

УДК 551.464:574.5

**Гидролого-гидрохимическая характеристика среды
обитания водных биоресурсов в губе Печенга**

*В.В. Сапожников, Н.В. Аржанова, А.К. Грузевич, Н.М. Зозуля,
С.И. Столярский, Н.И. Торгунова, А.М. Храмова*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ
«ВНИРО»), г. Москва
E-mail: biochem@vniro.ru

Для оценки состояния среды обитания водных биоресурсов в губе Печенга в условиях активного развития промышленной марикультуры рассмотрены временные и пространственные изменения в воде температуры, солености, кислорода, биогенных элементов, растворенного органического углерода (РОУ) и тяжелых металлов. Показано, что промышленное разведение рыбы влияет на изменение таких показателей, как содержание аммонийного азота, минеральных и органических соединений фосфора растворенного органического углерода. Их концентрация существенно возрастает в районах расположения садковых хозяйств. Отмечено наличие аномально высокого содержания органического углерода, что вероятнее всего тесно связано с деятельностью ОАО «Русский лосось» и является результатом внештатных ситуаций, возникающих в процессе товарного выращивания лососевых рыб. Установлено, что концентрации тяжелых металлов в воде губы были низкие, значительно ниже предельно-допустимых. В донных отложениях повышенные концентрации хрома, меди, никеля, свинца и железа были обнаружены в непосредственной близости от пос. Лиинахамари и обусловлены антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: губа Печенга, гидрохимические показатели среды, биогенные элементы, кислород, растворенный органический углерод, тяжелые металлы, марикультура, садковые хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

Варангер-фьорд — большой открытый залив в Баренцевом море, расположенный между российским п-вом Рыбачий и норвежским п-вом Варангер. Исследования сосредоточены главным образом в заливах Варангер-фьорда — губах Печенга и Амбарная. Губа Печенга (Печенгская губа) расположена на выходе в море реки Печенга. Длина губы 17 км, ширина преимущественно 1–1,5 км, глубина до 118 м. Берег скалистый крутой. В вершине губы находится пос. Печенга, а на западном

берегу — пос. Лиинахамари. Губа Амбарная расположена к востоку от губы Печенга. Ее длина 3,5 км, ширина у входа 1,1 км. Максимальная глубина 86 м. В губу впадает несколько ручьев, а в южной (кутовой) части залива через узкие мелководные проливы (протоки) происходит приливно-отливный и стоковый водообмен с озерами Линъялампи и Сисяярви. Населенных пунктов на берегах губы Амбарная нет.

В этих губах, начиная с 2007 г., крупнейшим в России предприятием ОАО «Русский

лосось», осуществляется товарное выращивание лососевых рыб. К 2014 г. здесь функционировало семь садковых хозяйств (ферм), насчитывающих от 8 до 36 садков. Активное развитие на акватории губы промышленной марикультуры может оказать негативное воздействие на окружающую среду, т.к. в процессе функционирования садковых хозяйств в воду попадают остатки кормов, конечные продукты метаболизма выращиваемых рыб (экскременты и др.); не исключается несанкционированный сброс отходов переработки рыбы с береговых предприятий. Характер этого воздействия проявляется в изменении ряда гидрохимических показателей по сравнению с фоновыми значениями, полученными до размещения и зарыбления садков.

Проведение гидрологических и гидрохимических исследований на акватории губ Печенга и Амбарная вызвано необходимостью оценить состояние среды обитания водных биоресурсов в условиях активного развития промышленной марикультуры.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В северной части губы Печенга, в губе Амбарная и сопредельной части Варангер-фьорда в соответствии с разработанной схемой станций (рис. 1 а) выполнено три океанографические съемки, охватившие различные периоды года — 10–14.04.2013 г., 31.05–03.06.2014 г. и 09–12.09.2013 г. К сожалению, не было получено разрешение руководства ОАО «Русский лосось» на проведение исследований непосредственно у садков, удалось лишь насколько возможно приблизить к садкам расположение океанографических станций.

На всех станциях проведено зондирование водной толщи от поверхности до дна СТД-зондом SBE19 с датчиками температуры, электропроводности, растворенного кислорода и интенсивности флуоресценции фитопигментов. Относительная прозрачность вод измерена с помощью диска Секки. Из поверхностного и придонного слоев отобраны пробы воды для проведения гидрохимического анализа. В сентябре 2013 г. был выполнен полный комплекс гидрохимических исследований, включающий определение в воде кислорода, фосфатов, ни-

тратов, нитритов, аммония, кремния, валовых и органических соединений азота и фосфора, органического углерода (РОУ). Исследования на содержание тяжелых металлов (медь, хром, никель, кадмий, свинец, железо) в воде и донных отложениях проводились в сентябре 2013 г. и в июне 2014 г. Донные отложения были отобраны там, где это было технически возможно — в местах с относительно небольшой глубиной (около 30 м) и не каменистым дном. (рис. 1 б). Химический анализ проб воды произведен в соответствии с «Руководством по химическому анализу...» [2003] и с «Руководством по современным биохимическим методам...» [2004]; донных отложений — в соответствии с «Методическими указаниями. Определение массовой доли металлов...» [2006]; содержание РОУ измерено на анализаторе ТОС-VСРН, металлов — на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-З. Эта». Математическая и графическая обработка данных произведена на компьютере с использованием программ Surfer, Grapher, Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важнейшей характеристикой состояния среды обитания морских гидробионтов являются гидролого-гидрохимические показатели воды. К сожалению, не удалось обнаружить сведений о гидрологии и гидрохимии вод губы Печенга непосредственно перед установкой садков. Результаты многолетних наблюдений за температурой и соленостью воды на посту «Лиинахамари» относятся лишь к бухте Девкина Заводь и вряд ли могут быть распространены на всю акваторию губы [Климат морей, 2017]. В настоящее время мы располагаем лишь результатами исследований 2013–2014 гг., которые, однако, позволяют оценить пространственно-временные изменения температуры и солености на исследованной акватории губы Печенга.

Температура поверхностного слоя, подчиняясь сезонному ходу, изменялась в течение года весьма существенно — почти на порядок (рис. 2).

Менее всего вода прогрета в апреле. Непосредственно в губе Печенга температура меняется очень мало — на подавляющей части в пределах 0,1 °С.

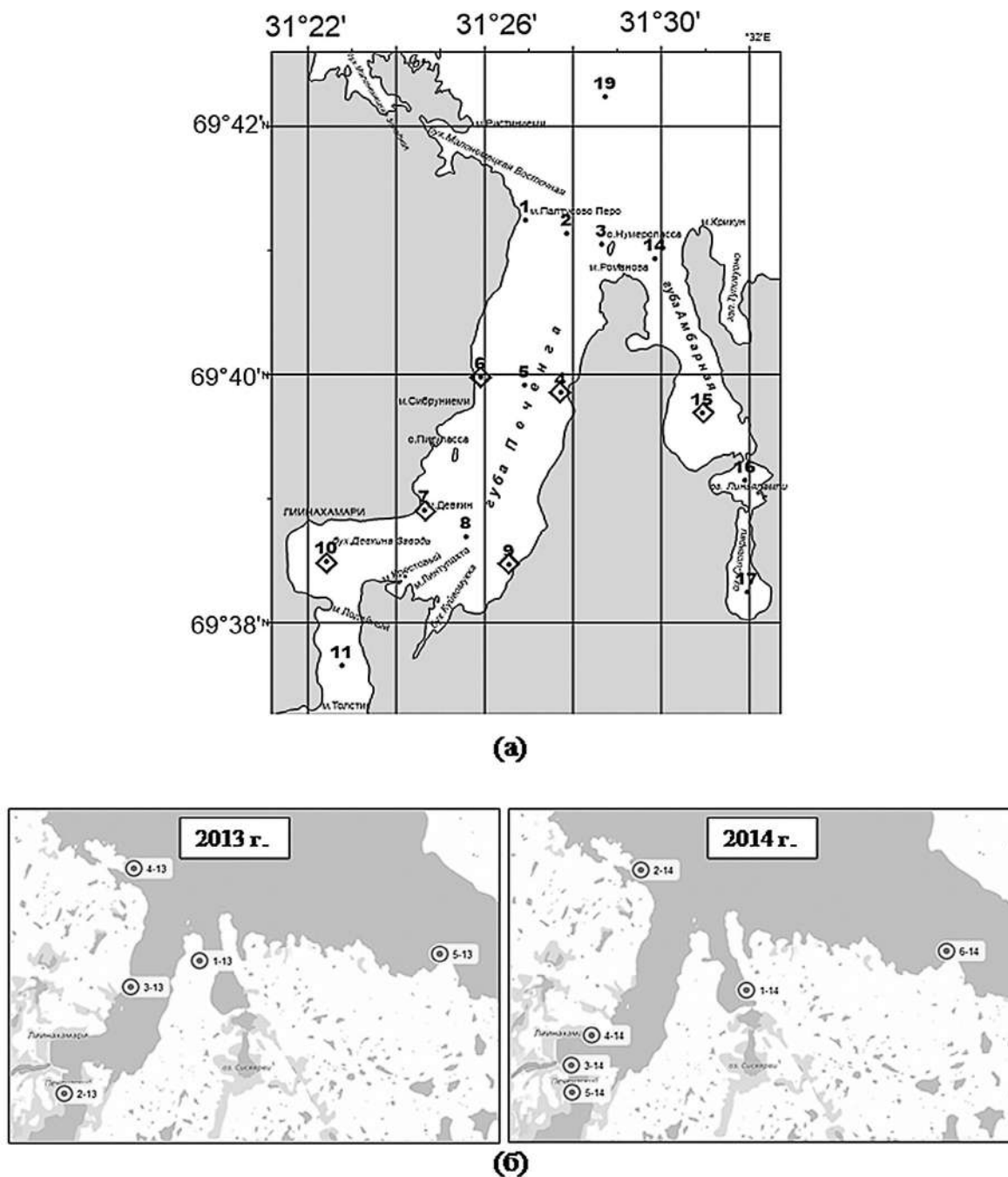


Рис. 1. Схема океанологических станций (а) и схема отбора проб донных отложений (б) в губах Печенга и Амбарная (2013, 2014 гг.).

