

**Министерство образования Московской области
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский государственный областной университет**

М.П. МАКСИМОВА, В.А. ЧУГАЙНОВА

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ
И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ.
МАРИКУЛЬТУРА**

Монография



**Москва
2014**

УДК 551.464+639. 321 (268. 46)
ББК 28.080.1
М—17

Печатается по решению кафедры
экономической и социальной географии и
Редакционно-издательского совета МГОУ

Авторы:

М.П. Максимова — профессор, д-р геогр. наук

В.А. Чугайнова — канд. хим. наук

Рецензенты:

Савенко В.С. — профессор, д-р геол.-минерал. наук, МГУ им. Ломоносова;

Дворянкин Д.А. — канд. биол. наук, СевПИПРО

Максимова, М.П.

М—17 Гидрохимический и гидрологический режим прибрежной зоны Белого моря. Марикультура: моногр. / М.П. Максимова, В.А. Чугайнова. — М.: ИИУ МГОУ, 2014. — 200 с.
ISBN 978-5-7017-2237-6

В книге представлены две практически самостоятельные части:

I часть. «Гидрохимический и гидрологический режим губ и шхерных районов Белого моря», автор — М.П. Максимова, представляет фундаментальные экосистемные исследования гидрохимического и гидрологического режима разнообразных по природным условиям губ и шхерных районов Белого моря, закономерности формирования и функционирования экосистем губ под воздействием речного стока, впадающих в них рек и смежных вод открытого моря. Произведена классификация разнотипных губ Кандалакшского и Онежского заливов по комплексу системных показателей. Исследован химический сток рек, впадающих в губы, разработана их классификация. по комплексу системных показателей. Книга основана на материалах многолетних системных экспедиционных и стационарных исследований автора, с применением математического аппарата при обработке материалов. В I часть включены разделы по структуре, гидрохимическому и гидрологическому режиму смежных с губами водами — Кандалакшского, Онежского заливов и водами открытого моря (бассейна), поскольку экосистемы губ формируются и функционируют под воздействием вод речного стока и смежных вод открытой части моря.

II часть. «Марикультура», автор — В.А. Чугайнова. Согласно «Стратегии развития аквакультуры России» (2006, 2007) и федеральной целевой программе «Повышение эффективности использования и развития ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса в 2009-2013 гг.», включая аквакультуру СевПИПРО, на основе материалов режимных экосистемных исследований губ и шхерных районов I части книги, выявлены районы потенциально пригодные по природным условиям для размещения марихозяйств культивирования промысловых видов рыб, моллюсков, водорослей, проведены целенаправленные дополнительные их обследования. Разработаны рекомендации для размещения марихозяйств, выявлены воздействия действующих марихозяйств на природные условия губ. Определены перспективы развития марикультуры в Белом море.

Книга рекомендуется для специалистов в области географии, экологии, океанологии, гидрологии, гидрохимии, геохимии, гидробиологии, специалистов по охране окружающей среды, планирования и организации марихозяйств, а также аспирантов и студентов высших учебных заведений по этим специальностям.

УДК 551.464+639. 321 (268. 46)

ББК 28.080.1

ISBN 978-5-7017-2237-6

© Максимова М.П., Чугайнова В.А., 2014

© Московский государственный областной университет, 2014

© Оформление. ИИУ МГОУ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
----------------	---

Часть I.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ

Глава 1. Изученность	13
Глава 2. Материалы, методика, систематизация и обработка материалов исследования	21
Глава 3. Физико-географическая характеристика	26
3.1. Кандалакшский залив	27
3.2. Онежский залив	32
3.3. Двинский залив	34
Глава 4. Гидрологическая характеристика	37
4.1. Гидрологическая структура и формирование водных масс. Течения и интенсивность водообмена	37
4.2. Температура воды	39
4.3. Соленость	40
Глава 5. Гидрохимический режим прибрежной зоны	42
5.1. Особенности гидрохимии губ Белого моря и условий их формирования	42
5.2. Органическое вещество	54
5.3. Первичная продуктивность. Бактериальная деструкция и сбалансированность продукционно-деструкционных процессов ОВ	61
5.3.1. Первичная продуктивность	61
5.3.2. Деструкция органического вещества и сбалансированность продукционно-деструкционных процессов	69
5.4. Кислородный режим	75
5.5. Биогенные элементы	81
5.5.1. Азот – неорганические формы	82
5.5.2. Фосфор минеральный	93
5.5.3. Органический азот и фосфор	97
Глава 6. Типизация губ Белого моря	105
Выводы	117
Заключение	123
Литература	128
Приложения	139

