

УДК 624.131.41

## Некоторые аспекты современного состояния пресноводных ресурсов Мурманской области

Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, Д.Б. Денисов, С.А. Валькова,  
О.И. Вандыш, П.М. Терентьев, А.Н. Кашулин

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН*

**Аннотация.** Рассматриваются аспекты снижения ресурсного потенциала поверхностных вод Мурманской области в условиях глобального изменения климата и окружающей среды, их нерационального использования. Показаны увеличение токсичности водной среды, радикальная перестройка структурно-функциональных характеристик сообществ гидробионтов, изменение трофического статуса озер, снижение стабильности пресноводных экосистем, повышение рисков катастрофических деградационных изменений. Предлагаются некоторые показатели качества поверхностных вод Мурманской области с учетом региональных особенностей.

**Abstract.** Aspects of reducing the resource potential of the surface waters of the Murmansk region in the global climate change and the environment and their irrational use have been considered. Increase of aquatic toxicity, radical restructuring of the structural and functional characteristics of aquatic communities, changes in trophic status of lakes, reducing the stability of freshwater ecosystems, increasing the risk of catastrophic degradation have been shown. Taking into account the regional peculiarities some indicators of the surface waters quality of the Murmansk region have been proposed.

**Ключевые слова:** пресноводные ресурсы, водные экосистемы, тяжелые металлы, вода, донные отложения, гидробионты, иктофауна  
**Key words:** freshwater resources, water ecosystems, heavy metals, water, sediments, aquatic organisms, ichthyofauna

### 1. Введение

Поверхностные воды занимают важнейшее место среди природных ресурсов Арктики. Выделяются два компонента этих ресурсов: собственно водные и биологические, включающие рыбные ресурсы. Ресурсный потенциал поверхностных вод определяется не только количественными показателями, но и качественными, включающими показатели качества вод, структурно-функциональные показатели сообществ гидробионтов. Водоемы состоят из двух взаимосвязанных, оказывающих друг на друга влияние частей – водосборного бассейна и самого водоема.

Озера и реки во многом определяют экономическое и социальное развитие северных регионов, являются источником продовольствия, тесным образом связаны с культурным наследием коренных народов, являются составной частью их жизненной среды. Пресные воды служат источниками энергии, водоснабжения населения и промышленных объектов, транспортными артериями многих регионов, объектами коммерческого и спортивного рыболовства, рыбоводства, рекреационными объектами, способствующими развитию туризма, отдыху и оздоровлению населения, имеют важное эстетическое и духовное значение (рис. 1).

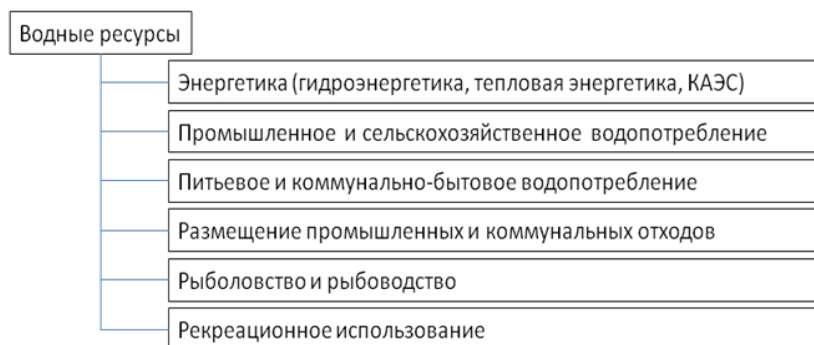


Рис. 1. Структура использования водных ресурсов Мурманской области

В целом Мурманская область хорошо обеспечена водными ресурсами. На ее территории находится 107146 озер (площадь зеркала 8195 км<sup>2</sup>). Среднее многолетнее значение речного стока составляет 65,7 км<sup>3</sup>/год. Однако структура гидрографической сети Мурманской области весьма своеобразна. Для нее характерно большое количество мелких рек (95 % всех рек составляют реки длиной менее 10 км). Общая озерность области составляет 6 %, но основное количество озер (99 %) относится

к малым озерам с площадью зеркала менее 1 км<sup>2</sup>. Естественный режим большинства самых крупных озер и рек зарегулирован гидротехническими сооружениями – ГЭС (*Доклад...*, 2011). При этом на территории их водосборов расположены крупнейшие промышленные предприятия и населенные пункты, использующие водоемы не только как источники водоснабжения, но и как объекты размещения отходов, и наблюдается быстрая деградация качества их вод. Суммарный водозабор по Мурманской области составляет 1,63 км<sup>3</sup>/год, из которых 1,6 км<sup>3</sup>/год приходится на производственно-коммунальные нужды (*ЭКО-бюллетень...*, 2009). Таким образом, запасы водных ресурсов, используемые в настоящее время, ограничены и их качество неуклонно ухудшается. Поэтому необходимо пересмотреть принципы использования пресных вод региона, рационализировать систему управления и контроля их качества. Рассмотрению некоторых аспектов этих проблем посвящена данная статья.

## 2. Основные причины деградации поверхностных вод

В Мурманской области, несмотря на значительные запасы пресных вод, наблюдается их стремительная деградация, обусловленная целым рядом причин (рис. 2).

