppm (3ПДК) Кольский залив: Cu-30-567 ppm, Zn-80-300, As-10-25, Cd-0,1-0,34, Hg-0,13-0,36, Pb-25-93. Воздух Мурманска: Hg=0,5-5,5 нг/м <sup>3</sup> . Воздух над Заливом: Hg=0,7-3,3 нг/м <sup>3</sup> (в 2 раза ниже, чем на европейской территории России)	7-9	Качество пов.вод, 2005  Ильин, Дале, 1997  Ильин, Петров, 1994  Голубева, Бурцева, 1996
	НП	Ручей Варничный: 100% превышения ПДК (1 случай – 40 ПДК) (2003 г.). Залив: Вода: 1985-1992: НП – 0,02-0,1 мг/л (1 ПДК), max 1-7 мг/л (20-140 ПДК). ПАУ – хроническое нефтяное загрязнение донных осадков (0-2 см): 1995-1996 – 470-7350 мг/кг, одна проба – 50800 мг/кг. Бенз(а)пирен – 65-513 мкг/кг (10-20 ПДК)	7-9	Качество пов .вод, 2005  Ильин и др., 1996  Loring et al, 1995
	СОЗ	Донные осадки залива: α – ГХЦГ = 0,3-3,2 нг/г γ – ГХЦГ = 0,5-4,4 нг/г Σ - ДДТ = 3,3-10,1 нг/г, ср. 6,1 нг/г (в 15 раз больше, чем в осадках Печорского моря). ПВХ = 12,3-282,6 нг/г, ср. 93,7 нг/г (в осадках моря – 0,9 нг/г)		Ежегодник качества воды Баренцева моря, 1993  Савинов и др., 1996

Продолжение таблицы 3-2

1	2	3	4	5
	Радиоактивность	<p>Регион имеет военно-морские базы, заякоренные и утилизированные военные корабли с атомными установками, хранилища ядерного горючего, заводы по ремонту и строительству судов.</p> <p>Общий вынос искусственных радионуклидов в Залив (1989-1994):</p> $^{90}\text{Sr} = 15,7 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ $^{137}\text{Cs} = 76,2 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ $^{60}\text{Co} = 61,6 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ Донные осадки: $^{137}\text{Cs} = 3-23 \text{ Бк/кг}$ , $^{60}\text{Co} = 0,2-3 \text{ Бк/кг}$ Рядом с «Атомфлотом»: $^{137}\text{Cs} = 2-40 \text{ Бк/кг}$ , $^{60}\text{Co} = 2-27 \text{ Бк/кг}$	6-7	<p>Коломиец и др., 1993</p> <p>Матишов и др., 1996</p>
Эвтрофикация	<p><u>Признаки:</u> Низкая концентрация <math>\text{O}_{2\text{раств}}</math>, высокая концентрация биогенов в иловых водах</p>	<p><math>\text{O}_{2\text{раств}} = 10-13 \text{ мг/л}</math>, минимальное насыщение зимой – 60%.</p> <p>Биогены в воде: <math>\text{NO}_2=0</math>, <math>\text{NO}_3=26-63 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=0</math>, у дна – <math>\text{NO}_2=0</math>, <math>\text{NO}_3= \text{мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=0</math>.</p> <p>Иловые воды: <math>\text{NO}_2=0-26 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{NO}_3=20-140 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=24-1020 \text{ мкг/л}</math></p>	4-6	Павлова, 1996
Биоразнообразие		<p>Угнетенный биоценоз в заливе Рослякова и около Мурманска, как результат воздействия органических загрязнителей. Снижение биомассы бентоса и потеря разнообразия видов рыб</p>	5-7	<p>Фролова и др., 1996</p> <p>Гудимов и Фролов, 1996</p> <p>Карамушко и др., 1996</p>

Таблица 2-3. Основные импакты и их уровни. Бассейн Кольского залива.

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	ТМ Наиболее загрязнены ручей Варничный (сбросы Мурманска), р. Ньюдай, донные осадки порта г. Мурманска	Ручей Варничный: Cu-13 (max 26 ПДК), Mn-19 (36). р. Роста: Cu, Fe, Mn-8-15 (max 20). Донные осадки: порт Мурманск – Cu-567 ppm (16 ПДК), Cd-0,34, Hg-0,36, Pb-93 ppm (3ПДК) Кольский залив: Cu-30-567 ppm, Zn-80-300, As-10-25, Cd-0,1-0,34, Hg-0,13-0,36, Pb-25-93. Воздух Мурманска: Hg=0,5-5,5 нг/м <sup>3</sup> . Воздух над Заливом: Hg=0,7-3,3 нг/м <sup>3</sup> (в 2 раза ниже, чем на европейской территории России)	7-9	Качество пов.вод, 2005  Ильин, Дале, 1997  Ильин, Петров, 1994  Голубева, Бурцева, 1996
	НП	Ручей Варничный: 100% превышения ПДК (1 случай – 40 ПДК) (2003 г.). Залив: Вода: 1985-1992: НП – 0,02-0,1 мг/л (1 ПДК), max 1-7 мг/л (20-140 ПДК). ПАУ – хроническое нефтяное загрязнение донных осадков (0-2 см): 1995-1996 – 470-7350 мг/кг, одна проба – 50800 мг/кг. Бенз(а)пирен – 65-513 мкг/кг (10-20 ПДК)	7-9	Качество пов .вод, 2005  Ильин и др., 1996  Loring et al, 1995
	СОЗ	Донные осадки залива: $\alpha$ – ГХЦГ = 0,3-3,2 нг/г $\gamma$ – ГХЦГ = 0,5-4,4 нг/г $\Sigma$ - ДДТ = 3,3-10,1 нг/г, ср. 6,1 нг/г (в 15 раз больше, чем в осадках Печорского моря). ПВХ = 12,3-282,6 нг/г, ср. 93,7 нг/г (в осадках моря – 0,9 нг/г)		Ежегодник качества воды Баренцева моря, 1993  Савинов и др., 1996

Продолжение таблицы 3-2

1	2	3	4	5
	Радиоактивность	<p>Регион имеет военно-морские базы, заякоренные и утилизированные военные корабли с атомными установками, хранилища ядерного горючего, заводы по ремонту и строительству судов.</p> <p>Общий вынос искусственных радионуклидов в Залив (1989-1994):</p> $^{90}\text{Sr} = 15,7 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ $^{137}\text{Cs} = 76,2 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ $^{60}\text{Co} = 61,6 \times 10^6 \text{ Бк/г}$ Донные осадки: $^{137}\text{Cs} = 3-23 \text{ Бк/кг}$ , $^{60}\text{Co} = 0,2-3 \text{ Бк/кг}$ Рядом с «Атомфлотом»: $^{137}\text{Cs} = 2-40 \text{ Бк/кг}$ , $^{60}\text{Co} = 2-27 \text{ Бк/кг}$	6-7	<p>Коломиец и др., 1993</p> <p>Матишов и др., 1996</p>
Эвтрофикация	<p><u>Признаки:</u> Низкая концентрация <math>\text{O}_{2\text{раств}}</math>, высокая концентрация биогенов в иловых водах</p>	<p><math>\text{O}_{2\text{раств}} = 10-13 \text{ мг/л}</math>, минимальное насыщение зимой – 60%.</p> <p>Биогены в воде: <math>\text{NO}_2=0</math>, <math>\text{NO}_3=26-63 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=0</math>, у дна – <math>\text{NO}_2=0</math>, <math>\text{NO}_3= \text{мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=0</math>.</p> <p>Иловые воды: <math>\text{NO}_2=0-26 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{NO}_3=20-140 \text{ мкг/л}</math>, <math>\text{PO}_4=24-1020 \text{ мкг/л}</math></p>	4-6	Павлова, 1996
Биоразнообразие		<p>Угнетенный биоценоз в заливе Рослякова и около Мурманска, как результат воздействия органических загрязнителей. Снижение биомассы бентоса и потеря разнообразия видов рыб</p>	5-7	<p>Фролова и др., 1996</p> <p>Гудимов и Фролов, 1996</p> <p>Карамушко и др., 1996</p>

Таблица 2-4. Основные импакты и их уровни. Река Печора и прибрежная зона Печорского моря.