Часть II.

МАРИКУЛЬТУРА

Введение	145
Глава 1. Экологические условия культивирования беломорских гидробионтов	148
1.1. Культивирование водорослей	149
1.2. Культивирование мидий	160
1.3. Культивирование рыб	163
Глава 2. Влияние марикультуры на природную среду	171
Глава 3. Перспективы развития марикультуры на Белом море	178
Заключение	187
Литература	190

ВВЕДЕНИЕ

Гидрохимический и гидрологический режим прибрежной зоны Белого моря. Марикультура. Максимова М.П., Чугайнова В.А.

Книга состоит из двух частей, каждая из которых имеет самостоятельное значение: I часть Гидрохимический и гидрологический режим прибрежной зоны Белого моря, губ и шхерных районов – автор М.П. Максимова. II Часть Марикультура – автор В.А. Чугайнова.

I часть. Губы и эстуарии Севера являются экосистемами, представляющими самостоятельный научный интерес. Для губ, опресняемых речным стоком, свойственна специфичность гидрологического и гидрохимического режима, фаунистических комплексов, биопродукционных процессов и экосистемы в целом, отличных от прилегающих морских акваторий. Гидрохимическая специфика опресняемых губ наиболее ярко проявляется в интенсификации массообмена в пограничных зонах – с материком, водами открытого моря, и на границах сред (с грунтами и атмосферой), усиленном приливно-отливными течениями, а в мелководных губах и ветровым перемешиванием до дна; а также в высокой динамичности и пространственно-временной вариабельности гидрохимических характеристик, обусловленных перечисленными факторами и достаточно интенсивными биологическими и биохимическими процессами [Максимова, 1991a, Maksimova, 2003, Максимова, 2004].

Прибрежные, особенно эстуарные системы, в которых сочетается интенсивный приток и интенсивный круговорот вещества и энергии, обладает наиболее высоким биопродукционным потенциалом [Максимова, 1987б].

Губы Белого моря имеют и большое практическое значение в рыбохозяйственном отношении, в качестве мест нереста, нагула, зимовки ценных промысловых рыб, а также – зарослей водорослей и мидийных банок, имеющих промысловое значение. Губы Белого моря перспективны для промышленного разведения марикультуры – рыб, водорослей, моллюсков. Выбор и рекомендации мест размещения марихозяйств также требовали комплексного исследования океанологических условий, о которых сказано выше.

Специфика губ заключается также в максимальном антропогенном воздействии, как посредством речного стока, содержащего загрязняющие вещества поступающего в реки с водосборного бассейна, так и в результате приуроченных к ним населенных пунктов, портов и производственных комплексов, что усугубляется слабой способностью к са-

моочищению из-за преобладания низких температур, поэтому исследование губ немаловажно с природоохранных позиций [1979, 1985а, 1986а, 1987в, 1996].

Изучение системной гидрохимии разнотипных губ Белого моря имеет большое научное значение в познании экологии заливов и эстуариев, особенно слабоизученного арктического региона, а также – закономерностей формирования структуры и функционирования экосистемы Белого моря в целом, особенно существенно опресняемой речным стоком поверхностной водной массы Белого моря [Максимова, 1991а, 1991б, 2004, 2005а,б, 2012а, Maksimova, 2003].