Необходимо отметить крайне нерациональное использование этого природного ресурса. В регионе существует целый ряд потребителей, интересы которых зачастую конфликтуют между собой, а сами природные воды являются предметом разнообразных полномочий на локальном, региональном и национальном уровнях, что снижает эффективность управления. В Мурманской области основными потребителями являются предприятия энергетики и горнодобывающей промышленности. При этом по-прежнему господствуют экономический императив при принятии решений, устаревшие водоемкие технологии, представления о низкой стоимости и неисчерпаемости ресурса. В гидроэнергетике во главу угла также поставлены получение максимальной прибыли, повышение эффективности генерирующих мощностей, и совершенно не учитываются особенности функционирования водных экосистем Заполярья. Этому способствуют и правила, регулирующие уровневый режим водохранилищ, которые давно устарели и требуют пересмотра. Огромные объемы переработки горных пород, отсутствие их комплексного использования, малый процент извлекаемых ценных продуктов, устаревшие технологии обогащения, использующие большие объемы воды, пирометаллургические процессы извлечения металлов, громадные объемы обводненных мелкодисперсных отходов, размещение их непосредственно в акваториях озер или руслах рек, сброс сточных вод в водоемы, аэротехногенное загрязнение водосборов делают предприятия горно-перерабатывающих отраслей основными источниками загрязнения окружающей среды региона. К этому необходимо добавить крайне неэффективное управление водными ресурсами, включая отсутствие стратегии их использования и действенного контроля. Отсутствуют реестры, учитывающие количественные, качественные характеристики водных ресурсов и их использование, современная нормативная база, учитывающая природные особенности региона, эффективная система контроля. Следствием является резкое ухудшение качества поверхностных вод, деградация биологических ресурсов. В области складывается парадоксальная ситуация, когда при огромных запасах пресных вод большинство населенных пунктов испытывают дефицит качественной питьевой воды (*Доклад...*, 2011). Практически полностью прекратилось промышленное рыболовство на внутренних водах.

Большинство причин деградации водных ресурсов Мурманской области имеют социально-экономическую основу, и среди основных факторов, определяющих снижение ресурсного потенциала, можно отметить следующие: неадекватное управление; недостаток информации, научных знаний и понимания процессов, протекающих в водоемах; устаревшие технические и технологические решения; неадекватные интеллектуальные, финансовые и/или технологические ресурсы. Важнейшими причинами нерационального использования водных ресурсов являются отсутствие политических решений, которые определяли бы природные воды как важный природный ресурс и были бы направлены на решение проблем управления ими; нехватка законодательных и нормативных актов, учитывающих региональные экологические особенности; некачественная правовая экспертиза в области природоохранного права и управления. Необходима инвентаризация водных ресурсов региона, оценка их состояния и результативности их использования. Неэффективность институтов управления водными ресурсами усугубляется недостаточностью их подотчетности перед гражданами и органами управления. Отсутствуют механизмы консультаций с общественностью, низка степень участия всех заинтересованных лиц в принятии решений. Также много недостатков в системе экологического образования, существует острая необходимость информирования и привлечения молодежи и всего общества в целом к управлению водными ресурсами. К сожалению, эти факторы являются типичными для развивающихся стран, которым свойственно непонимание последствий деградации водных ресурсов (*Перспектива...*, 2003).

## 3. Последствия деградации пресноводных экосистем

Водные экосистемы являются наиболее уязвимыми компонентами природной среды Арктики, поскольку интегрируют все изменения окружающей среды, происходящие на территории их водосборов, и аккумулируют большую часть загрязняющих веществ, попавших на территорию водосборов. При этом их экосистемы очень чувствительны к нарушению гидрологического режима, ухудшению качества воды

и вселению новых видов. Вследствие особенностей распространения воздушных масс Северного полушария Земли большая часть загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в индустриально-развитых регионах, переносится в Арктику, где они осаждаются и накапливаются в экосистемах. Велико значение и местных источников загрязнения. Интенсивное развитие промышленности на Кольском полуострове в XX веке, разведка и освоение новых запасов полезных ископаемых в последние десятилетия, наряду с климатическими изменениями, привели к возрастающему воздействию на ключевые биологические, геохимические и физические процессы в пресноводных экосистемах Севера. Существенную роль в изменении условий обитания в Арктических регионах играют изменения климата. И хотя общая направленность таких изменений неоднозначна, а в отдельных районах может иметь разнонаправленный характер, не вызывает сомнения разбалансировка климатической системы, снижение ее стабильности. Водные экосистемы высоких широт особенно уязвимы к изменениям климатических параметров. Вариации таких климатических переменных как температура воздуха и осадки могут быть причиной изменений стока, уровней и водного объема озер, водного баланса, биологической продуктивности и т.д.