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	<p>ТМ: Повышенные концентрации Zn, As, Ar, Cr в воде р. Уса и Колва в результате стоков из угольных карьеров Печорского угольного бассейна</p>	<p>Река Печора (мкг/л): Zn-0,1-30 (до 3 ПДК), Ni-0,05-0,8, Cd-0,02-0,4, Pb-0,05-1,7, Cr-0,1-1,7 (&lt;1 ПДК). г. Усть-Цильма: Cu-1-3 ПДК (2003). г. Печора: Cu-9-106 max 15 (2003). г. Нарьян-Мар: Cu, Zn-2, Fe-7 (2003). Речная взвесь (мкг/г): Zn-270, Cu-170, Pb-130, Ni-31, Cr-105. Донные осадки (мкг/г): Cu-5, Zn-60, Pb-17, Cd-1,5, Co-13, Ni-31 (&lt;1 ПДК). Р. Уса вода (мкг/л): Cr-6, Zn-13, Cu-1,3, Pb-1,1, As-32, Cd-0,09 (≤1 ПДК). Донные осадки Печорского моря (мкг/г): Cu-21, Zn-80, Pb-19, Cd-0,07, Ni-41</p>	3-5	<p>Мельников, Горшков, 1999</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004</p> <p>Качество пов.вод., 2005 Морозов и др., 1974 Loring et al., 1997</p> <p>Лукин, Даувальтер, 1997</p>
	<p>НП: Накопление НУ в дельте Печоры и заливе Голодный в результате разрывов нефтепровода в 1994 г. Индекс экологического риска ИЭР<sub>крит.</sub> &gt; 300</p>	<p>Р. Печора, вода (мкг/л): НП=0-60; НП=12-50 (2003) Донные осадки (мкг/г): 3-20, в дельте и озерах 360-1250 Р. Колва, устье: ИЭР=60 Дельта р. Печоры: ИЭР=800-3000 Около г. Нарьян-Мар, донные осадки: ∑ ПАУ = 16-500 мкг/кг ∑ ПАУ = 93-106 мкг/л (2003) Печорское море, вода: ∑ ПАУ = 10-90 мкг/л (ср. 2 ПДК, max 10) Донные осадки: ∑ ПАУ = 55-265 мкг/кг</p>	9-10 (дельта)	<p>Wartena et al., 1997</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004</p> <p>Лебедева, 2001</p> <p>Dahle et al., 1997</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004</p>

Продолжение таблицы 2-4

1	2	3	4	5
	СОЗ	Р. Печора, вода (кн/л): (1991-1995) – $\alpha$ -ГХЦГ=0-6, $\gamma$ -ГХЦГ=4-7 ДДТ=0б ДДУ=0 (2003) – $\alpha$ -ГХЦГ=0,14-0,18 нг/л (1994-1995) – Донные осадки (мкг/кг): $\Sigma$ СОЗ <0,6-12,5 Печорское море (открытая вода): фенолы (мкг/л) – 1 (50% проб с ПДК > 1)		Алексеева и др., 1997 Wartena et al., 1997  Обзор загрязнения..., 2004  Израэль и др., 2001
Закисление		Поток сульфатов – $2,1 \times 10^6$ т/г, атмосферный компонент сульфатов – 10%	4-5	Мошвашили, 1992
Эвтрофикация		Устье р. Печоры (2000): $O_{2\text{раств.}}$ – <4 мг/л (4%) Биогены (1979-1995, мкг/л): $NO_3$ -74, $PO_4$ =34	4-5	Израэль и др., 2001 Gordeev, 2000
Радиоактивность		Донные осадки Печорского моря: $^{137}Cs$ =1-10 Бк/кг, max 44 у южного берега о. Новая Земля. Печорский Залив – фон (ср. 8 Бк/кг)	5	Иванов, 1999
Седиментация		Годовой сток речной взвеси – $9,4 \times 10^6$ т, средняя мутность – 72 мг/л. Обмен воды в Печорском заливе происходит за 20-30 дней. Накопление ила в малых западных рукавах дельты и продвижение в сторону моря фэна Большой Печоры	4-6	Михайлов, 1997  Holmes et al., 1002

Таблица 2-5. Основные импакты и их уровень. Река Обь и Обская Губа

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	<p>ТМ: Самыми загрязненными в бассейне Оби являются реки Томь и Чулым за счет сбросов сточных вод горнодобывающих и золотодобывающих предприятий без соответствующей очистки</p>	<p><u>Верхний Иртыш</u> (Казахстан): нефилтрованная вода (в ПДК) – Cu-23, Zn-4, Pb-2, Mn-4 <u>Средний Иртыш (ниже Омена)</u>: Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Hg, Co – все &lt; 1 ПДК (2002) <u>Нижняя Обь (ниже Салехарда)</u>: Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Hg – все &lt; 1 ПДК (2002) <u>Нижняя Обь (Нижевартоск – Салехард)</u> ПДК: Cu – 2-200, Zn – 1-76, Fe – 7-26, Mn – 4-17 (2003) <u>Донные осадки (мкг/г)</u>: Cu-25, Zn-83, Pb-19, Cd-0,12, As-36 (все &lt; 1 ПДК) Река Томь (г. Томск): Cu-19, Hg-3, Fe-6 (2003) Река Чулым (Краснодарский край): Cu-27, Al-18, Fe-29, Zn-10, Mn-20 (2003)</p>	<p>4-6</p> <p>7-9</p>	<p>Панин, 2002 Гордеев, Власова, 2002 Gordeev, 2001 Качество пов. вод ..., 2005 Loring et al., 1997 Качество пов. вод ..., 2005</p>
	<p>НП: Западная Сибирь (водосборы Оби и Енисея) это регион, где добывается 90% нефти и газа в России. Около <math>(3-10) \times 10^6</math> т в год сырой нефти попадает в воду и почву региона. Авария с нефтепроводом на ст. Няган в 1993 г. привела к потере 420 тыс. т нефти</p>	<p>НП в воде р. Оби вдоль ее течения (в ПДК): Верховья (Бийск) – 4, Новокузнецк – 30-34 Среднее течение (Барнаул) – 21 Новосибирск – 18, Томск – 5-8, Нефтеюганск – 20 Нижнее течение (Салехард) – 10 (1997) Верховья (Бийск) – 1-9 Среднее течение (Ханты-Мансийск) – 1-8 Нижнее течение (Нижевартоск – Салехард) – 1-19 (2003) Устье Оби (1976-1993): НП = 0,11-3,4 мг/л, ср. 0,6 (6-18 ПДК) НП = 1-19 ПДК (2003) Обская Губа: вода – 1-3 ПДК</p>	<p>9-10</p>	<p>Евсеев, 1996 Качество пов. вод ..., 2000  Качество пов. вод ..., 2005 Petrosyan et al., 1998 Лебедева, 2001 Качество пов. вод ..., 2005</p>

Продолжение таблицы 2-5

1	2	3	4	5												
	СО <sub>3</sub>	<p>Река Обь (нг/л): α - ГХЦГ = 0-27, ср. 2 (1997)                      γ - ГХЦГ = 0-86, ср. 15 (1,5 ПДК)                      ДДТ = 0-110, ср. 13 (1,3 ПДК)                      Фенолы (1976-1993): 0-40 мкг/л (2-9 ПДК), max 40 ПДК                      Обская Губа: пестициды = 0-6 нг/л                      Σ ГХБ = 4,1 нг/л, Σ ПХБ = 4,3 нг/л, max 11 нг/л</p>		Качество пов. вод ..., 2001												
	Микробиальное загрязнение (% проб, не соответствующих колиморфному стандарту)	<p><u>Колиморфный индекс:</u></p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>1991</td> <td>1992</td> </tr> <tr> <td>Новосибирская обл.</td> <td>91,8</td> <td>81,5</td> </tr> <tr> <td>г. Томск</td> <td>91,3</td> <td>84,7</td> </tr> <tr> <td>г. Омск</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> </table>		1991	1992	Новосибирская обл.	91,8	81,5	г. Томск	91,3	84,7	г. Омск	100	100		Abakumov, 1998
	1991	1992														
Новосибирская обл.	91,8	81,5														
г. Томск	91,3	84,7														
г. Омск	100	100														
Закисление	Сернистые выпадения	Прибрежная зона Арктики, Север и центральная часть Западной и Восточной Сибири в 1999-2000 г.: SO <sub>4</sub> в мокрых выпадениях в ср. 3-11 мг/л, 0,8-0,9 г S/м <sup>2</sup> ·год	4-5	Израэль и др., 2001												
Эвтрофикация	Концентрация O <sub>2</sub> раств., биогенов, гибель рыбы	<p>В бассейне Оби в 1996-97 гг. концентрация O<sub>2</sub> раств. в ср. 9,5-10 мг/л. Зимний минимум составил в воде Иртыша и Тобола - до 0,8 мг/л (ПДК = 4 мг/л), в Оби – 2,1 мг/л. Приток подземных вод с низким O<sub>2</sub> приводит к гибели рыбы. В бассейне Оби сток подземных вод оценивается в 76×10<sup>12</sup> л/год (или 17,7 % от речного стока). Подземные воды характеризуются высокими концентрациями биогенов: NH<sub>4</sub> – до 5 ПДК, NO<sub>3</sub> – до 0,5 ПДК, NO<sub>2</sub> – до 7 ПДК</p>	4-7	<p>Качество пов. вод ..., 2000</p> <p>Гордеев и др., 1999</p>												
Радиоактивность	Основные источники радиоактивности в бассейне Оби: ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинской обл.) – производство ядерного горючего для АЭС и атомных подводных лодок;	<p><u>Донные осадки Обской Губы</u> (Бк/кг):  <sup>137</sup>Cs &lt; 10-50 Бк/кг, ср. ≤ 10  <u>Карское море</u>: донные осадки большей части моря –  <sup>137</sup>Cs &lt; 10  <u>Полуостров Югорский, Новоземельская впадина.</u>  <u>«Югорское пятно»</u> (Бк/кг):                      1984 – <sup>137</sup>Cs = 245, 1993 95 = 27-31 (т.е. снижение в 7 раз)</p>	<p>8-10                      (Южный Урал)                      6-8</p>	<p>Cocran, Norris, 1993</p> <p>Матишов и др., 1996</p> <p>Айбулатов, 2001                      Champ et al., 1994                      Галимов и др., 1996</p>												

Продолжение таблицы 2-5

1	2	3	4	5
	Томск-7 (г. Северск) – производство урана и плутония	Обская Губа (Бк/кг): 2000-2001: $^{137}\text{Cs}$ = 2-15 2002 : $^{137}\text{Cs}$ = 5-15	2-3	Stepanets et al., 2002; Stepanets et al., 2003
Седиментация	В бассейне Оби расположено 8 водохранилищ с суммарным объемом 75,2 км <sup>3</sup> воды	Влияние плотин на седиментационные процессы существенно, однако, в конечном счете, годовой сток взвешенных веществ рекой Оби изменился не существенно (за счет огромной долины ниже г. Белогорье, в 700 км выше Салехарда). Производятся землечерпательные работы в Оби, Пуре и Тазе. Антропогенное снижение водного стока составляет менее 3 %	5-6	Михайлов, 1997 Залогин, Родионов. 1969