Представленная работа основана главным образом на материалах многолетних системных исследований автора (в период 1956 –1987 гг.) – открытой части Белого моря, заливов Кандалакшского, Онежского, Двинского, многочисленных губ, а также химического стока рек, впадающих как правило в губы (*см. Литературу*).

Экспедиционные исследования 1956 г. и 1982–1984 гг. охватывали спланированными океанографическими разрезами и сеткой станций всю акваторию и толщу вод Белого моря – Бассейн, заливы Кандалакшский, Онежский, Двинский и граничную часть Горла. Планирование расположения разрезов и станции производилось с учетом морфологических, гидрологических (силой и направленностью постоянных течением), и воздействия речного стока.

Пробы воды отбирались по стандартным горизонтам: в открытом море и в заливах на горизонтах 0, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 250, метрах и придонном; в губах на горизонтах 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200 метрах и придонном).

Экспедиционные и стационарные исследования включали обширный комплекс показателей: T° , $S^{\circ}/_{\infty}$, прозрачность, цветность (для рек – мутность, ионный состав), рН, Alk, pCO_2 , кислород, биогенные элементы (органические и неорганические формы N, P), Si, органический углерод, гидробиологические показатели – хлорофилл, первичную продуктивность, биохимические – деструкцию органического вещества (БПК₁, БПК₅), что позволило оценить сбалансированность продукционно-деструкционных процессов.

Концепция системной экологии. Исследования автором Белого моря основываются на концепции системной экологии и разработанной на ее основе методологии [Максимова, 1987в, 1995, 2001, 2011, 2013б]. Моря

рассматриваются как единое целое, как организованная система, в которой тесно взаимосвязаны все ее элементы. С целью формализации взаимосвязей между компонентами морских экосистем широко использовались методы математической статистики, корреляционный (включая корреляционные матрицы), регрессионный, факторный (метод главных компонент) анализы [Максимова, 1985б] для установления факторов, определяющих, контролирующих экосистемы.

Методология проблемы определяется следующими теоретическими предпосылками, реализованными автором в исследованиях Белого моря [Максимова, 1991а,б, 2004, Maksimova, 2003], но изложенными в последствии в отдельной статье [2013б]. Моря рассматриваются как сложные открытые динамичные системы, эволюционно сбалансированные в результате комплексного взаимодействия природных процессов на определенном квазистабильном уровне. Системный подход – диалектическое единство изучения всех подсистем моря в их взаимодействии, причинно-следственной обусловленности, при необходимом выделении главных факторов, контролирующих экосистему.

Функционирование экосистемы моря выражается, прежде всего, в процессах обмена веществом и энергией со смежными системами (литосферой, атмосферой, гидросферой) и совокупностью организмов со средой обитания [Максимова, 1991а, 2004, Maksimova, 2003,]

Биогеохимический цикл углерода и сопутствующих жизненно важных элементов (азот, фосфор) наиболее ярко выражает функционирование экосистемы моря, а также отражает ее нарушения, в том числе антропогенные, поскольку углерод является самым технофильным элементом [Максимова, 1987а, 1989, 1991а, 1996].

Антропогенное нарушение экосистемы морей, прежде всего, проявляется в нарушении углеродного цикла, разбалансированности продукционно-деструкционных процессов (синтеза и деструкции органического вещества), а также на циклах сопутствующих жизненно важных элементов – азота и фосфора.

Антропогенное воздействие приводит и к интенсификации потоков вещества. Моря являются интеграторами загрязнений водосборного бассейна рек, впадающих в море, поэтому с геохимических позиций моря и реки, являющиеся основными артериями транспортировки природных и антропогенных веществ с материка, следует рассматривать как единое целое, при необходимой дифференциации природной и антропогенной составляющих химического речного стока [Максимова, 1979, 1996, 2007а, 2012б].

Таким образом, важнейшим интегральным показателем функционирования экосистемы моря является углеродный цикл, функционально связанный с карбонатной системой, кислородным режимом, биогенными элементами. Поэтому очевидно, что при экосистемных исследованиях морей (в том числе и губ) необходим вышеуказанный комплекс исследованных показателей [1991а, 2004, 2005а,б].