Ромбами отмечены станции, расположенные в районах постановки садковых хозяйств

На границе с открытой частью Баренцева моря отмечается заметное повышение горизонтального градиента в распределении величин. Здесь температура воды, хотя и незначительно (с 1,6 до 1,4 °C), но довольно быстро снижается

по направлению к морю. В губе Амбарная отмечается постепенное уменьшение температуры (до ~1,5 °C) по направлению к кутовой части.

Увеличение солнечной радиации в весенне-летний период приводит к дальнейшему

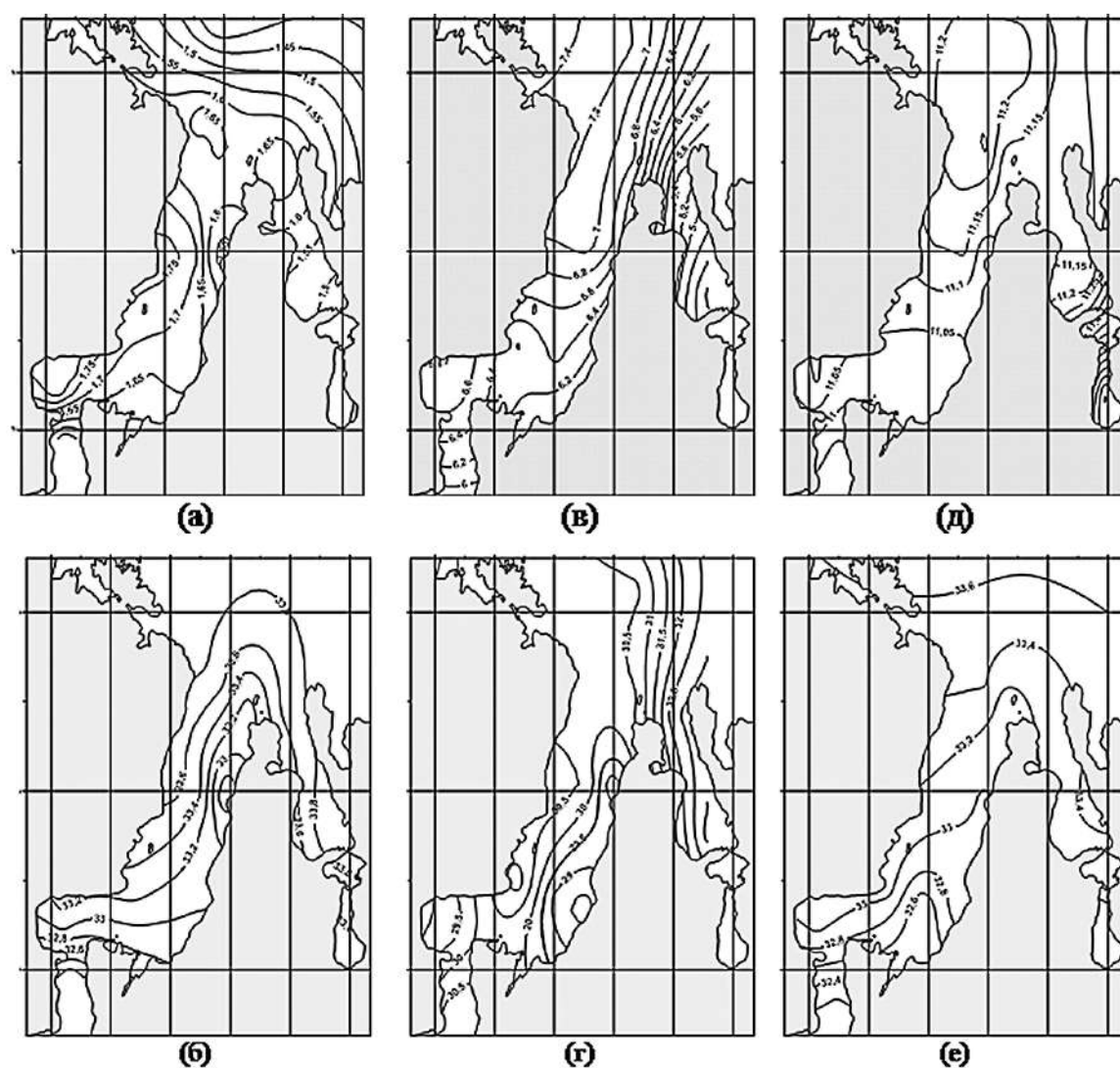


Рис. 2. Распределение температуры T °C (а, в, д) и солёности S , ‰ (б, г, е) на поверхности.
а, б — апрель 2013 г.; в, г — июнь 2014 г.; д, е — сентябрь 2013 г.

прогреванию поверхностного слоя. В результате в июне температура воды возрастает в несколько раз (до $6,5\text{--}7$ °C), а к середине сентября она увеличивается почти на порядок (до $11,0\text{--}11,8$ °C). Причем, если в июне прослеживается тенденция увеличения температуры по направлению к северо-западу под воздействием адвекции относительно теплых баренцевоморских вод, то в сентябре температура поверхностного слоя на большей части акватории губ практически выравнивается ($11,05$ °C– $11,2$ °C). На общем фоне более высокими величинами выделяется мелководная кутловая часть губы Амбарная и связанные с ней озера Линъялампи и Сисяярви.

Величина солёности на поверхности губы Печенга обусловлена, главным образом, солёностью поступающих сюда морских-прибрежных вод Баренцева моря. Кроме того, определенное влияние оказывает пресный сток, прежде всего р. Печенга.

Самая низкая солёность на поверхности отмечена в начале июня (рис. 2). Это связано с тем, что поступающие в губу морские баренцевоморские воды характеризуются в это время пониженной солёностью из-за сокращения притока в Баренцево море атлантических вод, таяния льда и постепенно возрастающего материкового стока. Именно в начале июня происходит наибольшее поступление в губу пресных

вод, т.к. на этот период приходится этап половодья, вызывающий самую многоводную фазу водного режима рек [Основные гидрологические характеристики..., 1978]. Диапазон пространственного изменения солёности в этот период достаточно велик — от 28,3 до 32,5‰. Наименьшие величины (<29,9‰) отмечены в зал. Девкина Заводь и на мелководье вдоль восточного побережья. К западному берегу солёность увеличивается до 30,5–31‰. Самые высокие величины (31–32,5‰) характерны для мористой открытой части. Вид изогалин приобретает практически меридиональную направленность, что, по-видимому, отражает результирующий характер горизонтальной циркуляции вод в поверхностном слое.

Высокая солёность в губе Печенга в апреле (рис. 2) связана с влиянием баренцевоморских вод, сформировавшихся зимой в результате усиления притока высокосолёных атлантических вод и интенсивного льдообразования. На большей части значения солёности превышают 33‰, увеличиваясь по направлению к мористой части до 34,6–34,8‰. В сентябре солёность на поверхности губы Печенга несколько ниже, изменяясь от 32,4‰ в южной части до 33,6‰ в мористой области. И в апреле, и в сентябре, когда реки находятся в фазах зимней и летне-осенней межени, пресный сток в губу Печенга резко сокращается.

Важно отметить, что губа Печенга находится в зоне влияния приливно-отливных явлений, которые здесь ярко выражены. Они носят полусуточный характер, а их высота достигает 3, а иногда и 4 м. Влияние приливно-отливных явлений проявляется, главным образом, в изменении гидрологических условий в течение суток. Прежде всего это отражается на особенностях пространственного распределения температуры и солёности. В фазе прилива практически вся акватория губы заполняется солёной и холодной водой Баренцева моря. В фазе отлива южная часть исследованной акватории губы занята более опреснённой и тёплой водой.

В придонном слое (рис. 3) температура воды ниже, а солёность выше, чем на поверхности. Изменение температуры во времени сохраняет те же тенденции — постепенный прогрев воды от весны к осени. Солёность в придонном слое, в отличие от поверхно-

сти, меняется во времени относительно мало, уменьшаясь в среднем от 34,3‰ в апреле до 33,9‰ в сентябре. Пространственное распределение температуры и солёности определяется в целом особенностями рельефа дна. Наиболее холодные и солёные воды характеризуют самые глубоководные участки губы.