Таблица 2-6. Основные импакты и их уровни. Река Енисей и Енисейский Залив

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных																																					
1	2	3	4	5																																					
Загрязнение	ТМ: Норильский горно-металлургический комбинат (НГБК) расположен в нижнем бассейне реки. Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферу достигала максимума в 1960-1970 гг до $22,4 \times 10^6$ т/г, в 1995 г. выбросы снизились до $1,95 \times 10^6$ т/г	<p><u>Р. Енисей 1997 г. (вода, ПДК):</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cr</th> <th>Zn</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Саяногорск (3013 км от моря)</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Абакан (2887 км)</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Дивногорск (2500 км)</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Красноярск (2480 км)</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Игарка (711 км)</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Р. Енисей (Дудинка, 435 км), 2003 г.:</u> Pb &lt; 1, Cd &lt; 1, Hg – 1,7</p> <p><u>Р. Енисей, 2003 г.:</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ср. за год</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Вернее течение</td> <td>Cu-4-11</td> <td>42,9</td> </tr> <tr> <td>Zn-2-6</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Красноярское водохранилище:</td> <td>Cu</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>34</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Енисейский Залив, 1989-1993 гг.:</u> Вода – Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, Ni &lt; 1 ПДК Донные осадки – Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, As &lt; 1 ПДК</p>		Cr	Zn	Fe	Саяногорск (3013 км от моря)	3	3	1,5	Абакан (2887 км)	6	3	1,5	Дивногорск (2500 км)	3	4	2	Красноярск (2480 км)	7	4	4	Игарка (711 км)	3	2	2		Ср. за год	max	Вернее течение	Cu-4-11	42,9	Zn-2-6	50	Красноярское водохранилище:	Cu	25	Mn	34		
	Cr	Zn	Fe																																						
Саяногорск (3013 км от моря)	3	3	1,5																																						
Абакан (2887 км)	6	3	1,5																																						
Дивногорск (2500 км)	3	4	2																																						
Красноярск (2480 км)	7	4	4																																						
Игарка (711 км)	3	2	2																																						
	Ср. за год	max																																							
Вернее течение	Cu-4-11	42,9																																							
	Zn-2-6	50																																							
Красноярское водохранилище:	Cu	25																																							
	Mn	34																																							

Продолжение таблицы 2-6

1	2	3	4	5																																							
Загрязнение	<p>ТМ: Норильский горно-металлургический комбинат (НГБК) расположен в нижнем бассейне реки. Эмиссия загрязняющих веществ в атмосферу достигала максимума в 1960-1970 гг до <math>22,4 \times 10^6</math> т/г, в 1995 г. выбросы снизились до <math>1,95 \times 10^6</math> т/г</p>	<p><u>Р. Енисей</u> 1997 г. (вода, ПДК):</p> <table border="1" data-bbox="831 414 1496 742"> <thead> <tr> <th></th> <th>Cr</th> <th>Zn</th> <th>Fe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Саяногорск (3013 км от моря)</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Абакан (2887 км)</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Дивногорск (2500 км)</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Красноярск (2480 км)</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Игарка (711 км)</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Р. Енисей (Дудинка, 435 км), 2003 г.:</u> Pb &lt; 1, Cd &lt; 1, Hg – 1,7</p> <p><u>Р. Енисей, 2003 г.:</u></p> <table border="1" data-bbox="831 861 1496 1037"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ср. за год</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Вернее течение</td> <td>Cu-4-11</td> <td>42,9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Zn-2-6</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Красноярское водохранилище:</td> <td>Cu</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mn</td> <td>34</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Енисейский Залив, 1989-1993 гг.:</u> Вода – Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, Ni &lt; 1 ПДК Донные осадки – Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, As &lt; 1 ПДК</p> <p><u>Енисейский Залив, 2003 г.:</u> Вода – Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr, Sn &lt; 1 ПДК</p> <p><u>Почвы близ г.Норильска (70-100 км от источника) (мкг/г):</u> Cu-1400-1700 (до 50 ПДК), Ni-250-500 (10), Pb-30 (1), Cd-3-5 (2-3) Вблизи индустриальной зоны до 150-200 ПДК</p>		Cr	Zn	Fe	Саяногорск (3013 км от моря)	3	3	1,5	Абакан (2887 км)	6	3	1,5	Дивногорск (2500 км)	3	4	2	Красноярск (2480 км)	7	4	4	Игарка (711 км)	3	2	2		Ср. за год	max	Вернее течение	Cu-4-11	42,9		Zn-2-6	50	Красноярское водохранилище:	Cu	25		Mn	34	<p>6-8 (верхнее и среднее течение)</p> <p>2-4 (залив)</p> <p>10</p>	<p>Качество пов.вод..., 2001</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004</p> <p>Качество пов.вод..., 2005</p> <p>Dai, Martin, 1995 Gordeev, 2001 Loring et al., 1997</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004 Евсеев, 1996</p>
	Cr	Zn	Fe																																								
Саяногорск (3013 км от моря)	3	3	1,5																																								
Абакан (2887 км)	6	3	1,5																																								
Дивногорск (2500 км)	3	4	2																																								
Красноярск (2480 км)	7	4	4																																								
Игарка (711 км)	3	2	2																																								
	Ср. за год	max																																									
Вернее течение	Cu-4-11	42,9																																									
	Zn-2-6	50																																									
Красноярское водохранилище:	Cu	25																																									
	Mn	34																																									



		ДДТ=0,41		
--	--	----------	--	--

Продолжение таблицы 2-6

1	2	3	4	5
		ДДД=0,14 ДДЭ=0,21 ∑ ПХБ=3,1 (Все ниже 1 ПДК)		
	Специфические органические загрязнители	Р. Енисей (Дудинка, 2003): Фенолы – 0,9-1,1 (1,1 ПДК) (нкг/л) В донных осадках (мкг/г) – 0,96-3,14 Р. Енисей (2003, г. Красноярск): Ксантогенаты – 60-120 ПДК (в 46-75% случаев)	2-4  10	Обзор загрязнения..., 2004  Качество пов.вод..., 2005
Закисление		Речной сток сульфатов - $9,2 \times 10^6$ т/г, атмосферная составляющая = 25% от этого стока. г. Норильск: в воздухе 0,3-0,5 мг S/м <sup>3</sup> (опасность для хвойных лесов) в среднем 5-10 ПДК, max 70 ПДК. Почвы – 2-7 г S/кг Снег – 30-40 мг S/л Площадь, подверженная влиянию кислотных дождей, равна 400.000 км <sup>2</sup> . Выпадения серы в г. Норильске: 1999 – 16 г S/м <sup>2</sup> ·год, 2000 – 15,6 г S/м <sup>2</sup> ·год Выпадения S и N вблизи НГМК: Критические нагрузки: $\geq 6$ для S; $\geq 1,2$ для N	10	Мошиашвили, 1992  Евсеев, 1996  Мяч, 1996  Обзор загрязнения..., 2001
Эвтрофикация		В бассейне реки Енисей (1996-1997 гг) ср. концентрация O <sub>2раств.</sub> = 10,5 мг/л, в нижнем течении – min 6,17 мг/л (критическое значение - <4 мг/л)		Качество пов.вод..., 2001

Продолжение таблицы 2-6

1	2	3	4	5
		В 2002-2003 гг. ср. $O_{2\text{раств.}}=10,7$ мг/л (min 1,79 мг/л) Концентрации $NO_2$ , $NO_3$ , $PO_4$ , $P_{\text{общ.}}$ (1985-1995) были ниже 1 ПДК (нижнее течение р. Енисей)	2-4	Качество пов.вод..., 2005 Gordeev et al., 1996
Радиоактивность		<u>Енисейский Залив</u> (донные осадки, Бг/кг): 1993 г.: $^{137}Cs = 50-70$ , max 100 $^{60}C = 2-6$ 2000-2001: $^{137}Cs = 3-47$ 2003: $^{137}Cs = 4-53$	4-6	Айбулатов, 2001 Матишов и др., 1994 Stepanets et al., 2002 Stepanets et al., 2004
Водопотери		Суммарная потеря воды в Енисее в 1995 г. 8,7 км <sup>3</sup> /год, в том числе на потребление – 34,9 км <sup>3</sup> /г. В 2025 г. ожидается соответственно 12 и 7 км <sup>3</sup> /год, т.е. 12-2,0% от стока	1-2	Shiklomanov et al., 2000
Седиментация		Низкая активность эрозионных процессов в бассейне Енисея. 8 крупных водохранилищ. После строительства Красноярской ГЭС (1967) поток осадков ниже плотины упал с 6,3 до 0,2х10 <sup>6</sup> т/г. Общий сток взвеси упал с 13,2 до 4,7х10 <sup>6</sup> т/г		Лисицына, 1974 Holmes et al., 2002