В I части представлены научные результаты впервые проведенных планомерных системных исследований прибрежной зоны, губ и шхерных районов Белого моря. Экосистемы опресняемых речным стоком губ Белого моря специфичны и существенно различаются по природным условиям [Максимова, 2005а, 2005б, 2012а].

В результате этих исследований установлены как общие закономерности формирования и функционирования экосистем разнотипных губ Белого моря, так и факторы, обуславливающие их различия.

Впервые произведена типизация (классификация) многочисленных чрезвычайно разнообразных губ на основе комплекса системных признаков, (с применением математического аппарата) [Максимова, 1991а]. Выделено 4 типа и 4 подтипа губ, для каждого типа и подтипа даны характеристики гидрохимического и гидрологического режима, биопродуктивности, установлены корреляционные связи компонентов экосистемы и факторы их определяющие, контролирующие экосистему. Резкие типовые отличия свойственны прежде всего губам Кандалакшского залива и мелководного Онежского залива.

Фьордовые губы Кандалакшского залива узкие, глубоко врезанные в сушу, сравнительно глубокие, их воды стратифицированы, в летний период пикноклин на глубине 10-15 м. Прозрачность достигает 8-10 м, слой эффективного фотосинтеза 10-15м. В летний период в фотическом слое, выше пикноклина нередко наблюдается истощение минеральных форм биогенных элементов.

Губы Онежского залива мелководны, особенно в южной части залива, невелики по протяженности, открыты, для них характерна пониженная соленость, гомотермия, низкая прозрачность, гидрохимическая гомогенность по вертикали, биогенные элементы летом не истощаются.

Необходимым этапом явилось исследование химического состава и стока многочисленных рек, включая средние и малые, впадающих в Белое море, преимущественно в губы [Максимова, 1963а, 1963б, 1967а, 1967б, 1991а]. Установлены закономерности формирования химического состава речных вод в зависимости от физико-географических и почвенно-геологических характеристик водосборного бассейна рек [Максимова, 1963а, 2005, 2007а]. Произведена классификация рек, на основе

большого комплекса системных признаков [Максимова, 1982, 1983а].

При обработке материалов использовались – методы математической статистики, корреляционный анализ (включая матричную корреляцию), регрессионный и факторный анализ (метод главных компонент).

Выполненные исследования основаны на концепции системной экологии, рассматривающей водоем как единое целое, как организованную систему, в которой тесно взаимосвязаны все ее элементы [Максимова, 2001, 2005а, 2005б].

Методология проблемы определялась следующими теоретическими предпосылками [Максимова, 1991а, Maksimova, 2003]. Моря рассматриваются как сложные открытые гидробиогеохимические системы, эволюционно сбалансированные в результате комплексного взаимодействия природных процессов на определенном квазистабильном уровне. Системный подход определяет диалектическое единство изучения всех подсистем моря в их взаимодействии, причинно-следственной обусловленности, при необходимом выделении главных факторов, контролирующих экосистему. Функционирование экосистемы моря выражается, прежде всего, в процессах обмена веществом и энергией со смежными системами (литосферой, атмосферой, гидросферой) и совокупностью организмов со средой обитания.

Согласно представленной концепции и методологии, губы Белого моря рассматриваются как единое целое с открытой частью Белого моря и заливами – Кандалакшским, Онежским, Двинским, а также реками, впадающими в Белое море, поскольку гидрологический и гидрохимический режим и экосистемы губ в целом формируется в эстуариях в результате смешения морских и речных вод [Максимова, 1987в, 1991а, 1991б, 2001, 2004, 2012, Maksimova, 2003]. А реки рассматриваются как единое целое с водосборным бассейном.