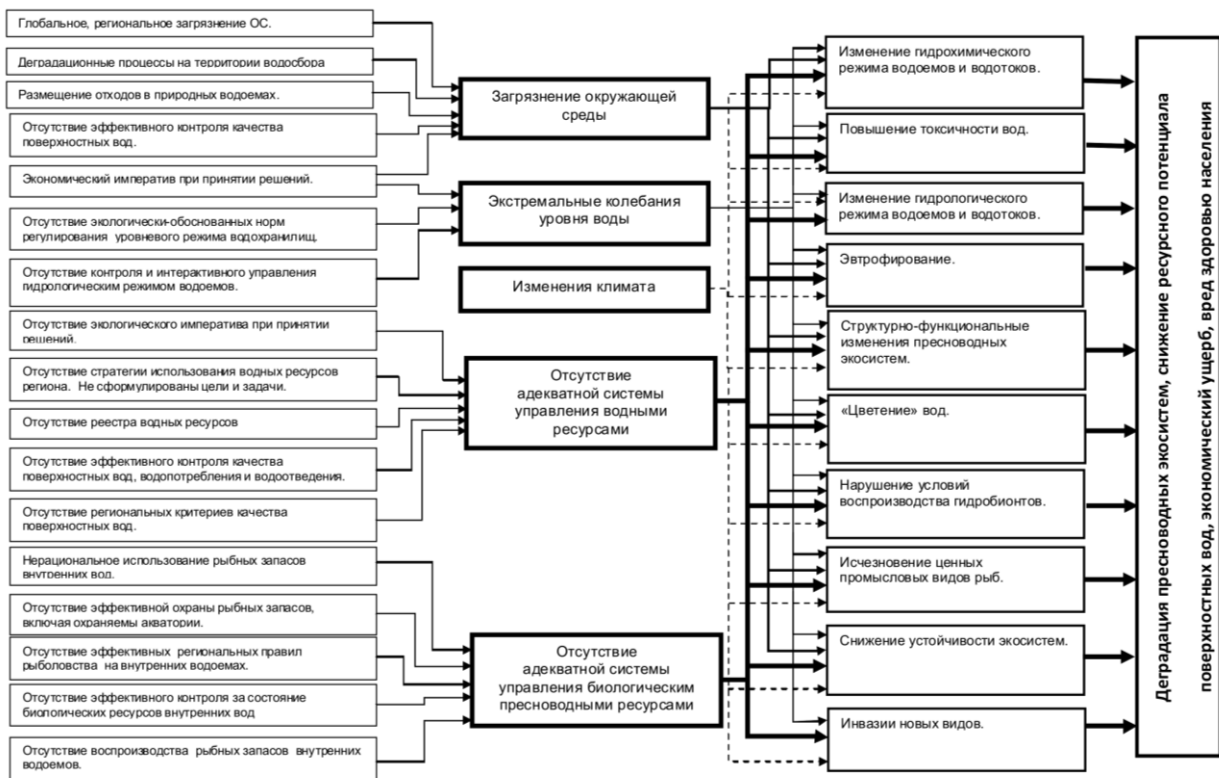


Рис. 2. Факторы и причинно-следственные связи процессов снижения ресурсного потенциала поверхностных вод Мурманской области

Совместное действие климатических изменений и загрязнения окружающей среды носит сложный характер, вызывает в арктических пресноводных экосистемах глубокие перестройки, снижающие их устойчивость и, в конечном итоге, – социально-экономическую значимость; может обусловить существенные изменения в важнейших для региона отраслях экономики: энергетике, коммерческом рыболовстве (включая аквакультуру), туризме, привести к социальной напряженности вследствие ухудшения условий жизни.

Скорость таких изменений в последние годы чрезвычайно возрастает. Явления, которые в XX веке казались невероятными, например регулярное массовое цветение сине-зеленых водорослей в арктических озерах, в настоящее время происходят регулярно. Можно выделить основные направления таких изменений:

- увеличение токсичности водной среды вследствие накопления в озерах загрязняющих веществ;
- изменение трофического статуса озер. Усиление темпов эвтрофикации;
- изменение направленности и скорости сукцессий;
- снижение стабильности экосистемы, повышение рисков катастрофических деградационных изменений.

Исследования внутриводоемных геохимических процессов показывают, что существует устойчивый

тренд увеличения концентраций тяжелых металлов в воде. При этом наиболее показательны процессы накопления металлов в поверхностных, сформированных за последние десятилетие, слоях донных отложений. Это наблюдается как в озерах, расположенных в зоне непосредственного влияния крупных промышленных предприятий, так и в удаленных районах, ранее считавшихся "фоновыми" (рис. 3).

Важнейшим элементом водных экосистем являются первичные продуценты, основными из которых в северных областях являются водоросли. В настоящее время в водоемах региона происходят радикальные перестройки структурно-функциональных характеристик альгоценозов, изменение направления и скорости сукцессий – как результат взаимозависимого действия целого комплекса регулирующих факторов, из которых наиболее значимыми являются антропогенные, усиленные аномальной динамикой региональной климатической системы.