Таблица 2-7. Основные импакты и их уровни. Бассейн реки Хатанги

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	НМ:	<p><u>Река Хатанга:</u>                      Вода (мкг/л) – Cu-0,2-15 (15 ПДК), Zn-1-18 (1,8), Pb-0,08-0,3 (&lt;1), Cd-0,03-0,2 (&lt;1), Ni-0,1-0,9 (&lt;1)                      2000 г.: Fe, Cu, Ni превышали 1,1-2,0 ПДК в 18-24% анализировавшихся проб  <u>Речная взвесь (мкг/г):</u> Cu-82, Zn-104, Pb-12, Cd-0,2, Ni-84, Sn-1,6, As-9,3 (все, кроме Cu&lt;1 ПДК, Cu-2,5)                      2003 г.: Вода (ПДК): Pb&lt;1, Cd&lt;1, Hg-2,7                      Донные осадки: Pb, Cd, Hg&lt;1 ПДК  <u>Хатангский Залив (2003 г.):</u>                      Вода: Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr, Sn, Hg – все ниже 1 ПДК</p>	<p>4-5</p> <p>1-3</p>	<p>Мельников и др., 1999</p> <p>Обзор загрязнения..., 2001 Rachold, 1999</p> <p>Обзор загрязнения..., 2004</p>
	НП:	<p>Река Хатанга (пос. Хатанга):                      Вода (мкг/л): 2000 г. – 40                      2003 г. – 5,9-47,9 (&lt;1 ПДК)                      Донные осадки (мкг/г): 20003 г. – 10,8-18,9 (&lt;1 ПДК)                      Почвы (мкг/г): – (4-6 ПДК)  <u>Хатанский Залив:</u>                      2003 г. Вода – 0,7 ПДК                      ∑ ПАУ=20,9 нг/л</p>	4-6	Обзор загрязнения..., 2001, 2004

Продолжение таблицы 2-7

1	2	3	4	5
	СОЗ	<p><u>Река Хатанга (пос. Хатанга):</u>            Вода (нг/л): 2000 г. <math>\sum</math> ХОС=6 (1,3-1,6 ПДК в 22-33% случаев  <math>\sum</math> ДДТ=3,6  <math>\sum</math> ПХБ=6,1            2003 г. <math>\sum</math> ДДТ=0,46-0,79            Хлорбензолы – 0,20-0,30  <math>\sum</math> ГХЦГ=0,21-0,31 (Все &lt; 1 ПДК)  <math>\sum</math> ПХБ=1,12-1,58  <math>\sum</math> ХОС=1,02-1,30  <u>Донные отложения (кг/л):</u> 2003 г.            ДДТ=0,72-0,92  <math>\sum</math> ГХЦГ=0,06-0,11 (Все &lt; 1 ПДК)  <math>\sum</math> ПХБ=1,28-1,75  <math>\sum</math> ХОС=1,22-1,44  <u>Хатангский Залив:</u> 2003 г.            Вода (нг/л): <math>\sum</math> ДДТ=0,43  <math>\sum</math> ДДД=0,18  <math>\sum</math> ДДЭ=0,17  <math>\sum</math> ГХЦГ=3,25 (Все&lt;1ПДК)  <math>\sum</math> ПХБ=1,52</p>	2-3	Обзор загрязнения..., 2001, 2004
	Специфические органические загрязнители	<p><u>Река Хатанга (пос. Хатанга):</u>            2000 г. Вода: фенолы-1,3 ПДК            2003 г. Вода: -1,1 ПДК            Донные отложения: &lt; 1 ПДК  <u>Хатангский Залив:</u>            2003 г. Вода: фенолы – 0,9 ПДК</p>		Обзор загрязнения..., 2001, 2004

Таблица 2-8. Основные импаکتы и их уровни. Бассейн реки Лена

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	<p>ТМ: Надежные данные по ТМ в воде и взвеси нижнего течения реки и дельты показывают, что р. Лена относится к числу наиболее чистых из крупнейших рек Мира</p>	<p><u>Река Лена:</u> <u>Вода</u> (мкг/л) 1989-1993 гг.: Cu-0,8, Zn-0,4, Pb-0,04, Cd-0,006, Ni-0,3, Hg-0,001, As-0,15 – все много ниже ПДК <u>Взвесь</u> (мкг/г): Cu-28, Zn-140, Pb-24, Cd-0,6, Ni-34, As-9, Hg-0,12 <u>Донные осадки</u> (мкг/г): Cu – 8-19, Zn – 56-108, Pb – 12-19, Cd – 0,03-0,13 <u>Верхнее и среднее течение (от Б. Пеледуй до г. Жиганска)</u> (ПДК): 1997: Cu-16, Zn-16, Fe-38 2003: г. Киренск – Cu – 1-2 г. Олекминск – Cu – 3-4, Zn &lt; 1-1 г. Якутск – Cu, Mn &lt; 1 г. Жиганск – Cu-4, Fe, Zn-2 пос. Кюсюр – Cu-4, Fe-3</p>	<p>1-3 (нижнее течение и дельта)</p> <p>5-7 (верхнее и среднее течение)</p>	<p>Martin et al., 1993 Gordeev, 2001</p> <p>Gordeev, Shevchenko, 1995 Rachold, 1999</p> <p>Качество пов. вод ..., 2001</p> <p>Качество пов. вод ..., 2005</p>
	<p>НП:</p>	<p><u>Река Лена</u> (мг/л): 1975-93: Верхнее течение – 0-0,84, ср. 0,06 (1,2 ПДК) Нижнее течение – 0-0,12, ср. 0,05 (1 ПДК) 1996-97: Дельта – 0-2,3, ср. 0,03 (0,6 ПДК) Весь бассейн – 0-4,2, ср. 0,05 (1 ПДК) Порт Тикси – 0,07 (1,4 ПДК) <u>Залив Буор-Хая</u> – 0,10 (2 ПДК) <u>Река Лена:</u> 2003 г.: г. Жиганск (765 км от моря) – 1 ПДК пос. Кюсюр (320 км) – 2 ПДК п. ст. Хабарова (111 км) – 2 ПДК</p>	<p>5-7</p>	<p>Качество пов. вод ..., 2001</p> <p>Качество пов. вод ..., 2005</p>

Продолжение таблицы 2-8

1	2	3	4	5
	CO <sub>3</sub>	<p><u>Дельта р. Лена (вода, нг/л):</u>                      1993г. Σ ГХБ = 6,4 (0,6 ПДК)                      Σ ДДТ = 0,01-2,7, ср. 0,2                      Σ ПХБ = 1,8</p> <p><u>Залив Буор-Хая:</u> Σ ГХБ = 0,9</p> <p><u>Море Лаптевых:</u>                      Донные осадки - Σ ДДТ = 0,1-0,45, ср. 0,14                      Σ ПХБ = 0,07</p>		<p>Лебедева, 2001                      Petrosyan et al., 1998</p>
	Специфические органические загрязнители	<p><u>Фенолы (вода, мкг/л):</u>                      1975-93: верхнее течение – 0-15, ср. &lt; 1-2 (2ПДК)                      устье – 0-13, ср. 1-5 (1-5 ПДК)                      1995-96: дельта Лены – 3 (до 13)                      весь бассейн Лены – 3 (max 116)                      2003: г. Олекминск – 2-3 ПДК                      г. Якутск – 2                      г. Жиганск – 2                      пос. Кюсюр – 3</p>	3-5	<p>Petrosyan et al., 1998</p> <p>Качество пов. вод ..., 2005</p>
Закисление		<p>Выпадение серы (1999-2000): 0,2-0,4 гS/м<sup>2</sup>·год                      Выпадение азота (1999-2000): 0,15-0,30 гN/ м<sup>2</sup>·год                      (ниже критической нагрузки)</p>	3-4	Израэль и др., 2001
Эвтрофикация		<p>В 1996-97 гг. в воде р. Лены O<sub>2</sub> раств. = 6,3-13,9 мг/л, ср. 9,5                      во всем бассейне Лены – 0,9-16,5, ср. 10,0                      В 2002-2003 гг. соответственно 5,92-18,9, ср. 10,1 и                      0,79-18,9, ср. 10,2</p> <p>концентрация биогенов низкая</p>	3-4	Качество пов. вод ..., 2001, 2005
Радиоактивность		<p>Концентрация <sup>137</sup>Cs и других радионуклидов в донных осадках                      Моря Лаптевых на фоновом уровне</p>	2-4	Айбулатов, 2000; Матишов и др., 1994
Прибрежная эрозия		<p>Термальная абразия: средняя скорость отстраняния берегов – 2-6 м/г, ср. 2,5 м/год. Общая масса абразионного материала вдоль 2400 км береговой линии моря оценивается в 60×10<sup>6</sup>т/год, что в 2,4 раза больше выноса взвеси рекой Леной за год</p>		<p>Аре, 1980</p> <p>Григорьев, 1996                      Rachold et al., 2000</p>

Продолжение таблицы 2-8

1	2	3	4	5
Седиментация	Дельта Лены (32.000 км <sup>2</sup> ) – крупнейшая в России. Две плотины построены в верхнем течении реки (2360 км <sup>2</sup> , 40,4 км <sup>3</sup> )	Средняя концентрация взвеси в воде р. Лены – 34 мг/л. Влияние плотин на сток воды и взвеси рекой Леной незначителен. За последние 5-7 тыс. лет речной фэн продвинулся в сторону моря на 120-150 км		Михайлов, 1997 Коротаев и др., 1998
Водопотери		В середине 80-х годов XX века в среднем терялось $385 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{Г}$ , или 0,08-0,09 % от речного стока, в 2000 г. – $310-330 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{Г}$ , в 2010 г. (прогноз) – $570-635 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{Г}$		Магрицкий, 2001

Таблица 2-9. Основные импакты и их уровень. Бассейн реки Яны.