Согласно теоретическому подходу к исследованиям Белого моря А.Н. Пантюлина [2004, Pantylin, 2003], рассматривающего Белое море с гидрологических позиций (используя в основном $T^0/S^0/\infty$ кривые) в масштабе Арктического бассейна – как эстуарий фьордового типа, как иерархически структурированную эстуарную систему, функционально проявляющуюся во взаимодействии разнородных водных масс в эстуариях разного иерархического уровня: многочисленных губ, в вершины которых как правило впадают реки, - заливов Кандалакшского, Онежского, Двинского - Бассейна, как эстуарную систему относительно Баренцева моря. Собственно губы и являются классическими эстуариями, в которых происходят процессы смешения речных вод с морскими. Такой под-

ход позволил подойти к систематизации разномасштабного многообразия эстуариев Белого моря, как единого целого.

Обычно при исследовании процессов, происходящих в эстуарных системах, пользуются непосредственно результатами анализов компонентов среды, их изменчивостью. Но в работах М.П. Максимовой [2005а, 2005б, 2012] не только охарактеризованы с гидрохимических позиций воды губ, заливов и открытой части Белого моря, но для иерархической системы Белого моря произведен анализ (с применением математических методов) и дано обоснование трансформации связей гидрологических, гидрохимических и гидробиологических компонентов и процессов, позволившее математически подтвердить генетические связи и причинно-следственную обусловленность физических, химических и гидробиологических процессов протекающих в море, а также трансформацию этих связей в эстуарной системе – реки – губы - заливы – водные массы Бассейна, установить контролирующие факторы.

Таким образом, для решения проблемы формирования и функционирования экосистем губ необходимы исследования речного стока и прилегающих морских акваторий [Максимова, 1991а, 1991б, 2004, Maksimova, 2003]. С этой целью использованы планомерные системные исследования М.П. Максимовой, начатые в 1956 г. и продолжавшиеся более четверти века: Белого моря – Бассейна и заливов – Кандалакшского, Онежского, Двинского, производившиеся в 1956 г. и 1982 -1984 гг., отличавшиеся экосистемным подходом, а также рек впадающих в Белое море 1961-1962 гг., а с 1987 г. – многочисленных губ. Исследования включали обширный комплекс показателей: T° , $S^{\circ}/_{\infty}$, прозрачность, цветность (для рек – мутность, ионный состав), рН, Alk, растворенный кислород, pCO_2 , биогенные элементы (органические и неорганические соединения N, P, Si), органический углерод, первичную продуктивность, деструкцию органического вещества, сбалансированность продукционно-деструкционных процессов).

На основе этих материалов комплексных исследований: уточнена трехслойная структура водных масс и их генетическая природа в глубоководной части Белого моря и глубоководных губах, дана их гидрохимическая характеристика по широкому комплексу показателей, сделана оценка первичной биопродуктивности, а также произведена классификация многочисленных рек, впадающих в Белое море и типизация губ, рассчитан баланс биогенных элементов и органического вещества Белого моря [Максимова, 1991а, 1991б, 2004, Maksimova, 2003].

Следует отметить, что сопоставление материалов экспедиционных исследований М.П. Максимовой: в 1956 г. - «фоновый» период, охватив-

ших единовременно всю акваторию Белого моря, и по материалам экспедиционных исследований в 80-е годы (1982-1984 гг.), также охвативших единовременно всю акваторию Белого моря, идентичные по схеме разрезов и расположению станций, точно повторившим исследования 1956 г., показало, что за этот период, в результате возрастающего антропогенного воздействия значительно увеличилось содержание биогенных элементов в поверхностных водах моря и изменилось их соотношение – например увеличилась в процентном отношении доля аммонийного азота и соответственно – уменьшилась доля нитратного, что также свидетельствует о загрязнении. Сопоставление данных по материалам этих исследований 1956 г. и 1982-1984 гг. и сделанные выводы достаточно корректны, учитывая и идентичные климатические характеристики сопоставляемых лет, а также время экспедиций – август, разницу в увеличении содержания биогенных элементов и в соотношении показателей аммонийного азота, нитритов и нитратов корректно отнести за счет антропогенного воздействия [Максимова, 1991а]. Таким образом, антропогенному воздействию подверглись не только реки и губы, но и поверхностные воды открытой части Белого моря.