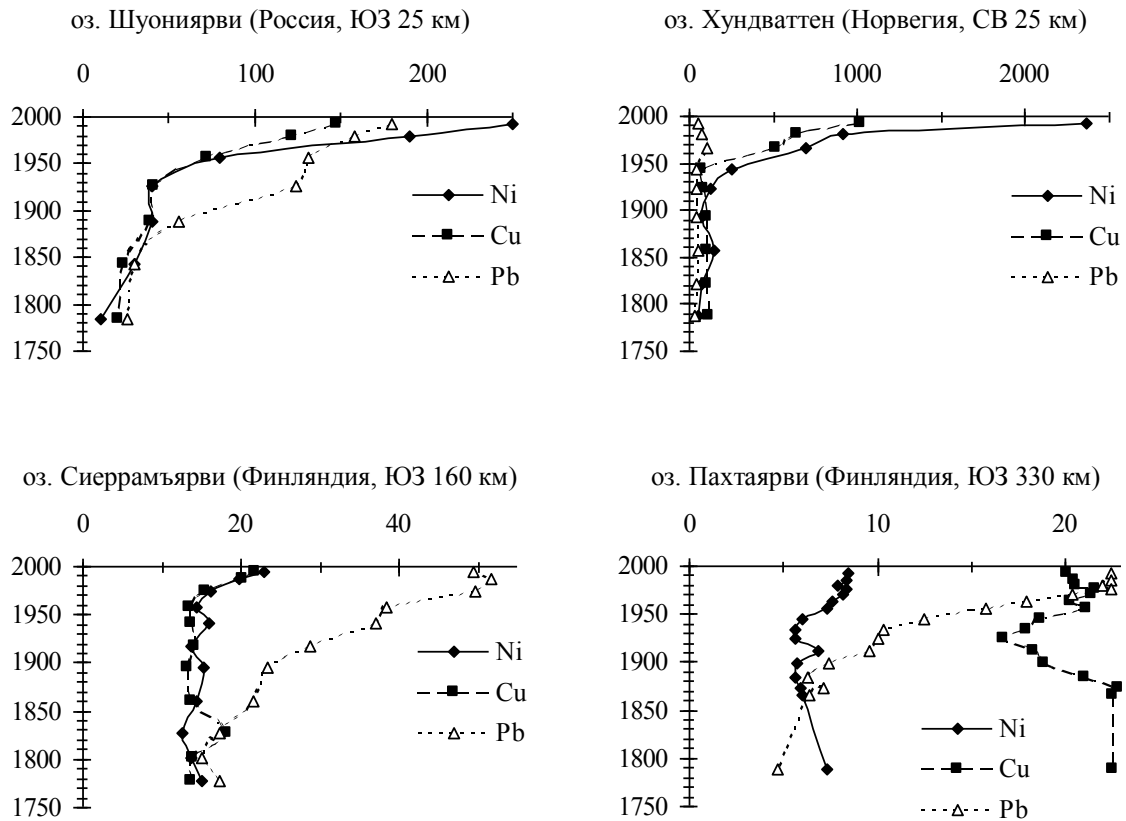


Рис. 3. Концентрации (мкг/г) Ni, Cu, Pb в датированных донных отложениях озер на различном удалении от комбината "Печенганикель"

До начала интенсивного промышленного загрязнения в фитопланктоне и перифитоне водных объектов доминировали диатомовые, зеленые (десмидиевые) и золотистые водоросли. Это были типично олиготрофные и ультраолиготрофные сообщества, в которых абсолютное большинство видов развивается в условиях низкой минерализации. В настоящее время в условиях эвтрофирования в альгоценозах снижаются доли золотистых, а для зеленых отмечено сокращение доли десмидиевых водорослей, с одновременным увеличением вольвоксовых, а также усилением роли семейства фрагиляриевых в сообществах диатомовых водорослей. При этом в водоемах, подверженных непосредственному загрязнению и эвтрофикации, снижается группа ацидофилов. Изменение гидрохимических условий и рост общей минерализации вод привели к увеличению доли галофилов. В перифитоне загрязняемых рек увеличивается доля улотриксковых, а также диатомовых семейства *Fragilariaceae*. В составе альгоценозов увеличилась доля сине-зеленых водорослей, включая и токсичные формы. Наблюдаются периоды массового развития динофитовых водорослей, причем в водах с высоким трофическим статусом они частично переходят на гетеротрофное питание.

Индекс сапробности наибольшие значения имеет в водоемах, испытывающих загрязнение предприятиями по добыче и переработке апатитовых руд (ОАО "Апатит", Ковдорский ГОК), а также подверженных антропогенному эвтрофированию (стоками очистных сооружений). Повышенные значения pH также стимулируют развитие водорослей. В то же время, водоемы, испытывающие токсическую нагрузку (тяжелые металлы) или характеризующиеся высоким содержанием минеральной

взвеси, отличаются сравнительно небольшими значениями индекса сапробности S (на уровне олигосапробных вод: 0.8-1.2). Вероятно, для подобных случаев необходима корректировка сапробного индекса и его адаптация для оценки качества вод либо ограничения по его применению.

Изменения трофического статуса вод характеризуются увеличением количественных показателей водорослевых сообществ и диапазона их отклонений от средних значений. Это следствие периодичного массового развития фитопланктона ("цветение вод"), которое регулярно наблюдается во многих водоемах в последние годы. Наиболее ярко эти процессы проявляются в крупнейшем водоеме региона – оз. Имандра. Основными массовыми видами летнего фитопланктона (июль-август) являются перидиниевые (*Ceratium hirundinella* (O.F. Müll.) Bergh f. *hirundinella*; *Peridinium goslaviense* Wolosz) и цианопрокариоты (*Anabaena lemmermannii* P. Richt.; *A. flos-aquae* Born. et Flah.). При этом в условиях штиля цианобактерии образуют поверхностные пленки в заливах, а перидинии – в открытых участках акватории. Массовое развитие перидиниевых водорослей в штилевую погоду придает поверхности вод рыжевато-красный оттенок. Во время массового развития сине-зеленых водорослей биомасса может достигать экстремально высоких значений – свыше 21 г/м<sup>3</sup>. Развитие цианей приводит к изменению гидрохимических характеристик, оптических и органолептических свойств воды. К этим же периодам приурочена гибель молоди сиговых рыб.

Существенные перестройки происходят в зоопланктонных и зообентосных сообществах. Отмечено сокращение биоразнообразия и роли аборигенных видов донных беспозвоночных, внедрение и расселение эврибионтных видов из умеренных широт. Антропогенное воздействие приводит к нарушениям структурной организации бентосных сообществ, которые проявляются в сокращении видового разнообразия, элиминации или снижении роли стенобионтных видов, перестройке доминантного комплекса, упрощении трофической и этологической структуры. На загрязненных участках образуются сообщества из эврибионтных или устойчивых к загрязнению видов, к которым относятся личинки хирономид родов *Chironomus*, *Procladius*, олигохеты сем. *Tubificidae*, некоторые виды моллюсков родов *Lymnaea*, *Pisidium*. Структурные перестройки зоопланктона проявляются в снижении или исчезновении наиболее чувствительных к ухудшению экологических условий реликтов и типичных представителей фауны олиготрофных озер (*L. kindtii*, *B. longimanus*, *E. gracilis*, *H. appendiculata*). Их замещают и постепенно формируют состав руководящего комплекса эврибионтные мелкие виды с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (*r*-стратегии) – коловратки (в соотношении основных таксономических групп *Rotatoria* : *Cladocera* : *Copepoda* в величине общей численности и биомассы организмов они оставляют долю более 90 %, что является признаком нарушенного нестабильного состояния экосистемы). Уменьшается средняя индивидуальная масса зоопланктона (В/Н). Снижение индекса видового разнообразия Шеннона по численности ( $H_{\text{Нбит/экз}}$ ) происходит не только в результате сокращения числа видов в сообществе, но и за счет усиления доминантности отдельных видов и создания монокультур из устойчивых к загрязнению форм.