Особенности внутригодовых изменений температуры и солёности в толще воды формируют межсезонные отличия вертикальной плотностной структуры вод (рис. 4). В апреле на разрезе, выполненном вдоль оси губы и примыкающей части открытого моря, четко прослеживается наличие пикноклина, совмещающего в себе и гало- и термоклин и разделяющего водную толщу на две части (рис. 4). Верхняя граница пикноклина на акватории губы приурочена к глубине ~10 м и заглубляется до ~25 м в ее устьевой части. Соответственно располагается и его нижняя граница от ~25 м до ~35 м. В галоклине в пределах ~10 м солёность увеличивается на 0,20–0,25‰. Над галоклином вода менее солёная и лёгкая, а под ним расположена достаточно однородная толща воды, солёность которой превышает 34,25‰.

Положение термоклина практически полностью совпадает с положением галоклина. В его пределах температура меняется на ~0,2 °С. При этом в верхнем слое над термоклинном она минимальна (менее 1,8 °С) и увеличивается с глубиной. Под термоклинном температура воды по вертикали почти не меняется и составляет около 2 °С.

Подобное распределение температуры и солёности в толще воды в губе Печенга определяется вертикальной структурой баренцевоморских вод, дважды в сутки устремляющихся в губу во время прилива. Если зимой вследствие осенне-зимнего конвективного перемешивания параметры выравниваются во всей толще воды от поверхности до дна, то в начале весны происходит формирование сезонного пикноклина, обусловленное существенным уменьшением солёности в тонком верхнем слое. В этом слое, изолированном от ниже лежащих вод, происходит и понижение температуры. Возможно, некоторое опреснение и выхолаживание поверхностных вод происходит под влиянием ранне-весенних процессов (тая-



Рис. 3. Распределение температуры $T^{\circ}\text{C}$ (а, в, д) и солёности $S\text{‰}$ (б, г, е) в придонном слое.

а, б — апрель 2013 г.; в, г — июнь 2014 г.; д, е — сентябрь 2013 г.

ние снега на побережье, выпадение атмосферных осадков).

В июне, как и в апреле, пикноклин четко выражен (рис. 4). Заметный прогрев и значительное опреснение поверхностных вод на всем протяжении исследованной акватории губы привели к резкому увеличению градиентов в пикноклине, который повсеместно располагается близко к поверхности на глубине около 10 м. В его пределах на протяжении всего нескольких метров температура воды снижается не менее, чем на 2°C (от 6 до $4-4,5^{\circ}\text{C}$), а солёность увеличивается на $1-2\text{‰}$ (от 31–32 до $33-34\text{‰}$). В толще воды под пикноклином солёность сохранилась на том же уров-

не, что и в апреле, а температура увеличилась до $3,5-4^{\circ}\text{C}$.

В сентябре вертикальная структура вод в губе Печенга существенно изменилась (рис. 4). Прогретый слой воды занял значительную часть водной толщи, в которой происходит постепенное уменьшение температуры от $>11^{\circ}\text{C}$ на поверхности до $9,5^{\circ}\text{C}$ на глубине 80 м. Вследствие этого в отличие от галоклина, который, как и ранее, находится близко к поверхности, термоклин расположился значительно глубже — в слое 80–100 м. В самом термоклине на протяжении ~ 20 м по вертикали температура на акватории губы снижается на $\sim 4^{\circ}\text{C}$.

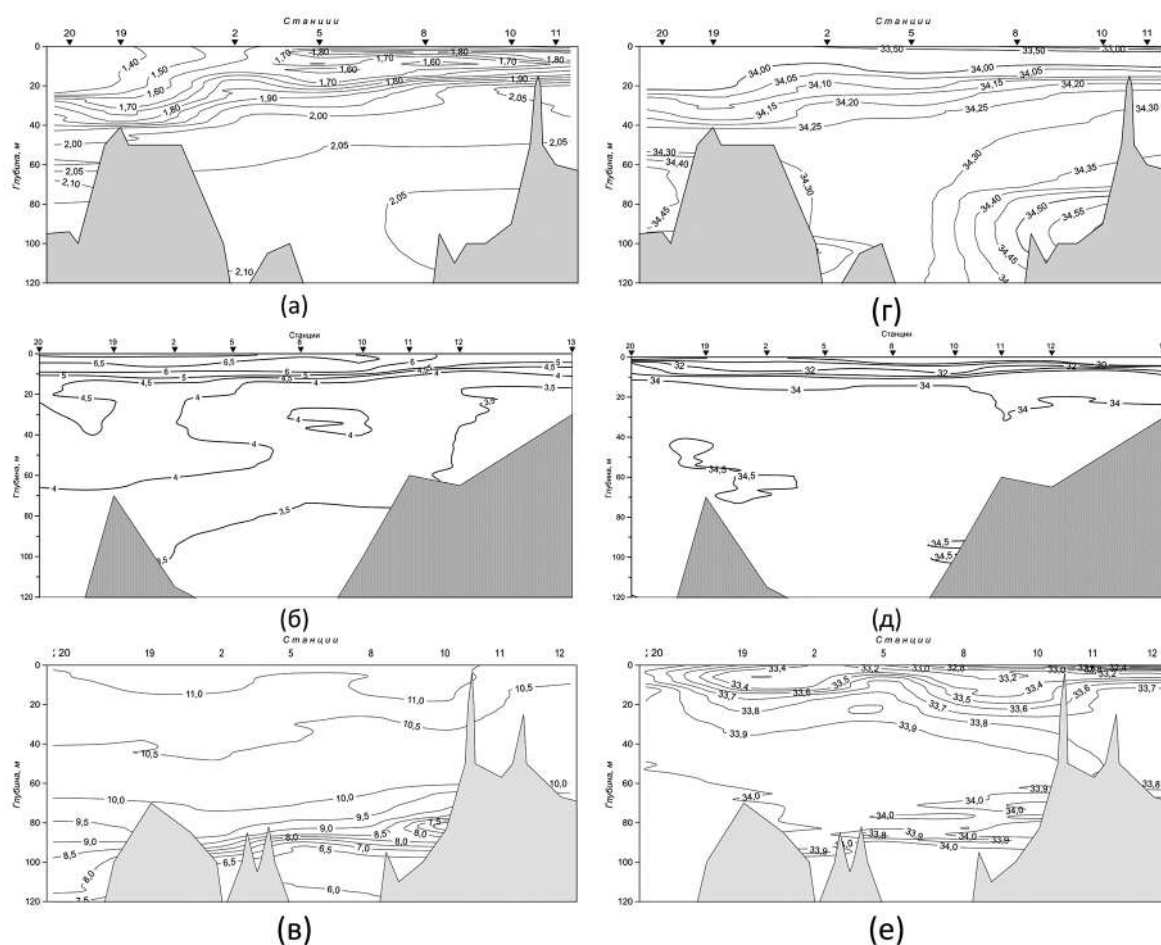


Рис. 4. Распределение температуры $T^{\circ}\text{C}$ (а, б, в) и солёности $S\text{‰}$ (г, д, е) на разрезе вдоль оси губы Печенга в апреле (а, г), июне (б, д) и сентябре (в, е)

Следует отметить, что в сентябре вся толща воды значительно менее соленая, чем в апреле. Наиболее сильно опреснён верхний десяти-пятнадцатиметровый слой воды над галоклином, зачастую до $33,2\text{--}33,4\text{‰}$. В пределах галоклина солёность резко увеличивается и достигает значений $33,8\text{--}33,9\text{‰}$ на нижней границе. Под галоклином солёность в большинстве случаев не превышает $34,0\text{‰}$, лишь в придонных слоях она увеличивается до $34,2\text{--}34,3\text{‰}$.

Содержание кислорода в воде и его пространственное распределение обусловлено и физическими (температура, солёность), и биологическими факторами (интенсивность продукционно-деструкционных процессов). Очень высокое содержание кислорода в губе ($9\text{--}10,5$ мл/л) на поверхности отмечено в апреле (рис. 5). Полагаем, что, наряду с низ-

кой температурой, этому способствует преобладание продукционных процессов, сопровождающихся значительным пересыщением вод растворённым кислородом (до 136%).