Фундаментальные системные исследования позволили решить проблему эстуарной иерархической системы Белого моря на основе концепции системной экологии, рассматривающей водоем как единое целое, как организованную систему, в которой тесно взаимосвязаны все ее элементы, с применением математического аппарата – корреляционного, регрессионного, факторного анализов [2005а, 2005б, 2012].

II часть. Вторая часть книги имеет прикладной характер, имеющий большое социально-экономическое значение для региона.

Государственную политику в области пополнения сырьевой базы естественных и искусственных водоемов видами ценных промысловых рыб и коммерческого выращивания товарной продукции призвана решать аквакультура.

С целью устойчивого развития российской аквакультуры разработаны «Стратегия развития аквакультуры России» (2006, 2007), федеральная целевая программа «Повышение эффективности использования и развития ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса в 2009-2013 гг.», где на поддержку этого направления было запланировано более 1 млрд. руб. Первой задачей «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года» является - восстановление и сохранение ресурсно-сырьевой базы рыболовства, развитие искусственного воспроизводства и аквакультуры.

Сфера ответственности по научным исследованиям в области аквакультуры является государственной функцией Федерального агентства по рыболовству (Росрыболовство). Область научных исследований отраслевых НИИ в рамках деятельности Росрыболовства по направлению «Аквакультура» определена как «Научное обеспечение мероприятий по сохранению, восстановлению и увеличению запасов водных биологических ресурсов морей и внутренних водоемов России, а также товарной аквакультуры».

Сев ПИПРО с 1988 г., согласно «Стратегии и целевой программе развития аквакультуры в России», приступило к выявлению прибрежных районов Белого моря по комплексу природных условий, пригодных для размещения марихозяйств разной направленности.

На основе материалов фундаментальных режимных экосистемных исследований губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов 1987 года, отличающихся наиболее полным спектром наблюдений и экосистемным подходом, представленных в I части книги, выявлены районы Белого моря, потенциально пригодные по природным условиям для размещения марихозяйств культивирования промысловых ценных видов рыб, моллюсков, водорослей. И в дальнейшем, на базе СевПИПРО проведены целенаправленные дополнительные их обследования, экспедиционные и стационарные, главным образом, по морфометрии, грунтам, сезонной изменчивости — температуры воды, солености, ледовитости, а также профилирующим гидрохимическим показателям.

В 1988-1990 годах исследования проводились в основном в рамках КЦП «Мидия» в местах с развивающейся марикультурой и перспективных для ее развития. В 1991-92 гг. и 1995-97 гг. полевые работы велись в пр. Печаковская Салма, в районе размещения опытно-промышленной плантации по выращиванию водорослей [Чугайнова, 1990, 1992, 1993].

В результате проведенных исследований рекомендованы губы и шхерные районы, соответствующие условиям для размещения марихозяйств - культивирования ценных видов рыб, промысловых беспозвоночных и водорослей [Чугайнова, 1990, 1992, 1993].

Перспективными для марикультуры водорослей по комплексу признаков являются шхерные районы Карельского берега и прибрежные районы северной части Онежского залива (районы II (2) и III типа). Для марикультуры мидий пригодны почти все исследованные районы, за исключением загрязненных.

Марикультура имеет большое социально-экономическое значение для региона. Материалы исследований использовались в работах по выращиванию гидробионтов в районе Сонострова (ОАО «Карелрыбвод»),

в проливе Печаковская салма (СевПИНРО), в губе Ковда. Гидрохимические данные включены в рекомендации по размещению марихозяйств («Марихозяйства ...», 1990 г.), а также в инструкции по выращиванию мидий (1990 г.) и водорослей (1992, 1998 гг.).

Исследовано также воздействие марихозяйств на природные условия их размещения. Полученные сведения о воздействии культивируемых гидробионтов на среду обитания позволяют предвидеть возможные экологические изменения в водоеме и могут служить основой для организации природоохранных мероприятий [Чугайнова, 1995, 1999].