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
Загрязнение	ТМ	<u>Река Яна, 1997 (ПДК):</u> г. Верхоянск (среднее течение) – Fe-до 18, Zn-9 <u>Нижнее течение – взвесь (мкг/г):</u> Cu-30, Zn-130, Pb-23, Cd-0,32, Ni-39, As-27 (Все < 1 ПДК) <u>Нижнее течение (п. ст. Юбилейная), 2003 :</u> Cu, Zn > 1 ПДК в 77-100% случаев, Fe- 20 ПДК, max 37	5-7	Качество пов. вод, 2000  Rachold, 1999  Качество пов. вод, 2005
	НП:	<u>Янский залив, 1997 (мг/л):</u> 0,04-0,07 (0,8-1,4 ПДК) <u>Река Яна, п. ст. Юбилейная, 2003:</u> НП > 1 ПДК в 77-100% случаев		Качество пов. вод, 2000
	Фенолы	<u>Янский залив, 1997 (ПДК):</u> max 11 <u>Река Яна, п. ст. Юбилейная, 2003:</u> > 1 ПДК в 77-100% случаев	4-6	Качество пов. вод, 2000, 2005
Эвтрофикация		Среднемноголетние концентрации (мкг/л): NO <sub>3</sub> -50, PO <sub>4</sub> -9, P <sub>tot</sub> =12 (< 1 ПДК) <u>Река Яна (п. Нижнеянск), 2003:</u> NO <sub>2</sub> – до 5 ПДК		
Седиментация		Годовой сток взвеси – 4×10 <sup>6</sup> т/г, ср. мутность – 130 мг/л С 1973 г. по 1995 из русла было удалено в среднем за год 350.000 м <sup>3</sup> материала (максимум до 6000.000 м <sup>3</sup> /год). Повышенная мутность регистрируется в 3-5 км от места работ в течение нескольких часов. Отрицательный результат – интрузия соленых вод в устье рукава Главное Горло, что приводит 1) к проблеме снабжения пресной водой, 2) к разрушению растительности	5-6	Holmes et al., 2002 Коротаев и др., 1998

Таблица 2-10 Основные импакты и их уровень. Бассейн реки Индигирки

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
Загрязнение	ТМ:	Многолетние данные о растворенных концентрациях (мкг/л): Cu – 0,7-2,6 (до 2,6 ПДК), Zn – 0,6-8,2 (<1), Pb – 0,16-0,2 (<1), Cd – 0,06-0,14 (<1), Ni – 0,5-0,9 (<1). Данные по ТМ во взвеси и донных осадках отсутствуют	3-5	Мельников и др., 1999
	НП:	Чешская Губа, 1990-93 (мг/л): 0,03 (<1ПДК) Восточно-Сибирское море, 1990-93: 0,03-0,04 2000: 0,03	2-3	Лебедева, 2001 Израэль и др., 2001 Качество пов. вод ..., 2000
	СО <sub>3</sub>	Чешская Губа 1990-93 (нг/л): Σ ГХБ – max 5,3 Σ ДДТ – max 3,2 (< 1 ПДК) Восточно-Сибирское море, 1990-93 (нг/л): Σ ГХБ = 1,4-1,8 Σ ДДТ = 0,5-1,0 (Все < 1 ПДК) Σ ПХБ = 0,5-6,5	2-3	Качество пов. вод ..., 2000
	Специфические органические вещества	Фенолы: Чешская Губа, 1990-93 – 3 ПДК Река Индигирка (п. Индигирский), 2003 – до 12 ПДК	4-6	Качество пов. вод ..., 2000, 2005
Эвтрофикация		Многолетние средние концентрации биогенов (мкг/л): NO <sub>3</sub> -50, PO <sub>4</sub> -8, P <sub>tot</sub> -17 (все ниже 1 ПДК)		Gordeev, 2000
Седиментация		Вынос взвеси рекой Индигиркой – 11,1×10 <sup>6</sup> т/г, ср. мутность – 207 мг/л (примерно в 10 раз выше, чем в реках Зап. Сибири). Землечерпательные работы в основном русле. Интрузия соленых вод в нижнюю часть рукава Средний.		Михайлов, 1997 Holmes et al., 2002
Эрозия прибрежной зоны		Скорости отступления суши за счет термообразии – 1-15 м/год		Коротаев и др., 1998
Водопотери		В середине 80-х гг.: 10×10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /год, или 0,02-0,03 % от речного стока		Магрицкий, 2001

Таблица 2-11. Основные импакты и их уровни. Бассейн реки Колыма

Импакт	Загрязняющие вещества	Концентрации и критические пороги (качественные и количественные)	Категория импакта	Источник данных
1	2	3	4	5
Загрязнение	ТМ:	Среднемноголетние концентрации: Вода (мкг/л): Cu-0,05-2,1 (до 2,1 ПДК), Zn-0,1-10, Pb-0,02-0,35, Cd-0,01-0,4, Ni-0,1-1,8 (< 1 ПДК) Взвесь (мкг/г): Cu-100-1000 (до 20 ПДК), Zn-100-250, Pb-80-260 (до 8 ПДК), Ni-30-350 (до 8 ПДК) <u>Река Колыма</u> (колымское водохранилище), 1997 (ПДК): Fe-10, Cu-10, Zn-8 <u>2003 г., г. Усть-Среднекан</u> – Cu, Fe, Pb, Mn – 3-10 (max – 24), Cu – max 33 <u>2003 г., Колымское водохранилище</u> – Cu – ср. 8, max 18	5-7	Мельников и др., 1999  Качество пов. вод..., 2000, 2005
	НП:	<u>Колымское водохранилище</u> , 1997 г. – ср. 3, max 15 ПДК 2003 г. - >1 ПДК в 50-100% случаев <u>Река Колыма (г. Среднеколымск)</u> , 2003 г.: ср. 2, max 7 ПДК		Качество пов. вод..., 2000, 2005
	Фенолы	<u>Река Колыма (п. Усть-Среднекан)</u> , 2003 г. – 3-10 ПДК		Качество пов. вод..., 2005
Эвтрофикация		<u>Бассейн реки Колыма: O<sub>2</sub>раств. (мг/л):</u> 1996 г. – 1,17-13,4, ср. 9,63; 1997 г. – 7,06-16,4, ср. 11,3; 2002 г. – 6,15-17,8, ср. 10,5; 2003 г. – 6,02-17,8, ср. 11,2 Среднемноголетняя концентрация (мкг/л): 1984-1994 – NO <sub>3</sub> -46, NH <sub>4</sub> -64, PO <sub>4</sub> -9,5, P <sub>tot</sub> -14 (Все <1 ПДК)		Качество пов. вод..., 2000, 2005  Gordeev et al., 1996
Седиментация		Дельта Колымы – 3250 км <sup>2</sup> , 120 км длиной. Сток взвеси – 10,1 x 10 <sup>6</sup> т/г, ср. мутность – 83 мг/л. Колымская плотина построена в 1983 г., что привело к снижению стока взвеси в г. Среднеколымске на 5-10%. Однако работы по добыче золота привели к увеличению стока взвеси р. Колымой за последние 30 лет почти в 2 раза		Михайлов, 1997 Holmes et al., 2002  Gordeev, 2006
Водопотери		В середине 80-х терялось 110 x 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /г, или 0,1% от стока. В 1999 г. – резкое снижение до 5 x 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /г		Магрицкий, 2001

Таблица 4. Взаимосвязь между наземными источниками загрязнений и их воздействием на морскую среду (прибрежную зону Российской Арктики).

Категории: 1 – нет воздействия, 10 – очень серьезное воздействие.

Тренды: = – стабильный, ↑ – усиливающийся, ↓ – снижающийся

Прибрежный импакт	Источник загрязнения	Локальный бассейн		Ожидаемый тренд	Источник информации
		Река	Категория		
1	2	3	4	5	6
Загрязнение	Промышленность	Северная Двина	9	↑	Яблоков, 1996
		Малые реки Кольского полуострова (Кола, Тулома, Патса-Йоки, Печенга и др.)	8-10	↑	Матишов и др., 1996; Моисеенко, 1997
		Печора (Тимано-Печорский регион)	8-9	↑	Лукин и др., 2000;
		Обь и Обская Губа (Обско-Тазовский регион)	4-6 8	=	Госдоклады, 2001-2004 Израэль и др., 2001
Навигация	Северная Двина	Енисей и Енисейский Залив	4-6	=	Госдокладыб 2001-2004 Дай, Мартин, 1995
		Бассейн Енисея (Норильский регион)	10	=	Израэль, 2001; Gordeev, 1997
		Лена и ее дельта	3-5	=	Яблоков, 1996 Качество пов.вод. ..., 2000, 2005; Martin et al., 1993
Урбанизация	Северная Двина	Печора	5	↑	Самойлов, 1952; Залогин, Родионов, 1969
		Лена	3	↑	Михайлов, 1997
		Яна	4	↑	—«—
		Другие локальные места	2	↑	—«—
Закисление	Промышленность	Северная Двина (Архангельск)	8-9	↑	Яблоков, 1996
		Кольский полуостров (индустриальные центры – Мончегорск, Апатиты,	9-10	=	Яблоков, 1996 Моисеенко, 2003; Израэль и др., 2001

		Никель) Бассейн Енисея (Норильск)	10	=	Яблоков, 2001
--	--	--------------------------------------	----	---	---------------

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6
Радиоактивное загрязнение	Атомная промышленность, ВМФ	Кольский залив (Базы ВМФ, хранение использованного ядерного горючего, строительство и ремонт судов)	7-8	=	Матишов и др., 1996; Айбулатов, 2001
		Губа Черная (юг о. Новая Земля) СЗ. Енисейский Залив	10 5-6	= =	Сапожников и др., 1995; Галимов и др., 1996
Эрозия	Строительство плотин	Енисей Колыма	2 1	= =	Михайлов, 1997; Магрицкий, 2001
	Термоабразия	Побережье Моря Лаптевых	6		Rachold et al., 2000
Седиментация	Навигация	Все субрегионы	2-3	↑	Михайлов, 1997