Сезонный прогрев поверхностных вод вызывает неизбежное уменьшение концентрации растворённого кислорода до $6,9\text{--}7,1$ мл/л и до $6,1\text{--}6,4$ мл/л в июне и сентябре соответственно, относительное содержание становится ниже 100% . Этому способствует снижение интенсивности фотосинтеза в поверхностном слое, а зачастую, и некоторое преобладание деструкционных процессов — в июне повсеместно, а в сентябре на достаточно обширной площади. В июне во всем верхнем слое до пикноклина деструкция превышает продукцию. Процесс фотосинтеза, по-видимому, ингибируемый на поверхности круглосуточной инсоляцией в условиях Заполярья, активизирует-

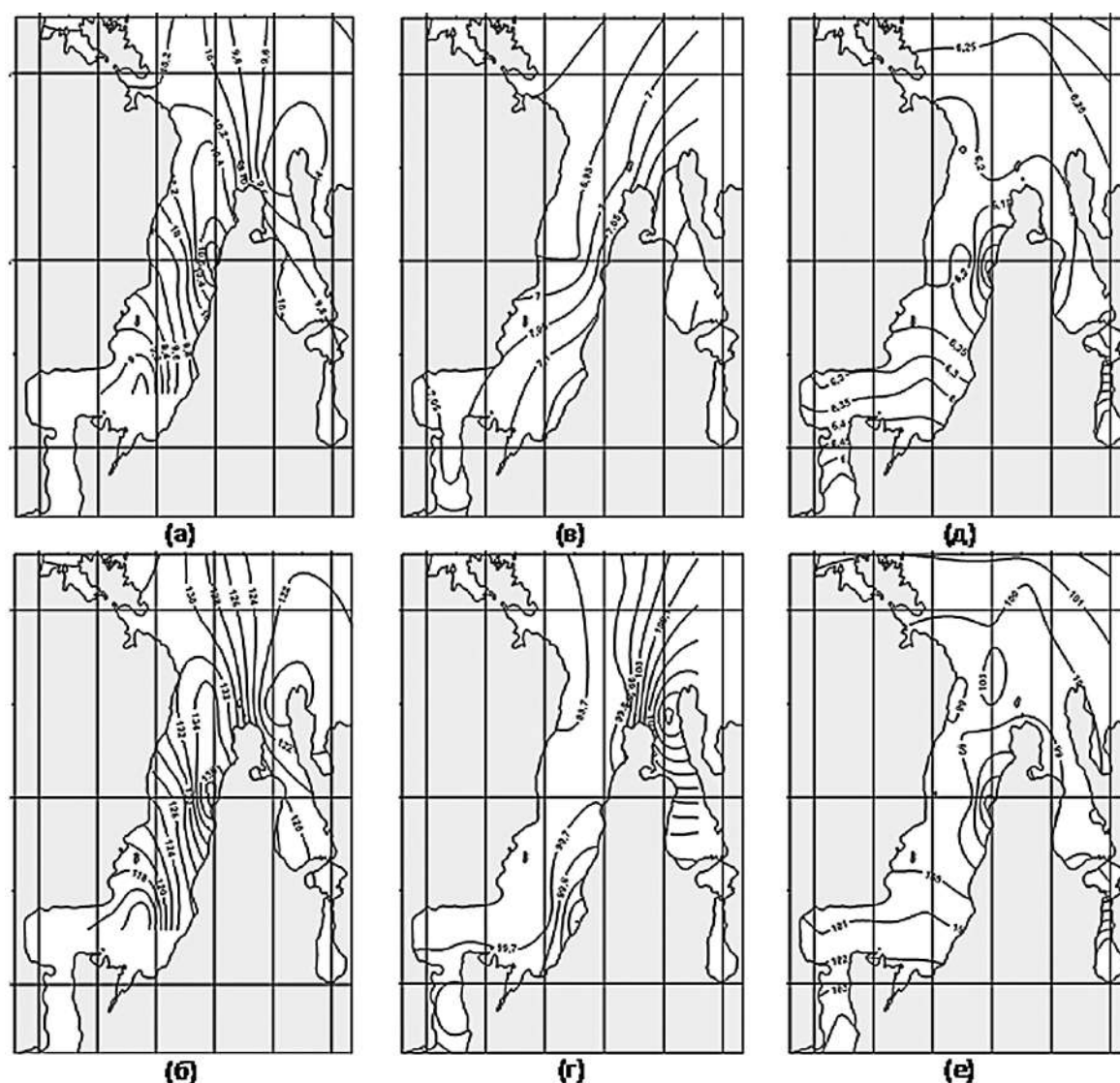


Рис. 5. Распределение кислорода мл/л (а, в, д); % (б, г, е) на поверхности.
а, б — апрель 2013 г.; в, г — июнь 2014 г.; д, е — сентябрь 2013 г.

ся под поверхностью непосредственно в пикноклине в слое от 3–7 м до 10–15 м (рис. 6).

В придонном слое сохраняется высокое содержание кислорода и его пространственное распределение согласуется с особенностями рельефа дна, снижаясь на наиболее глубоководных участках (рис. 7). Подчиняясь сезонному ходу, концентрация кислорода уменьшается по мере прогревания придонных вод от ранней весны к осени.

Выше всего содержание кислорода у дна наблюдается в апреле и, как правило, превышает 8 мл/л. Как и на поверхности, придонные воды повсеместно пересыщены кислородом,

величина которого изменяется в диапазоне 109–114%. В этом слое, изолированном от контакта с атмосферой, подобное пересыщение, в отличие от поверхности, связано преимущественно с уменьшением растворимости кислорода при повышении температуры. Продукционные процессы здесь исключены из-за неблагоприятных условий освещенности. Судя по прозрачности вод, эвфотический слой не превышает 35 м.

В течение года от весны к осени количество кислорода в придонном слое постепенно снижается, но продолжает сохраняться на достаточно высоком уровне. Так в июне концен-

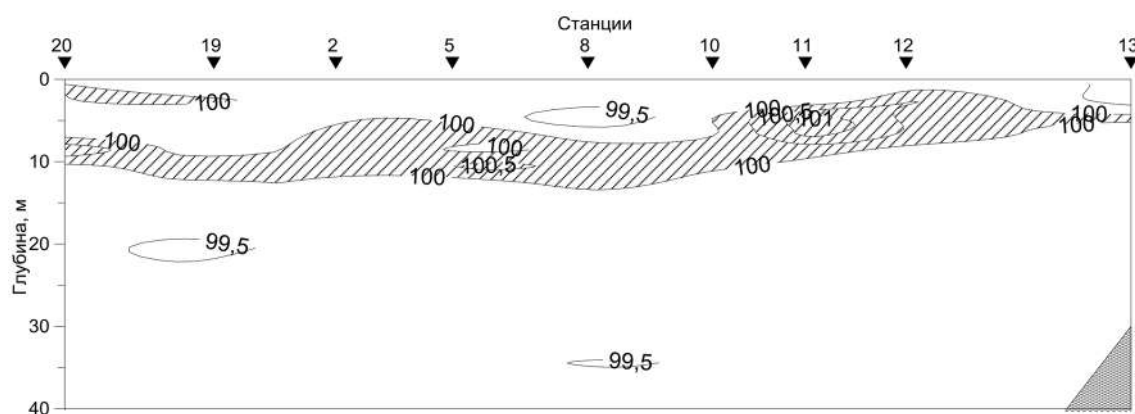


Рис. 6. Распределение кислорода (%) вдоль оси губы Печенга в июне 2014 г. Заштрихован слой с насыщением растворенного кислорода >100%