Таким образом, экосистемы водоемов региона переходят к новой модификации, отличной от их природной структуры, и не происходит возвращение их к природному состоянию. Это напрямую отражается и на рыбной части сообществ, структурно-функциональная организация которых также претерпевает существенные изменения.

В настоящее время увеличение загрязняющих веществ в водоемах происходит, помимо локальных источников, и за счет процессов глобального загрязнения атмосферы и трансграничного переноса. Примерами такого рода процессов являются распространение свинца и ртути. Нами было показано, что содержание ртути в донных отложениях озер и ткахань рыб Мурманской области и приграничного района Финляндии и Норвегии за последнее десятилетие характеризуется постоянным ростом, и этот процесс не связан с деятельностью металлургических комбинатов региона (State..., 2007). Несмотря на это, по-прежнему приоритетным элементом-загрязнителем региона остается никель. Уровень 5-7 мкг/г<sub>сух.в-ва</sub> в почках является критическим для сигов изученных водоемов, и его превышение вызывает ряд серьезных патологических процессов в организмах рыб. Загрязнение водоемов металлами носит региональный характер, что показывают уровни накопления ряда металлов (Cu, Zn) в организмах рыб в регионально-фоновой зоне, где зачастую они имеют сопоставимые, а иногда и более высокие показатели, чем у рыб вблизи промышленных центров (оз. Куэтсьярви).

Практически во всех водоемах региона в организмах рыб происходят патологические изменения, обусловленные сублетальной токсичностью среды обитания и в целом снижающие их жизнеспособность. Хроническое воздействие загрязняющих веществ вызывает в организмах рыб нарушение функций жизненно важных органов: жабры, печень, почки, гонады. Частота встречаемости у рыб патологий и их интенсивность имеет выраженную зависимость от величины техногенной нагрузки на водоем. И если раньше патологические изменения внутренних органов рыб были характерны лишь для водоемов, расположенных в так называемых импактных зонах крупных горно-перерабатывающих и металлургических предприятий, то в настоящее время в той или иной степени они наблюдаются практически по всей территории Мурманской области, и частота встречаемости возрастает.

Эти негативные явления отражаются и на структурных показателях отдельных популяций, для которых характерно крайнее упрощение. Популяции представлены небольшим числом возрастных групп и минимальным числом нерестящихся поколений. Наблюдается сокращение продолжительности жизни, преобладание рыб младших возрастных групп, снижение темпов роста и уменьшение средних размеров, раннее половое созревание, наступление его при экстремально малых для вида размерах или/и блокировка процессов созревания при увеличенных темпах роста, растянутый период наступления половой зрелости. Признаки деградации популяций рыб прослеживаются как вблизи промышленных предприятий, так и в значительно удаленных районах. Например, в популяциях сига, обитающих в озерах бассейна р. Поной, несмотря на значительное удаление от промышленных центров региона.

Несмотря на пиковые нагрузки загрязнений во второй половине прошлого века, длительное время структура рыбной части сообществ даже наиболее техногенно трансформированных водоемов в целом оставалась малоизмененной. Как правило, отмечалось снижение доли лососевых видов и доминирование сиговых. Однако в конце 90-х годов прошлого и в начале нынешнего столетия во многих водоемах региона наметились тенденции изменения в структуре сообщества рыбного населения. В стрессовых для аборигенных видов условиях вселение новых видов рыб, обладающих широкой экологической валентностью, приводит к радикальным изменениям структуры ихтиоценозов. Так, вселение ряпушки внесло значительные изменения в структуру рыбной части сообщества водоемов системы р. Пасвик. Ярко выраженный планктофаг с более эффективным цедильным аппаратом, ряпушка выигрывает в конкуренции со среднетычинковыми сигадами и активно занимает их экологическую нишу. Резкое увеличение численности ряпушки создает напряженность в пищевой обеспеченности этой формы сига, что является дополнительным стрессовым фактором к уже существующим, обусловленным загрязнением тяжелыми металлами. Судьба популяций сигов, и в первую очередь среднетычинковых, представляется проблематичной.

Европейская корюшка *Osmerus eperlanus* ранее обитала в ограниченном числе водоемов бассейна Белого моря. В период с 1979 по 1985 гг. онежская корюшка, в виде личинок, была интродуцирована в Верхнетгуломское водохранилище, откуда в настоящее время она распространилась в водоемах бассейнов рек Кола и Нива. В последние десятилетия в оз. Имандра корюшка получила массовое распространение. Она практически полностью вытеснила ряпушку и снижает эффективность воспроизводства остальных видов, массово уничтожая молодь, создает повышенную пищевую конкуренцию. Нерестовая стратегия корюшки, идущей на нерест в реки, оказалась эффективней местных весенне нерестящихся видов (щука, окунь, язь), которые вследствие зимне-весенней сработки воды Нивскими ГЭС практически полностью лишаются нерестилищ в озере. Короткий жизненный цикл, отсутствие пресса хищников, малоэффективное промысловое изъятие, успешное воспроизводство делают корюшку доминирующим видом оз. Имандра. Резко возрастает и численность ерша *Gymnocephalus cernuus*. В ряде районов озера (северные районы Большой Имандры) эти два вида полностью доминируют в структуре ихтиофауны. Воспроизводство остальных видов малоэффективно, и пополнение их популяций идет в основном за счет мигрантов из придаточных озерно-речных систем (полупроходная форма сига, кумжа).