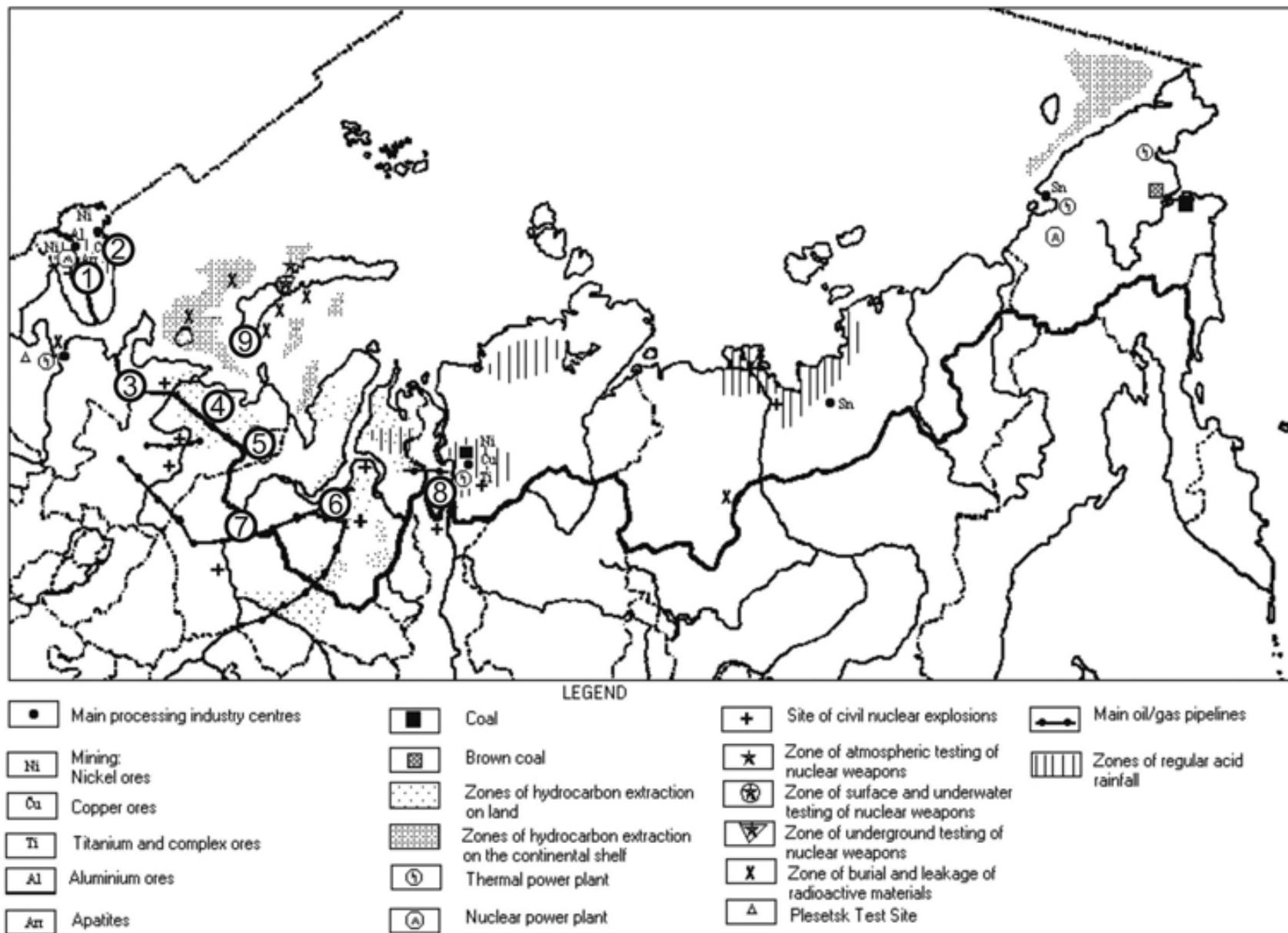
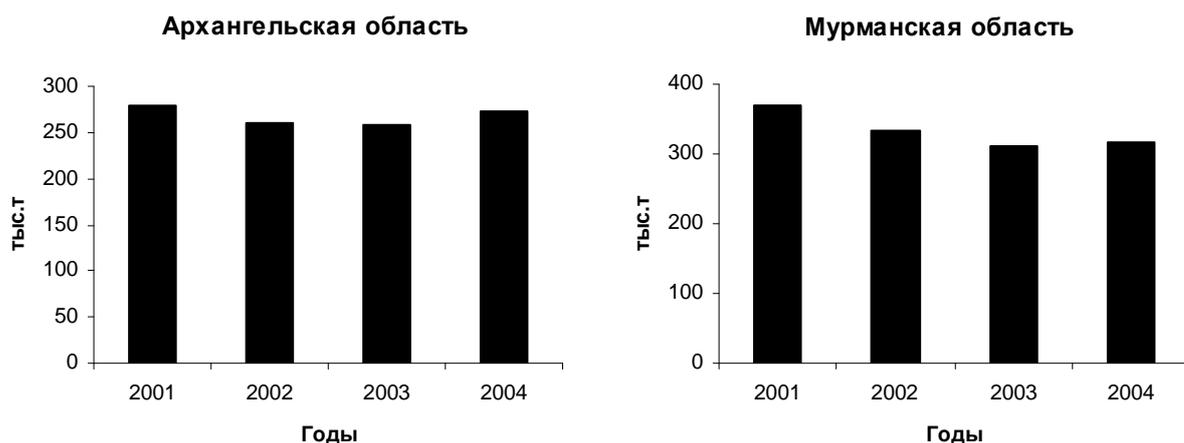
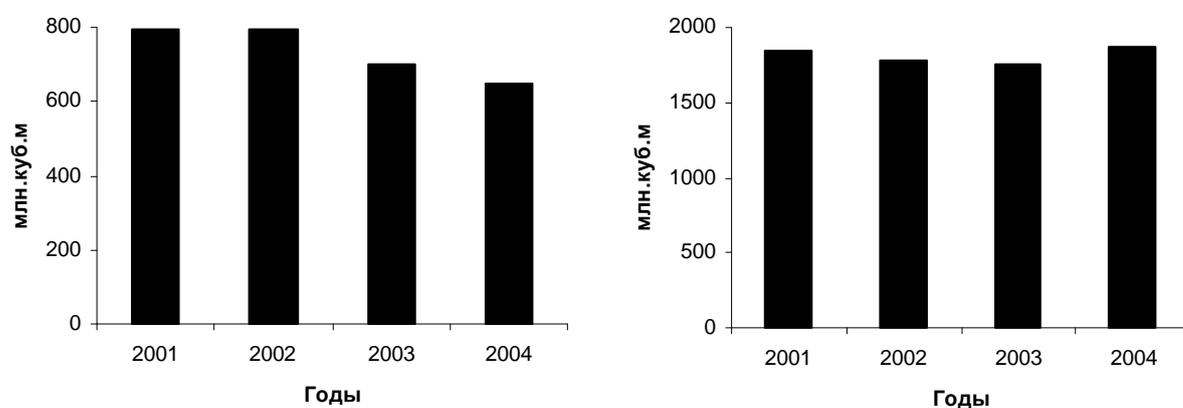


Рис.1 Схема расположения горячих точек в Российской Арктике. (1-9 см. текст, стр. 29-30)

## ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ



## СБРОСЫ СТОЧНЫХ ВОД



## ОТХОДЫ

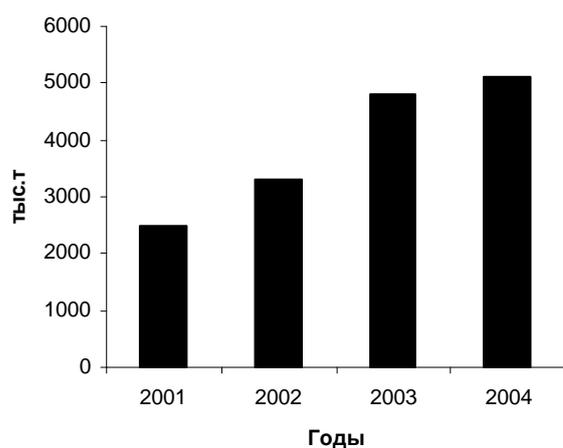
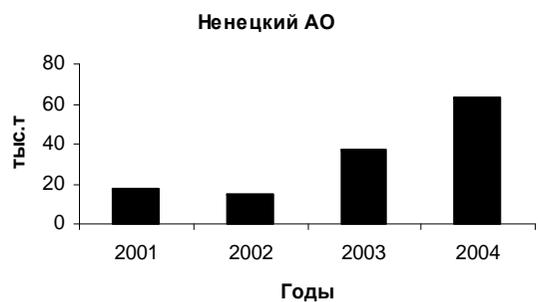
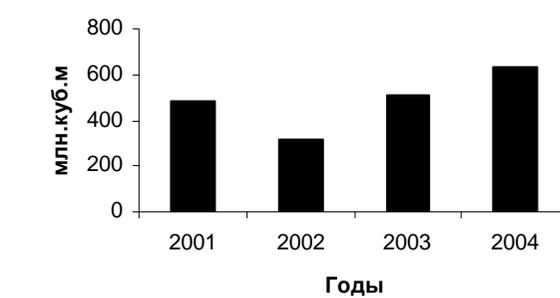
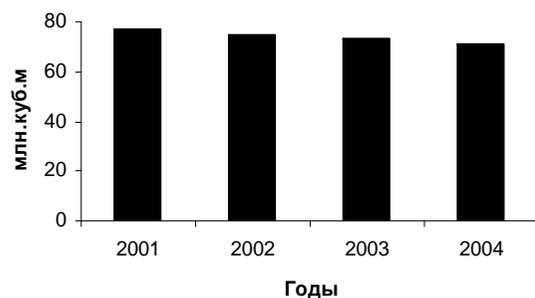
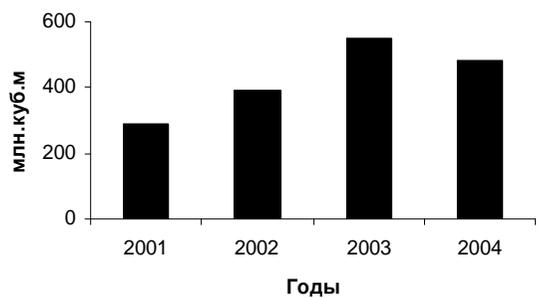