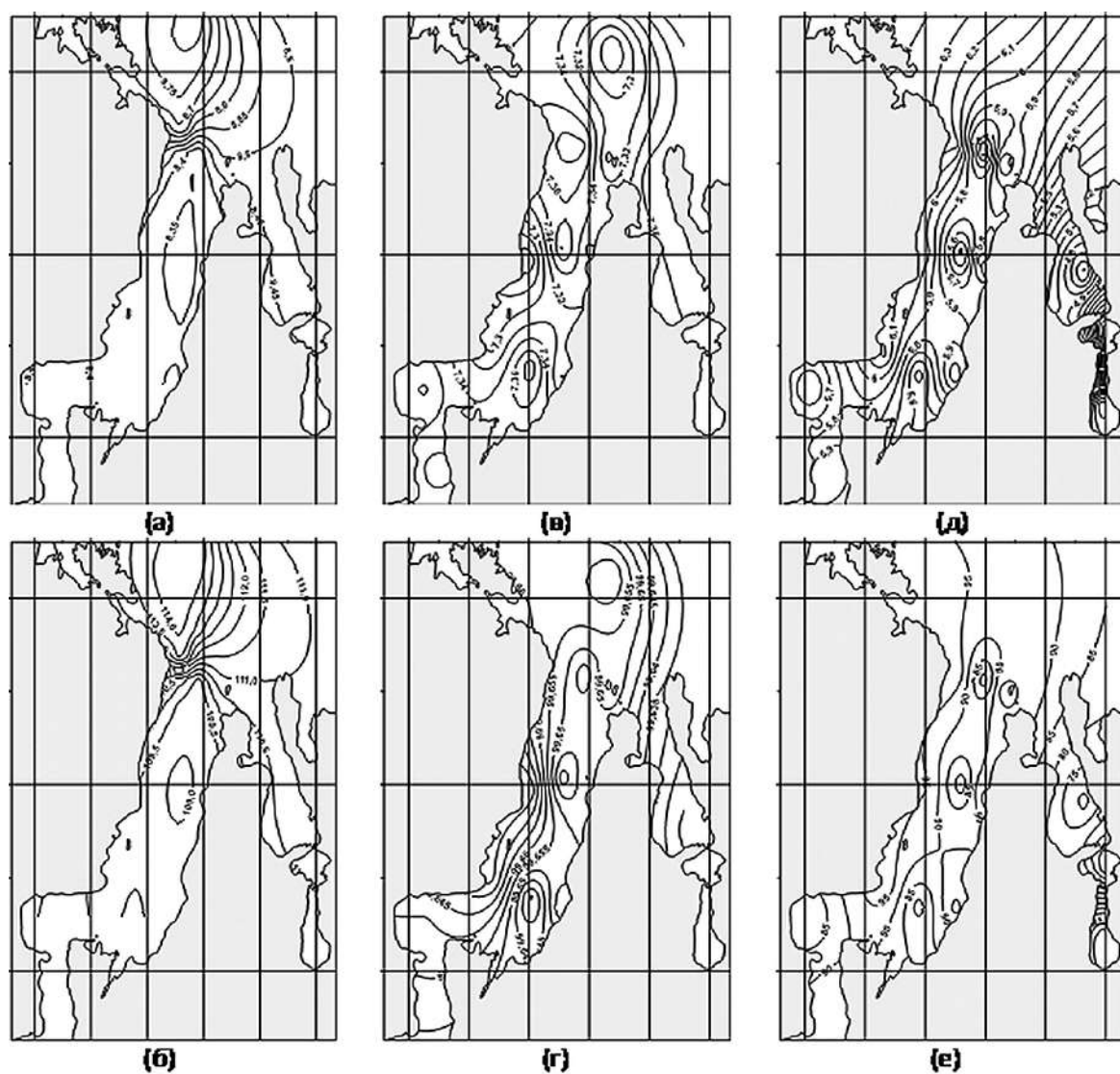


Рис. 7. Распределение кислорода мл/л (а, в, д); % (б, г, е) в придонном слое.

а, б — апрель 2013 г.; в, г — июнь 2014 г.; д, е — сентябрь 2013 г.

трация кислорода составляет не менее 7 мл/л, а в сентябре — не менее 5,5 мл/л. При этом в обоих случаях у дна водная толща недонасыщена кислородом, повсеместно преобладают деструкционные процессы.

Важнейшими показателями состояния среды обитания гидробионтов в условиях промышленного развития марикультуры наряду с кислородом является содержание ряда гидрохимических составляющих. Основной экологической проблемой садкового рыбоводства может стать эвтрофикация водоема и смена его статуса [Паршуков, 2011]. По данным С. П. Китаева и соавторов [2006], при выращивании каждой тонны форели в водоем поступает около 8 кг фосфора и 70 кг азота. Выявлено, что негативные последствия взаимодействия садковых хозяйств с окружающей средой проявляются в изменении концентрации общего и минерального фосфора и соединений азота — аммонийного, нитритного и нитратного [Паршуков, 2011; Рыжков, 2012; Китаев С. П. и др., 2006].

В сентябре 2013 г. на исследованной акватории Печенгской губы была выполнена полномасштабная гидрохимическая съемка, к сожалению, впервые и только единожды. К периоду настоящих работ в губе Печенга уже много лет функционировали садковые комплексы, поэтому фоновые гидрохимические показатели (до зарыбления садков) среды отсутствуют. В этом случае предлагается сравнивать характеристики непосредственно у садков и в контрольной зоне, находящейся от них на расстоянии около 500 м [Рыжков, 2012]. В силу установленного запрета (санитарный режим), не удалось провести исследования непосредственно у садков. Пришлось ограничиться данными, полученными в районах, максимально приближенных к расположению садковых комплексов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на исследованной акватории содержание минеральных форм биогенных элементов в поверхностных водах относительно невелико (рис. 8).

Концентрация фосфора на большей части губы менее 0,25 мкМ. На общем фоне резко выделяется область у восточного берега губы, где концентрация фосфора практически удваивалась и достигала 0,4 мкМ. Именно здесь

отмечено самое небольшое насыщение воды кислородом (~95%) и наибольшее содержание органического фосфора (~0,6 мкМ). Таким образом, при интенсивном окислении органического фосфора его количество остается высоким. Это указывает на то, что поступление органического фосфора в воду преобладает над его расходом в процессе деструкции. Вероятнее всего, это связано с функционированием находящегося в этом районе садкового хозяйства.

Характер пространственного распределения для всех форм минерального азота в целом сходен. Чрезвычайно низки концентрации нитритов и нитратов. Концентрация азота нитритов увеличивается от 0,06 мкМ на севере района до 0,12 мкМ — на юге, а азота нитратов соответственно от 0,4 мкМ до 1,4 мкМ. Большая часть суммы минеральных форм азота (в большинстве случаев 60–80%) приходится на долю аммонийного. Его содержание в несколько раз превышает содержание нитритного и нитратного азота. В южной части района, в месте расположения одного из садковых комплексов отмечено резкое локальное повышение концентрации аммонийного азота, где она достигает 9,7 мкМ по сравнению с 0,5–2,5 мкМ на остальной акватории. Накопление нестойких аммонийных соединений азота в воде может быть лишь при условии значительного преобладания его поступления над расходом. Причем зафиксированное высокое количество аммонийного азота — это результат, характеризующий непосредственно период исследований, т.к. в противном случае аммоний при наличии кислорода быстро бы окислился до нитритов и нитратов в процессе нитрификации. Таким образом, можно предположить, что наблюдаемое локальное увеличение аммонийного азота, а также его количественное доминирование в сумме минеральных форм азота на большей части губ Печенга и Амбарная связано с развитием промышленной аквакультуры.

Содержание кремния на большей части исследованной акватории достаточно однородно, изменяясь в пределах 0,8–1,2 мкМ. Отмечено увеличение концентрации в южной узкой части акватории до 2–5 мкМ.

Можно предположить, что зимний запас биогенных элементов в эвфотическом слое за-

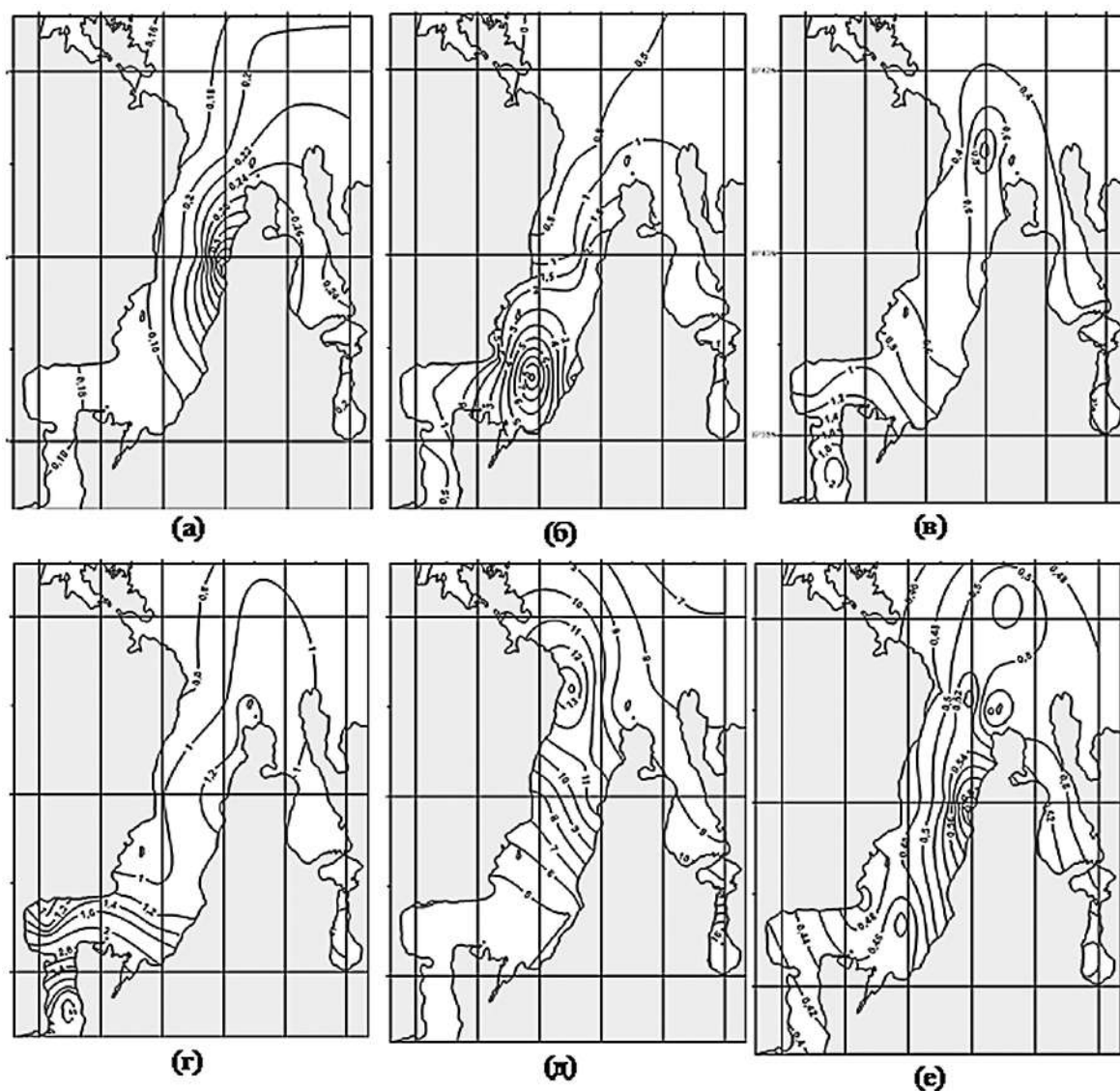


Рис. 8. Распределение на поверхности биогенных элементов (μM): минерального фосфора (а), аммонийного (б), нитратного (в) азота, кремния (г), органического азота (д) и органического фосфора (е). Сентябрь 2014 г.