Схожие изменения структуры рыбной части населения происходят и в других, ранее считавшихся лососево-сиговыми, водоемах бассейнов рек Нива (Пермусозеро) и Кола (Колозеро, Кахозеро). Доминирующими видами являются малоценные с промысловой точки зрения виды – обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus*, европейская корюшка *Osmerus eperlanus* и европейская ряпушка *Coregonus albula*. На сложившуюся структуру рыбного населения указанных водоемов, несомненно, оказывают влияние комплекс антропогенных факторов, характерных для центральных промышленных районов Мурманской области, включая неконтролируемый "любительский" лов (в основном лососевых и сиговых видов), снижение эффективности воспроизводства рыбных запасов. Другим примером значительных перестроек структуры рыбной части населения могут быть водоемы бассейна р. Поной (центральная часть Кольского полуострова). Здесь в последние годы отмечено значительное увеличение численности плотвы и язя. Ранее язь был распространен лишь в верховьях бассейна р. Поной до оз. Вульярв (Галкин и др., 1966; Сурков, 1966). В настоящее время язь обитает как в верхнем, так и в нижнем течении реки.

Таким образом, несмотря на то что процесс загрязнения поверхностных вод Мурманской области длится уже не одно десятилетие, необходимо констатировать, что в настоящее время наблюдаются глубокие структурно-функциональные перестройки пресноводных экосистем. Если в прошлом веке интенсивное промышленное загрязнение водоемов отражалось большей частью на состоянии организмов и популяций рыб, то в настоящее время происходит быстрая смена структуры рыбной части сообщества. Значительное снижение качества вод субарктических водоемов, связанное с влиянием многофакторного промышленного загрязнения, интенсификация процессов эвтрофирования водоемов в условиях региональных климатических изменений приводят к развитию несвойственных для Крайнего Севера явлений. В типичных олиготрофных водоемах Субарктики отмечаются серьезные изменения, свидетельствующие о стремительных преобразованиях их трофического статуса на фоне

сохраняющегося или повышающегося уровня сублетальной токсичности вод. Это может нанести существенный урон многим секторам экономики, ухудшить условия развития региона. В целом происходит снижение ресурсного потенциала поверхностных вод региона. В то же время, повышение трофического статуса озер вследствие процессов эвтрофирования может увеличить их рыбопродуктивность. Однако для этого необходимо грамотное научно обоснованное управление водными ресурсами. Важным аспектом изучения последствий загрязнений водоемов является оценка потенциальных рисков загрязнения окружающей среды для здоровья населения. Основные последствия изменений климата и загрязнения окружающей среды для водных систем представлены на рис. 4.



Рис. 4. Основные последствия изменений климата и загрязнения окружающей среды для водных систем

#### 4. Новые подходы к оценке качества вод и состояния водных ресурсов

Функционирование водных экосистем в новых условиях заставляет пересматривать методологические подходы к оценке качества вод и состояния водных ресурсов, а также к организации системы гидроэкологического мониторинга в регионе. Прежде всего, это относится к показателям качества поверхностных вод. Необходима разработка показателей, учитывающих региональные особенности. В качестве примера мы можем предложить некоторые показатели качества вод, основанные на анализе фоновых концентраций ряда элементов в поверхностных водах и донных отложениях.

Для разработки критериев оценки степени загрязнения воды пресноводных водоемов Мурманской области предлагается определение концентраций тяжелых металлов в фоновых относительно незагрязненных водоемах, удаленных на расстояние более 40-50 км от основных источников промышленного загрязнения (горно-металлургические комбинаты). В работах сотрудников ИППЭС КНЦ РАН (например, *Моисеенко и др.*, 1996; *Даувальтер*, 1997; *Dauvalter*, 1994) отмечается, что на удалении 40-50 км от индустриальных центров влияние данных вредных веществ на химический состав воды и донных отложений водоемов практически не происходит. Фоновые значения концентраций в воде ( $\Phi_n^i$ ) для каждого элемента определялись как медианное значение (M) концентраций тяжелых металлов в 400 озерах восточной части Мурманской области (*Кацулин и др.*, 2010; 2011) плюс одно (1) стандартное отклонение (табл. 1). Озера восточной части Мурманской области располагаются на удалении достаточном, чтобы отнести их к относительно фоновым незагрязненным водоемам. Для определения фонового значения использовалось именно медианное, а не среднее значение, т.к. озера расположены в различных географических зонах (тундровая, таежная, горная), с

различными геохимическими особенностями водосборов, и в концентрациях отмечаются значительные вариации. Данный метод статистического определения берет в расчет факт, что разные типы водоемов в различных озерах могут иметь различные концентрации тяжелых металлов. Если концентрации показывают низкую степень разброса, тогда сумма ( $M+s_n$ ) будет близка к  $M$ ; если существует большой разброс, тогда сумма рассчитывается статистически достоверным способом. Для определения интенсивности загрязнения пресноводных водоемов Мурманской области предлагается следующая классификация:  $\Phi_f^i < 1$  – водоем характеризуется фоновым содержанием элемента в воде (показатель свидетельствует о низком загрязнении поверхностных вод изучаемым элементом);  $1 \leq \Phi_f^i < 5$  – умеренное загрязнение;  $5 \leq \Phi_f^i < 10$  – значительное загрязнение;  $\Phi_f^i \geq 10$  – высокое загрязнение. Концентрации тяжелых металлов в воде водоемов Мурманской области по данной классификации приведены в табл. 1.