Рис.2 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, объемов сбросов загрязненных сточных вод и объемов образования отходов производства и потребления в Мурманской и Архангельской областях

## ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ



## СБРОСЫ СТОЧНЫХ ВОД



## ОТХОДЫ

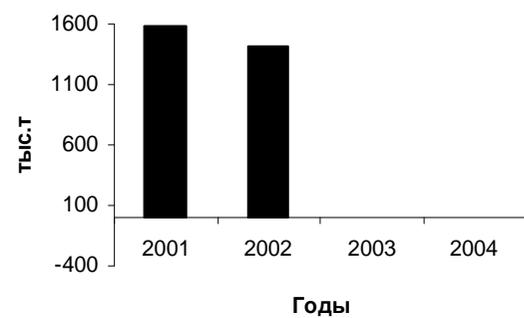
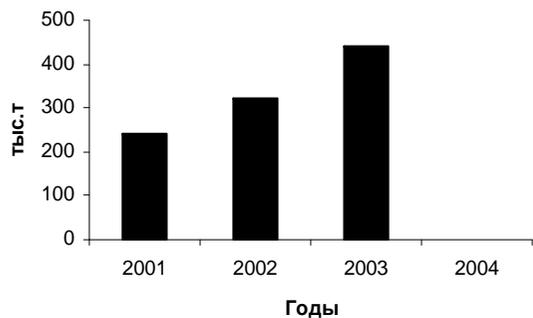
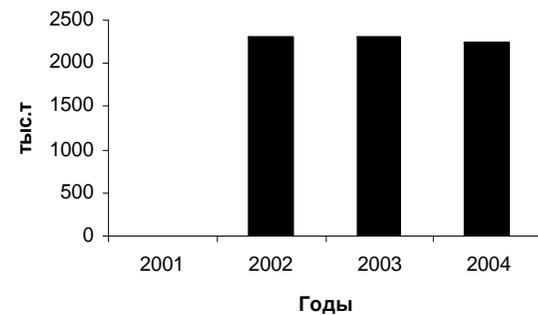


Рис.3 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, объемов сбросов загрязненных сточных вод и объемов образования отходов производства и потребления в Ненецком АО, Ямало-Ненецком АО и Ханты-Мансийском АО

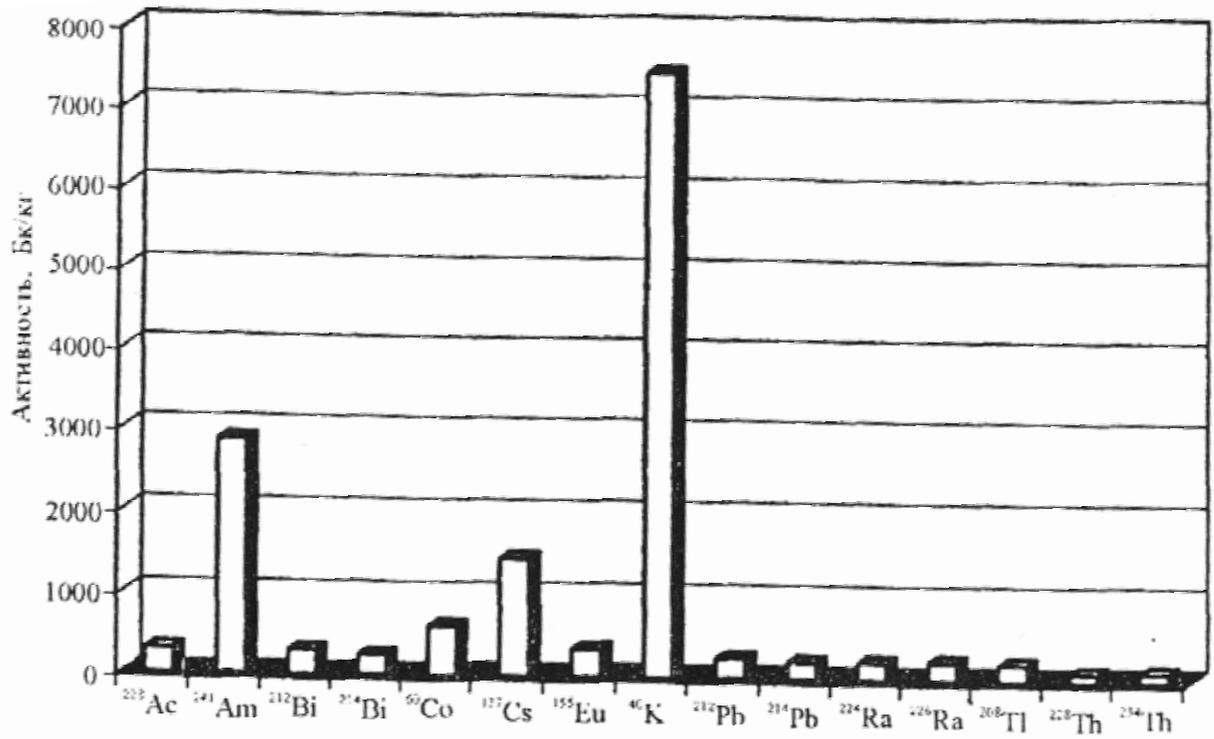


Рис.4 Уровни гамма-нуклидов (в Бк/кг) в донных осадках Губы Черной на Новой Земле (Матишов и др., 1994).

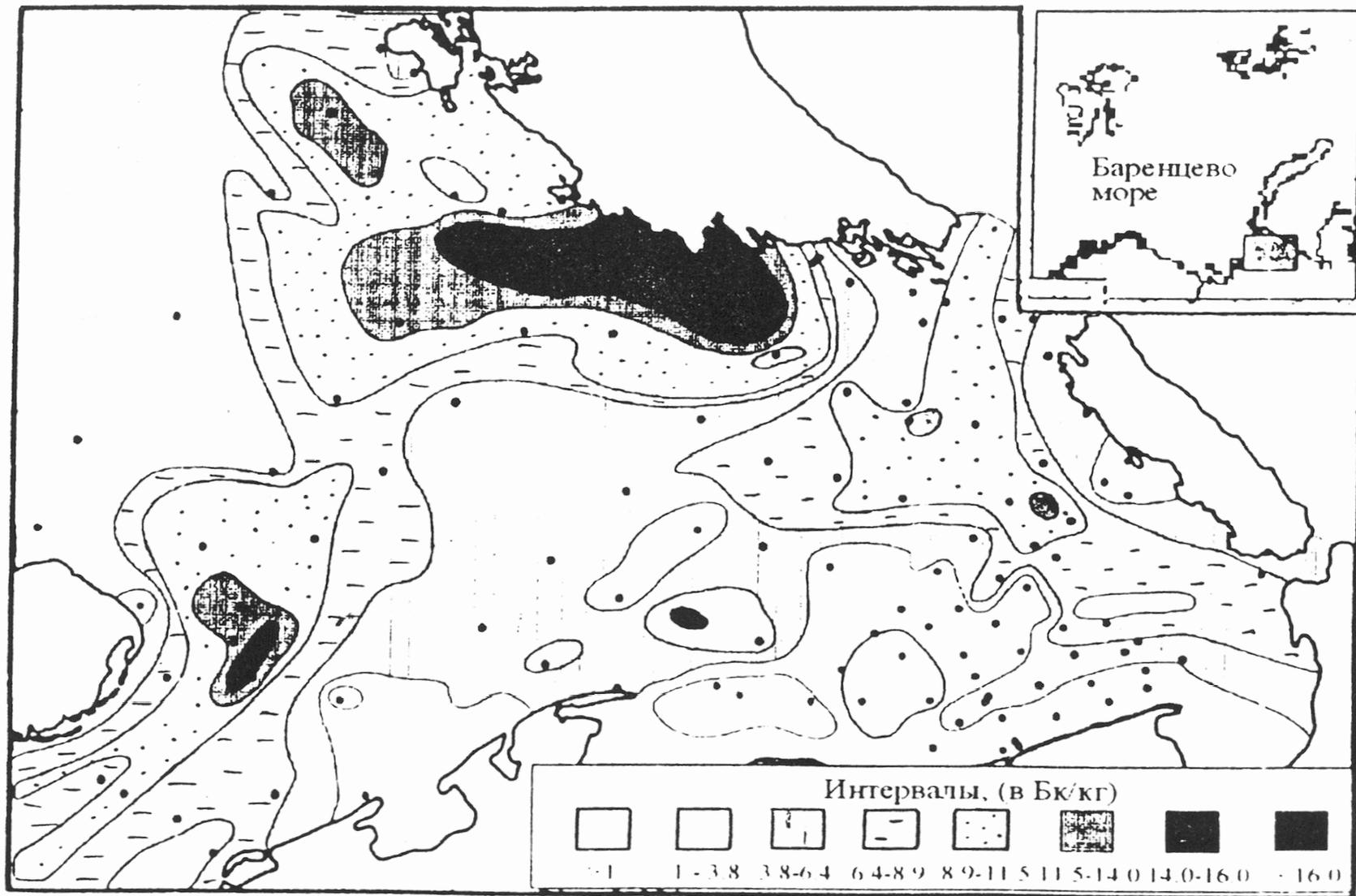


Рис.5 Распределение  $^{137}\text{Cs}$  (в Бк/кг) в донных осадках Печорского моря (Ivanov, 1999)