метно выше и большая его часть утилизируется фитопланктоном в начале вегетационного периода, когда наличие четкой вертикальной стратификации способствует активизации продукционных процессов в верхнем, хорошо освещенном слое воды.

Подавляющая часть валовых количеств биогенных элементов в поверхностном слое приходится на долю их органических форм — почти повсеместно более 50%. Содержание органического фосфора практически вдвое выше минерального, а простран-

ственное изменение его находится в одной фазе с минеральным. Наблюдается увеличение концентрации в восточном направлении с максимумом в районе расположения одного из садковых комплексов у восточного побережья губы Печенга. Обращает на себя внимание тот факт, что здесь, несмотря на самое большое содержание органического фосфора, достаточно резко уменьшается его доля в валовом количестве — до величин менее 65% по сравнению с >70% на остальной акватории.

Снижение доли органического фосфора в валовом количестве при одновременном росте его концентрации, с одной стороны, может свидетельствовать об интенсивной минерализации фосфорсодержащих органических соединений. С другой стороны, это может быть связано с активным поступлением минерального фосфора в результате искусственного разведения рыбы в садковом комплексе.

Концентрация органического азота на большей части поверхностного слоя, зачастую, в десятки раз превышает концентрацию его минеральных форм (рис. 8). Распределение органического азота находится в противофазе с распределением его минеральных форм, что

вполне логично. Никаких ярко выраженных экстремумов не выявлено. Можно отметить, что существует область повышенных концентраций (более $11 \mu\text{M}$) на выходе из губы Печенга, к северу и югу от которой содержание органического азота постепенно уменьшается. Повсеместно органический азот составляет подавляющую часть валового количества, не менее 70%.

В придонном слое содержание биогенных элементов в целом выше, чем на поверхности (рис. 9).

На большей части исследованной акватории губы концентрация фосфора составляла $0,4\text{--}1 \mu\text{M}$, аммонийного азота — $2\text{--}6 \mu\text{M}$, нитрат-

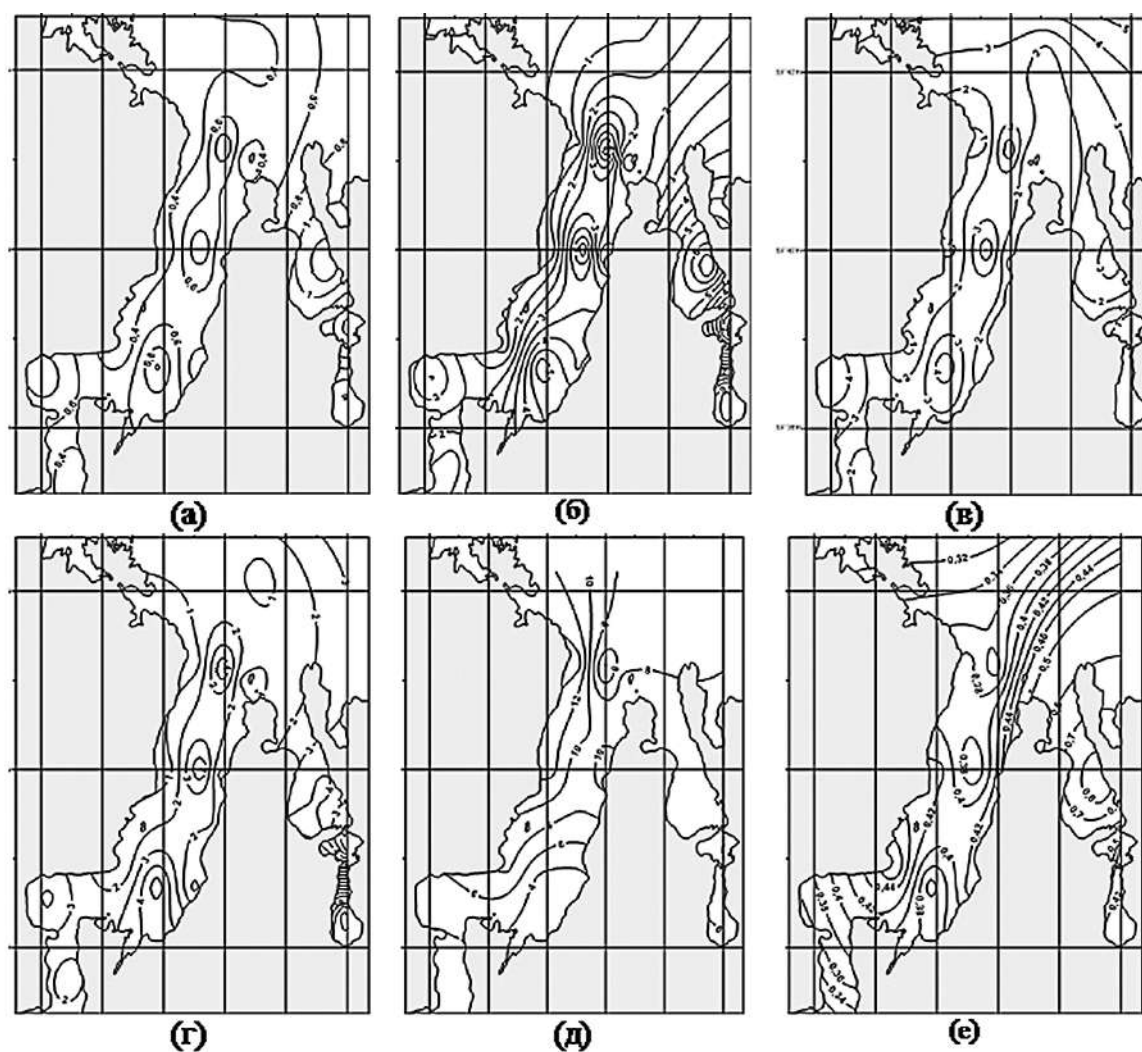


Рис. 9. Распределение биогенных элементов (μM) в придонном слое: минерального фосфора (а), аммонийного азота (б), нитратного азота (в), кремния (г), органического азота (д) и органического фосфора (е). Сентябрь 2013 г.

ного азота — $1\text{--}4\text{ }\mu\text{M}$, кремния — $2\text{--}4\text{ }\mu\text{M}$. Пространственное распределение их вполне закономерно согласуется с распределением кислорода и органических форм биогенных элементов и четко связано с особенностями рельефа дна. Наименьшие величины характеризуют прибрежные мелководные области и увеличиваются по направлению к центральной части губы, где отчетливо выделяются локальные ячейки, приуроченные к придонному слою относительно глубоководных котловин. Интенсивное окисление поступающего сюда органического вещества сопровождается заметным увеличением фосфатов и всех минеральных форм азота при существенном снижении аб-

солютного и относительного содержания кислорода и органических форм фосфора и азота. Здесь же происходит накопление кремния.

Помимо описанных выше гидролого-гидрохимических параметров, важнейшей характеристикой водной среды служит концентрация растворенного органического углерода (РОУ), заметно реагирующего на любое воздействие на морскую среду. Измерения растворенного органического углерода проводились в период 2011–2014 гг. (наиболее подробно в 2013–2014 гг.). Это позволило проанализировать и временную, и пространственную изменчивость содержания РОУ (рис. 10, табл. 1).