Таблица 1. Медианные ( $M$ ), средние ( $X$ ), минимальные ( $\min$ ) и максимальные ( $\max$ ) концентрации элементов (мкг/г сух. веса), стандартные отклонения ( $s_n$ ) и фоновые доиндустриальные значения ( $\Phi_n^i$ ) в воде 400 озер восточной части Мурманской области и предлагаемые критерии оценки степени загрязнения воды пресноводных водоемов Мурманской области тяжелыми металлами

Элемент	Вода озер Мурманской области							Интенсивность загрязнения			
	$M$	$X$	$\min$	$\max$	$s_n$	$M+s_n$	$\Phi_n^i$	Фоновое	Умеренное	Значительное	Сильное
Cu	0.70	1.37	0.00	22.00	2.49	3.19	3.0	<3	3-15	15-30	>30
Ni	0.6	1.0	0.0	9.0	1.2	1.77	2.0	<2	2-10	10-20	>20
Zn	1.7	2.6	0.0	24.0	3.1	4.82	5.0	<5	5-25	25-50	>50
Co	0.2	0.3	0.0	8.0	0.8	1.00	1.0	<1	1-5	5-10	>10
Cd	0.05	0.10	0.00	0.99	0.16	0.21	0.20	<0.2	0.2-1	1-2	>2
Pb	0.30	0.34	0.00	1.40	0.24	0.54	0.50	<0.5	0.5-2.5	2.5-5	>5
As	0.010	0.070	0.010	0.250	0.096	0.106	0.100	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1
Hg	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

В табл. 2 приведены значения предельно допустимых концентраций тяжелых металлов для воды рыбохозяйственных водоемов ( $ПДК_{рбхз}$ ) и санитарно-эпидемиологические правила и нормативы для питьевой воды (*Санитарно-эпидемиологические...*, 2002). Сравнение нормативных величин с предлагаемыми критериями для водоемов Мурманской области показало довольно значительное различие, отражающее региональные геохимические особенности формирования химического состава поверхностных вод.

Подобный подход применялся для установки критериев оценки загрязнения пресноводных водоемов в Канаде и Норвегии (табл. 3). Канадским министерством окружающей среды определены критерии оценки степени загрязнения воды пресноводных водоемов тяжелыми металлами в зависимости от существующих гидрохимических характеристик воды – в первую очередь, содержания карбоната кальция  $CaCO_3$ , от которого зависят кислотно-щелочные условия, минерализация и другие гидрохимические показатели. Величины концентраций тяжелых металлов могут отличаться в 5-7 раз (например, для Ni и Pb). Норвежским комитетом охраны окружающей среды разработана методика определения интенсивности загрязнения, по которой водоемы разделены на 5 классов, в зависимости от превышения концентраций над фоновыми значениями – водоемы с фоновым содержанием тяжелых металлов (background), загрязнение умеренное (moderate), заметное (marked), сильное (strong) и очень сильное (very strong). Для водоемов Мурманской области предлагается разделение на 4 класса загрязненности: фоновое состояние и умеренное, значительное и сильное загрязнение.

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации ( $ПДК_{рбхз}$  в мкг/л) и ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов и СанПиН 2.1.4.1116-02 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества"

Элемент	$ПДК_{рбхз}$	СанПиН	
		Первая категория	Высшая категория
Cu	1	1000	1000
Ni	10	20	20
Zn	10	5000	3000
Co	10	100	100
Cd	5	1	1
Pb	100	10	5
As	50	10	6
Hg	0.01	0.5	0.2



Для разработки критериев оценки степени загрязнения пресноводных водоемов Мурманской области также предлагается определение концентраций тяжелых металлов в фоновых слоях донных отложений (на глубине более 20 см колонки донных отложений), которые сравниваются с содержаниями металлов в поверхностном 1-см слое, отражающем современное экологическое состояние водоема. Фоновые доиндустриальные значения определялись по методу Л. Хокансона (*Håkanson*, 1980), который рассчитал фоновые значения концентраций элементов для ДО озер Швеции на основе данных около 50 озер различных размеров, географического положения, трофического состояния и других лимнологических характеристик. Фоновые доиндустриальные значения ( $C_n^i$ ) для каждого элемента определялись как среднее значение фоновых концентраций элемента в 80 озерах Мурманской области плюс одно (1) стандартное отклонение (табл. 4). Данный метод статистического определения берет в расчет факт, что разные типы донных отложений в различных озерах могут иметь различные концентрации веществ. Если концентрации показывают низкую степень разброса, сумма ( $X+s_n$ ) будет близка к  $X$ ; если существует большой разброс, сумма рассчитывается статистически достоверным способом. Для определения интенсивности загрязнения пресноводных водоемов Мурманской области предлагается следующая классификация: если  $C_f^i < 1$  – водоем характеризуется фоновым содержанием элемента в донных отложениях (показатель свидетельствует о низком загрязнении донных отложений изучаемым элементом);  $1 \leq C_f^i < 5$  – умеренное загрязнение;  $5 \leq C_f^i < 10$  – значительное загрязнение;  $C_f^i \geq 10$  – высокое загрязнение (табл. 4).

Таблица 3. Критерии оценки степени загрязнения воды (мкг/л) пресноводных водоемов тяжелыми металлами, принятые в Канаде (Canadian Council of Ministers of the Environment) и Норвегии (Norwegian Pollution Control Authority)

Элемент	Канадские критерии	Норвежские критерии				
		Фоновые	Умеренное	Заметное	Сильное	Очень сильное
Cu	2-4*	<0.6	0.6-1.5	1.5-3	3-6	>6
Ni	25-150**					
Zn	30	<5	5-20	20-50	50-100	>100
Co						
Cd	0.017	<0.04	0.04-0.1	0.1-0.2	0.2-0.4	>0.4
Pb	1-7***	<0.5	0.5-1.2	1.2-2.5	2.5-5	>5
As	5.0	<0.5	0.5-2.5	2.5-5	5-10	>10
Hg	0.1	<0.002	0.002-0.005	0.005-0.01	0.01-0.02	>0.02

Предельная концентрация (мкг/л) при концентрации CaCO <sub>3</sub> (мг/л)	*Cu			**Ni				**Pb			
	2	3	4	25	65	110	150	1	2	4	7
	0-120	120-180	>180	0-60	60-120	120-180	>180	0-60	60-120	120-180	>180