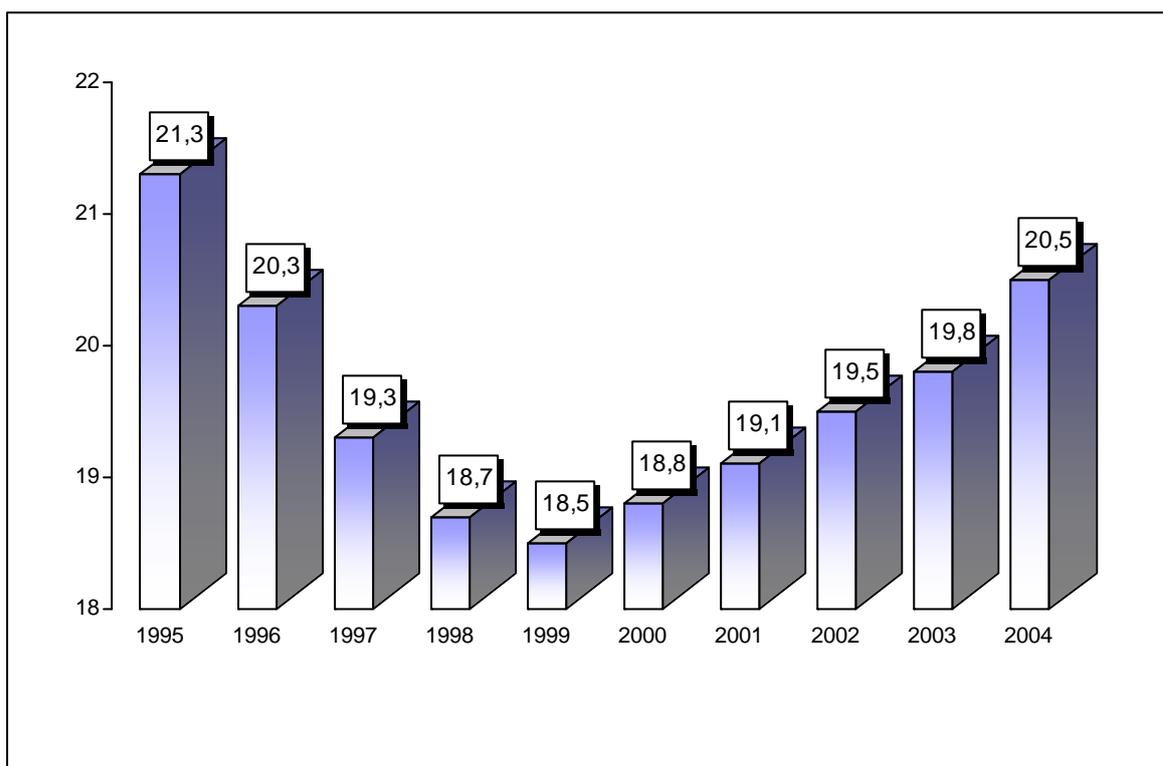


Рис.6 Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в Российской Федерации, млн.т.

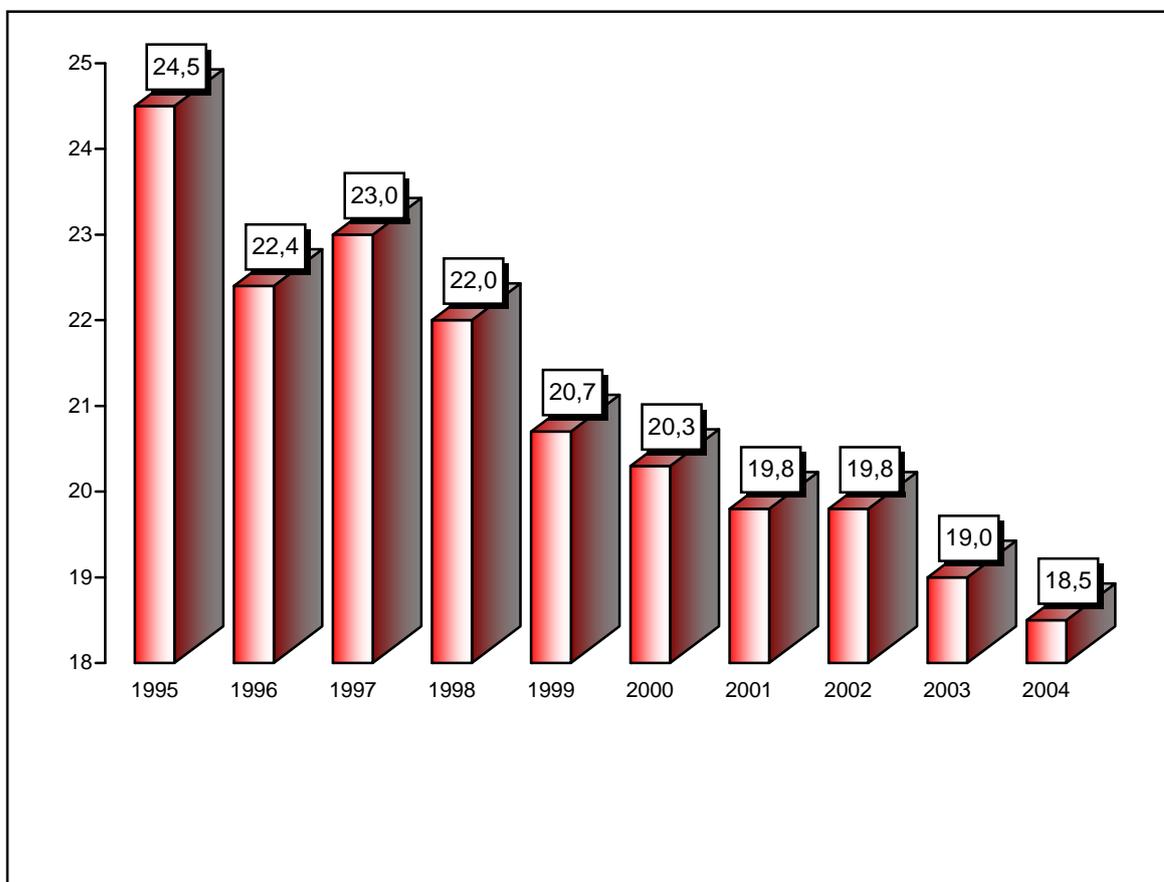


Рис.7 Динамика объемов сбросов загрязненных сточных вод в Российской Федерации, млн. м<sup>3</sup>

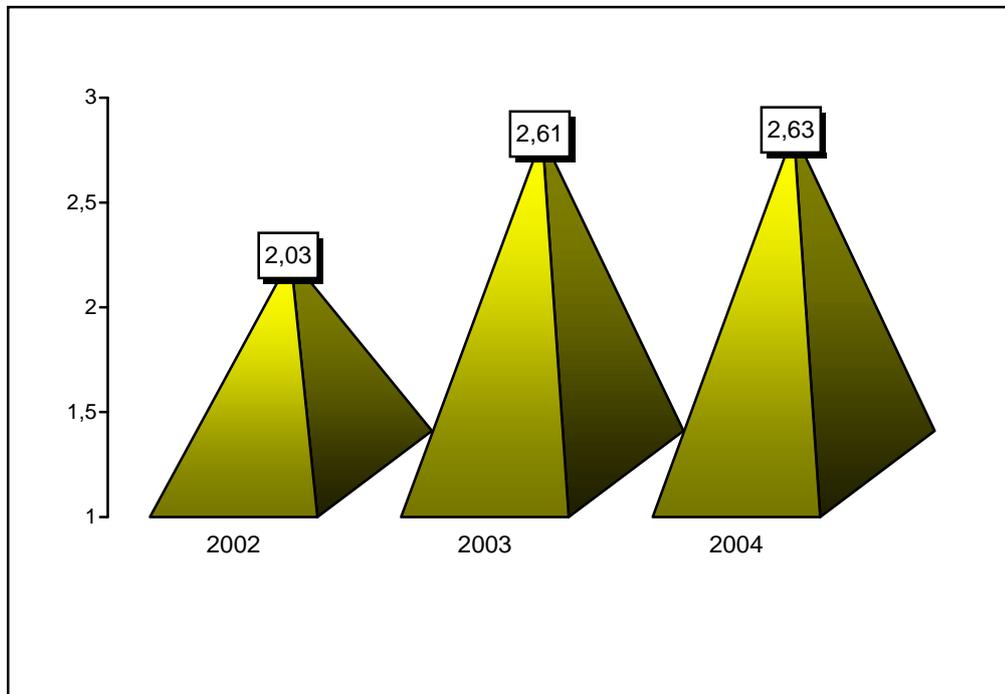


Рис.8 Динамика объемов образования отходов производства и потребления в Российской Федерации, млрд.т.