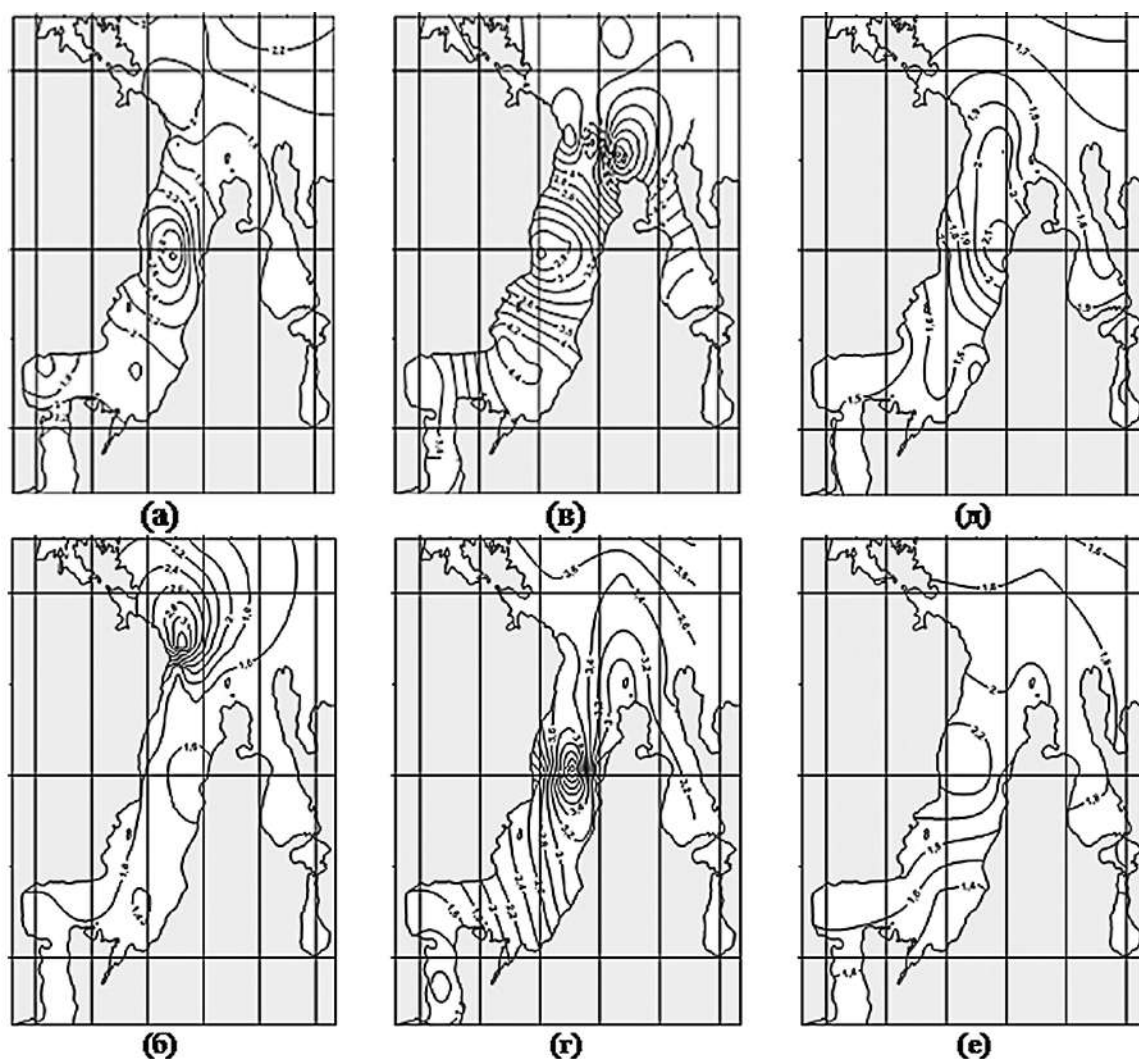


Рис. 10. Распределение растворенного органического углерода (мг/л) в поверхностном (а, в, д) и придонном (б, г, е) слое.

а, б — апрель 2013 г.; в, г — июнь 2014 г.; д, е — сентябрь 2013 г.

Таблица 1. Пределы временных изменений содержания РОУ на акватории губы Печенга

Месяц	Год	РОУ мг/л	
		поверхностный слой	придонный слой
Апрель	2012	1,3–2,5	–
	2013	1,5–3,2	1,4–3,5
Июнь	2014	2,5–5,9	1,1–4,8
Сентябрь	2012	4,7–286	223–492
	2013	1,2–2,3	1,1–2,4
Ноябрь	2011	23–27	–

В связи с отсутствием показателей РОУ в водной толще до установки садковых хозяйств и их зарыбления, в качестве фоновой характеристики принята наименьшая концентрация органического углерода, наблюдаемая за весь анализируемый период. Это содержание РОУ, отмеченное в апреле 2012 г. и в сентябре 2013 г. Таким образом, условно принято, что фоновая концентрация растворенного органического углерода находится в пределах 1,1–2,5 мг/л.

Результаты исследований 2011–2012 гг., несмотря на их малочисленность, оказались очень интересными. Так, в ноябре 2011 г. содержание растворенного органического углерода было чрезвычайно высоко, на порядок выше фоновых. В сентябре 2012 г. оно также было аномально высоким, в большинстве случаев более, чем на два порядка выше, чем в апреле того же года.

В апреле 2013 г. концентрация РОУ в поверхностном слое была того же порядка, что и в апреле 2012 г. (табл. 1, рис. 10). В центральной части губы наблюдается локальное увеличение содержания растворенного органического углерода до 3 мг/л. В придонном слое концентрация РОУ на большей части губы была однородна и, как правило, меньше, чем на поверхности. Заметное увеличение (до 3–3,2 мг/л) отмечено на выходе из губы Печенга у м. Палтусово Перо. В начале лета (июнь 2014 г.) концентрация растворенного органического углерода на поверхности была примерно в два раза выше, чем в апреле. Значительным увеличением содержания РОУ (до 4,5–5 мг/л) характеризовались участки

на выходе из губы в районах м. Палтусово Перо и м. Романова, а также на юге исследованной акватории у м. Девкин (рис. 10). По сравнению с поверхностью количество РОУ в придонном слое в целом заметно ниже; резкое увеличение концентрации до 4,6–4,8 мг/л наблюдается в центральной области на глубине более 100 м.

В сентябре 2013 г. и на поверхности, и в придонном слое содержание растворенного органического углерода одного порядка. На поверхности незначительное повышение концентрации РОУ отмечается в центральной части акватории у восточного берега губы. У дна несколько повышенное содержание РОУ приурочено к наиболее глубоководному участку (рис. 10).

Суммируя результаты анализа пространственной изменчивости содержания в воде растворенного органического углерода, можно констатировать, что все участки локального увеличения количества РОУ на поверхности и у дна непосредственно в пределах губы располагаются в районах расположения садковых комплексов, т.е., вероятнее всего, накопление органического вещества — следствие функционирования садковых хозяйств. За пределами губы повышение концентрации РОУ в прибрежных областях связано, вероятно, с антропогенным береговым загрязнением.

Аномально высокие концентрации РОУ, отмеченные в ноябре 2011 г. и в сентябре 2012 г., безусловно, тесно связаны с деятельностью ОАО «Русский лосось» и являются результатом внештатных ситуаций, возникающих в процессе товарного выращивания лососевых рыб.

Временные изменения количества растворенного органического углерода обусловлены сменой сезонов и связаны в большой степени с интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. В апреле фоновая концентрация РОУ относительно невысока, т.к., несмотря на интенсивный фотосинтез, в начале вегетационного периода накопление органического вещества еще не произошло. Оно проявилось в июне, когда средние концентрации РОУ и на поверхности, и у дна более чем в полтора раза выше, чем ранней весной. В дальнейшем преобладание деструкционных

процессов приводит к уменьшению органического вещества и порядок величин РОУ в сентябре становится близок к апрельским.

Важнейшим показателем среды обитания гидробионтов служит содержание в воде тяжелых металлов, характеризующее уровень загрязнения вод. Анализ полученных результатов показал, что какой-либо закономерности в пространственном распределении тяжелых металлов не прослеживается и повсеместно измеренные значения оказались значительно ниже предельно-допустимых (табл. 2).

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях значительно выше, зачастую в десятки и даже сотни раз, чем в водной толще (табл. 3). В ряде случаев их концентрация существенно превышает ПДК. В сентябре 2013 г. высокое содержание меди отмечено в губе Амбарная в бухте Пайтахомина (ст. 1–13). В губе Печенга у мыса Толстик (ст. 2–13) отмечено большое содержание не только меди, но и никеля. В июне 2014 г. в том же районе (ст. 5–14) помимо меди и никеля, очень велика концентрация хрома. Чрез-

Таблица 2. Содержание металлов (мкг/л) в воде Варангер-фьорда в сентябре 2013 г.

Значение (n=26)	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	Fe
Минимальное	0,20	< 0,02	0,14	0,02	0,11	1,69
Максимальное	1,23	0,02	3,12	0,17	2,50	16,6
Среднее	0,65	–	0,53	0,07	0,39	6,20
ПДК*	5	70 для Cr ³⁺ 20 для Cr ⁶⁺	10	10	10	50

* Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде согласно «Нормативам качества воды...» [2011].