Таблица 4. Средние ( $X$ ) фоновые минимальные (min) и максимальные (max) концентрации элементов (мкг/г сух. веса), стандартные отклонения ( $s_n$ ) и доиндустриальные значения ( $C_n^i$ ) в донных отложениях 80 озер Мурманской области и предлагаемые критерии оценки степени загрязнения донных отложений пресноводных водоемов Мурманской области тяжелыми металлами

Элемент	Донные отложения Мурманской области						Интенсивность загрязнения			
	X	min	max	$s_n$	$X+s_n$	$C_n^i$	Фоновое	Умеренное	Значительное	Сильное
Cu	27	2	94	22	49	50	<50	50-250	250-500	>500
Ni	27	4	214	27	54	55	<55	55-275	275-550	>550
Zn	96	16	250	48	144	150	<150	150-750	750-1500	>1500
Co	13	2	69	11	23	25	<25	25-125	125-250	>250
Cd	0.23	0.02	2.10	0.26	0.48	0.50	<0.5	0.5-2.5	2.5-5	>5
Pb	4.4	0.5	15.0	3.4	7.8	8.0	<8	8-40	40-80	>80
As	3.2	0.5	13.7	3.2	6.4	7.0	<7	7-35	35-70	>70
Hg	0.035	0.003	0.112	0.021	0.056	0.060	<0.06	0.06-0.3	0.3-0.6	>0.6

Канадским министерством окружающей среды определены фоновые концентрации тяжелых металлов в донных отложениях (ISQG) и концентрации, выше которых возможны негативные эффекты для жизнедеятельности гидробионтов (PEL) (табл. 5).

## 5. Заключение

Начало XXI столетия ознаменовалось стремительным снижением ресурсного потенциала поверхностных вод Мурманской области в условиях глобального изменения климата и окружающей среды, их нерационального использования. Наблюдаются увеличение токсичности водной среды,

радикальные перестройки структурно-функциональных характеристик сообществ гидробионтов, изменение трофического статуса озер, снижение стабильности пресноводных экосистем, повышение рисков катастрофических деградиционных изменений. Все это требует пересмотра критериев оценки качества поверхностных вод, необходимость учитывать их современное состояние и другие региональные особенности. Сравнение предлагаемых нормативов с разработанными нормами в Канаде и Норвегии показывает, что они достаточно сопоставимы и могут быть предложены в качестве критериев оценки степени загрязнения пресноводных водоемов Мурманской области.

Приведенные критерии носят предварительный характер, и требуется более глубокое исследование данного вопроса с целью расширения списка контролируемых показателей и обоснования их количественных характеристик.

Таблица 5. Критерии оценки степени загрязнения донных отложений пресноводных водоемов тяжелыми металлами, принятые в Канаде (Canadian Council of Ministers of the Environment) и Норвегии (Norwegian Pollution Control Authority). ISQG (Interim freshwater sediment quality guidelines) – фоновые концентрации, PEL (probable effect level) – уровень возможного эффекта

Элемент	Канадские критерии		Норвежские критерии				
	ISQG	PEL	Фоновое	Умеренное	Заметное	Сильное	Очень сильное
Cu	36	197	<30	30-150	150-600	600-1800	>1800
Ni			<50	50-250	250-1000	1000-3000	>3000
Zn	123	315	<150	150-750	750-3000	3000-9000	>9000
Co							
Cd	0.60	3.50	<0.5	0.5-2.5	2.5-10	10-20	>20
Pb	35.0	91.3	<50	50-250	250-1000	1000-3000	>3000
As	5.9	17.0	<5	5-25	25-100	100-200	>200
Hg	0.170	0.486	<0.15	0.15-0.6	0.6-1.5	1.5-3	>3

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-05-98803-р\_север\_a).

#### Литература

- Dauvalter V.** Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia. *Sci. Total Environ.*, v. 158, p.51-61, 1994.
- Håkanson L.** An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach. *Water Res.*, v. 14, p.975-1001, 1980.
- State of the environment in the Norwegian, Finnish and Russian border area. *Ed.: K. Stebel, G.N. Christensen, J. Derome and I. Grekelä. The Finnish Environment*, v. 6, 88 p., 2007.
- Галкин Г.Г., Колюшев А.А., Покровский В.В.** Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области. Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск, ПИНРО, 1966. С. 177-193.
- Даувальтер В.А.** Загрязнение донных отложений водосбора реки Пасвик тяжелыми металлами. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*, № 6, с.43-53, 1997.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2010 году. *Мурманск, ООО "Рекламное агентство XXI век"*, 152 с., 2011.
- Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Валькова С.А.** Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Баренцева моря). В 2 ч. *Апатиты, КНЦ РАН*, 2010.
- Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П., Терентьев П.М., Денисов Д.Б., Вандыш О.И., Валькова С.А.** Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области (Восточная часть. Бассейн Белого моря). В 2 ч. *Апатиты, КНЦ РАН*, 2011.
- Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П.** Формирование качества вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водоемы арктического бассейна (на примере Кольского Севера). *Апатиты, КНЦ РАН*, 263 с., 1996.
- Перспектива мировых озер: призыв к действию. Комитет Перспективы Мировых Озер. URL: [http://www.ilec.or.jp/eg/wlv/complete/wlv\\_c\\_russian.pdf](http://www.ilec.or.jp/eg/wlv/complete/wlv_c_russian.pdf). 2003.
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1116-02 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества". URL: [http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_569.html](http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_569.html).
- Сурков С.С.** Общая характеристика особенностей видового состава ихтиофауны Мурманской области. Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. *Мурманск, ПИНРО*, с.147-151, 1966.
- ЭКО-бюллетень ИнЭКА. № 4 (135), июль-август 2009. URL: <http://www.ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0135&pg=006>.