Таблица 3. Содержание металлов (мкг/г сухой массы) в донных отложениях Варангер-фьорда

Место отбора	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	Fe
<i>Сентябрь 2013 г.</i>						
Губа Амбарная, бухта Пайтахомина (ст. 1–13)	2,34	52,77	19,14	0,19	19,78	5940
Губа Печенга, м. Толстик (ст. 2–13)	12,6	64,1	107,5	0,10	37,0	39500
Г. Печенга, м. Сибруниemi (ст. 3–13)	6,53	8,42	8,37	0,07	5,16	2040
П-ов Немецкий, м. Ристиниеми (ст. 4–13)	3,79	7,10	11,38	0,04	2,65	4690
М. Хирвасниemi (ст. 5–13)	1,52	5,70	9,38	0,03	2,82	2640
<i>Июнь 2014 г.</i>						
Губа Амбарная, Финский причал (ст. 1–14)	40	9,2	19,4	0,11	3,6	7556
Губа Печенга, м. Ристиниеми (ст. 2–14)	38	5,9	14,6	0,05	2,2	8995
Губа Печенга, бухта Девкина Заводь, Береговая база (ст. 3–14)	123	167	122	0,22	116	39463
Губа Печенга, бухта Девкина Заводь, 2-й причал (ст. 4–14)	33	8,9	16,9	0,07	6,7	9875
Губа Печенга, м. Толстик (ст. 5–14)	126	90	147	0,21	48	56985
Губа Малая Волоковая, Мыс Хирвасниemi (ст. 6–14)	39	11,3	14,7	0,05	2,5	10121
ДК*	100	36	35	0,80	85	–

* Допустимые уровни концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях в соответствии с зарубежными нормами (Neue Niederlandische Liste. Altlasten Spektrum 3/95).

вычайно высокое содержание меди, никеля и хрома, превышающие ПДК, характеризует также район у Береговой базы в бухте Девкина Заводь (ст. 3–14). Отмеченное повышение концентраций металлов, по-видимому, обусловлено антропогенной нагрузкой на водоём — последствиями добычи медно-никелевых руд и влиянием деятельности горно-обогатительного комбината «Печенганикель», расположенного в г. Заполярный на притоках реки Печенга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог изложенному, следует отметить значительную сезонную изменчивость температуры и солености. На поверхности температура по сезонам меняется почти на порядок, а в придонном слое — в разы. Изменение солености не так явно, как температуры и проявляется в основном на поверхности. Вполне ощутимо изменение растворенного кислорода, концентрация которого уменьшается от весны к осени параллельно с ростом температуры. Однако в течение всего времени вся толща воды хорошо аэрирована, содержание кислорода даже в придонном слое составляет в среднем более 5 мл/л при насыщении около 90%. Количество растворенного органического углерода также подвержено сезонным изменениям, которые связаны в большой степени с интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. Анализ пространственного распределения анализируемых параметров показал, что резкое локальное увеличение на общем фоне концентрации минерального и органического фосфора, аммонийного азота и растворенного органического углерода наблюдаются в районах расположения садковых комплексов. Это позволяет предположить, что активное развитие промышленной аквакультуры на акватории губы Печенга в той или иной мере сказывается на величине некоторых гидрохимических параметров и растворенного органического углерода. К сожалению, отсутствие материалов исследований непосредственно вблизи установок марикультуры по упомянутым выше причинам обедняет полученные данные и влияет на объективность выводов.

Тяжелые металлы в воде находятся на уровне значительно ниже ПДК, однако донные

отложения вблизи мыса Толстик загрязнены никелем и медью и в меньшей степени хромом и свинцом. Причиной высоких концентраций металлов, скорее всего, служит влияние горно-обогатительного комбината «Печенганикель», расположенного в г. Заполярный на притоках реки Печенга.

В целом следует признать, что выбор губы Печенга для садкового выращивания лосося довольно удачен. Дважды в сутки приливы приносят свежую воду Баренцева моря, а отливы уносят продукты метаболизма. Но даже это не спасает от накопления остатков корма и продуктов жизнедеятельности объектов аквакультуры в придонном слое, особенно, непосредственно под садками. Деструкция избыточного количества органического вещества приводит к возрастанию азотной и фосфорной нагрузки, возникновению анаэробных условий, что пагубно сказывается на качестве окружающей среды [Neylor et al, 2000, 2001; Beveridge, 2004; Grøttum, Beveridge, 2010]. При длительной эксплуатации садкового хозяйства под садками на дне образуется пятно «выжженной земли», которое надолго выпадает из участия в продукционно-деструкционных процессах экосистемы фьорда.

ЛИТЕРАТУРА

- Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П. 2006. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 39 с.
- Климат морей. Режим доступа: <http://esimo.ru/portal/portal/esimo-user/services/climate>. 29.03.2017.
- Методические указания. 2006. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии. НПО «Тайфун». 36 с.
- Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. 2011. М. Изд-во ВНИРО. 257 с.
- Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). 1978. Том. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометеиздат, 147 с.
- Паршуков А. Н. 2011. Микробиоценоз радужной форели в садковых хозяйствах Карелии. Дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск. 182 с.

- Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана.* 2003. Под ред. Сапожникова В. В. М.: Изд-во. ВНИРО. 202 с.
- Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры.* 2004. Под ред. Агатовой А. И. М.: Изд-во. ВНИРО 123 с.
- Рыжков Л. П.* 2012. Способ оценки влияния садковой аквакультуры на состояние водной экосистемы. А.с. 2 447 435. Б.И. № 10. 10 с.
- Beveridge, M.* 2004. Cage Aquaculture. Regional reviews and global overview. Third edition. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 368 pp.
- Grøttum J. A., Beveridge M. C.* 2010. A review of cage culture: northern Europe // *Fao Fisheries Technical Paper*. № 498. Rome. P. 135–163.
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M.* 2000. Effect of aquaculture on the world fish supplies // *J. Nature*. № 405. P. 1017–1023.
- Neue Niederlandische Liste.* Altlasten Spektrum 3/95.
- REFERENCES**
- Kitaev S. P., Il'mast N. V., Sterligova O. P.* 2006. Metody otsenki biogennoj nagruzki ot forelevykh ferm na vodnye ehkositemy [Methods for estimating the nutrient load from trout farms to aquatic ecosystems]. Petrozavodsk: KarNTS RAN. 39 s.
- Metodicheskie ukazaniya.* 2006. Opredelenie massovoi doli metallov v probakh pochv i donnykh otlozhenij. Metodika vypolneniya izmerenij metodom atomno-absorbtsionnoj spektrofotometrii [Determination of the mass fraction of metals in samples of soils and bottom sediments. Method for performing measurements by atomic absorption spectrophotometry]. NPO «Tajfun». 36 s.
- Normativy kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimykh kontsentratsij vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyajstvennogo znacheniya* [Water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance]. 2011. M.: Izd-vo VNIRO. 257 s.
- Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971–1975 gg. i ves' period nablyudenij).* Tom. 1. Kol'skij poluostrov. 1978. [The basic data of surface water (the Kol'skij peninsula, 1971–1975)]. L.: Gidrometeoizdat. 147 c.
- Parshukov A. N.* 2011. Mikrobiotsenoz raduzhnoj foreli v sadkovykh khozyajstvakh Karelii [Microbiocenosis of rainbow trout in cage farms of Karelia]. Diss. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk. 182 s.
- Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ehkologicheskom monitoringe rybokhozyajstvennykh vodoemov i perspektivnykh dlya promysla rajonov Mirovogo okeana* [Guidelines for the chemical analysis of marine and fresh water in the environmental monitoring of fishery water bodies and promising for the fishing areas of the World Ocean.]. 2003. Pod red. Sapozhnikova V. V. M.: Izd. VNIRO. 202 s.
- Rukovodstvo po sovremennym biokhimicheskim metodam issledovaniya vodnykh ehkositem, perspektivnykh dlya promysla i marikul'tury* [Guidelines for modern biochemical methods for studying aquatic ecosystems promising for fisheries and mariculture]. 2004. Pod red. Agatovoj A. I. M.: Izd. VNIRO. 123 s.
- Ryzhkov L. P.* 2012. Sposob otsenki vliyaniya sadkovoј akvakul'tury na sostoyanie vodnoj ehkositemy [Method for assessing the impact of cage aquaculture on the state of the aquatic ecosystem]. A.s. 2 447 435. Б.И. № 10. 10 s.

*Поступила в редакцию 07.10.2016 г.
Принята после рецензии 06.03.2017 г.*

Hydrological and hydrochemical characteristics of aquatic bioresources habitat in Pechenga Bay

*V. V. Sapozhnikov, N. V. Arzhanova, A. K. Gruzevich, N. M. Zozulya,
S. I. Stolyarsky, N. I. Torgunova, A. M. Khramtzova*

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

Spatial and temporal variations of water temperature and salinity, concentrations of dissolved oxygen, biogenic elements, dissolved organic carbon (DOC) and heavy metals were studied in order to evaluate the conditions of aquatic bioresources habitat in Pechenga Bay under the pressure of intensive industrial mariculture development. The results show that commercial fish farming influences spatial and temporal distributions of ammonium, mineral and organic phosphorus and dissolved organic carbon. The concentrations of these parameters rise significantly in the proximity of cage farms. The unusually high concentrations of dissolved organic carbon registered in Pechenga Bay are most likely related to the activities of OJSC «Russky Losos» and could be the result of abnormal situations in the fish farming process. It was registered that heavy metals contents in bay waters are significantly lower than maximum allowable concentrations. High concentrations of chromium, copper, nickel, lead and iron in sediments of the bay were found in close proximity to the village of Linhammar and most likely are formed by anthropogenic factors.

Key words: Pechenga Bay, hydrochemical characteristics, biogenic elements, dissolved oxygen, dissolved organic carbon, heavy metals, mariculture, cage farming.