Часть I.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ

ГЛАВА 1. ИЗУЧЕННОСТЬ

Планомерное океанографическое изучение Белого моря началось в 20-30 гг. XX столетия. Этот период связан с именами выдающихся ученых отечественной океанографии К.М. Дерюгина [1928] и В.В. Тимонова [1950], их экспедиционные исследования и научные обобщения материалов экспедиций легли в основу современных знаний о гидрологии Белого моря. Большой вклад в понимание гидрологических процессов и их связи с распределением гидробионтов, в открытом море и его заливах, внес В.М. Надежин [1967]. Его работы и до нашего времени остаются актуальными [Атлас..., 1959].

Экспедиционные исследования прошлых лет и выполняемые в настоящее время важны для общего представления о закономерностях крупномасштабных процессов и гидрологическом режиме Белого моря в целом, а также для выявления изменений происходящих под влиянием природных флуктуаций и антропогенного воздействия. Углубленное изучение моря предполагает не только экспедиционные исследования, но и постоянные непрерывные наблюдения на стационарах, позволяющих выявить изменчивость гидрологических процессов разных периодов - от короткопериодных до долгопериодных. В этом отношении немаловажная роль принадлежит береговым гидрометеорологическим станциям и стационарам [Бобков, 1987]. С этой целью в 1881 г. Петербургское общество естествоиспытателей открыло биологическую станцию на большом Соловецком острове, на которой производились биологические работы и отдельные гидрологические измерения [Книпович, 1893].

В 1939 г. в Великой Салме организована Беломорская биологическая станция Московского университета, а в 1957 г. в устьевой части губы Чупа у м. Картеш основана Беломорская биологическая станция Зоологического института АН СССР, вблизи которой на декадной станции Д-1 длительное время проводятся исследования по комплексному изучению планктона и гидрологических характеристик на различных

глубинах (от 0 до 65 м). В результате исследований накоплен огромный фактический материал, характеризующий сезонные и многолетние изменения в планктоне губы Чупа, происходящие на фоне соответствующих гидрологических. На основании полученных данных выявлены закономерности динамики численности ряда планктонных организмов, роль ряда биотических и абиотических факторов. Проводимые наблюдения дополняются результатами регулярных планктонологических и гидрологических разрезов в губе Чупа, в Кандалакшском и Онежском заливах [Бергер, 1987]. Следует отметить, что длительное время гидрохимические условия прибрежной зоны и многочисленных губ Белого моря практически не исследовались. Имеющиеся в литературе отдельные сведения были рассеяны в ряде работ, в большинстве случаев гидробиологических, в которых приводятся данные о температуре, солености и лишь о некоторых гидрохимических показателях среды [Букалова, 1945; Паленичко, 1957; Иванова, 1957; Паленичко, Тимакова, 1957; Кокин и др., 1970; Иванов и др., 1983; Семенова, Никитина, 1990]. Имеющиеся фаунистические исследования касаются главным образом литоральной и сублиторальной зон моря [Гурвич, 1934; Абрамова, Соколова, 1948; Барсанова, 1958; Катаева, 1979].

Таким образом, первые сведения по гидрохимии Белого моря относятся, по-видимому, к семидесятым годам XIX века, когда профессор Юрьевского (Тартуского) университета К. Шмидт произвел химические анализы воды Белого моря [Бруевич, 1960]. В 20-30-е годы XX столетия исследовались отдельные гидрохимические параметры (кислородный режим, рН, щелочность) в различных районах моря [Соколова, 1939; Воронков, Мусина, 1939; Воронков, Кречман, 1939]. Уникальная гидрохимическая съемка была выполнена с борта ледокола “Таймыр” в конце гидрологической зимы (апрель – начало мая) в 1934 г. В ходе этой экспедиции были исследованы содержание в воде растворенного кислорода, ряда биогенных элементов, перманганатная окисляемость и рН [Мусина, 1941; Трофимов, Голубчик, 1947]. В 1947 г. В.Л. Хмызникова установила, что по количеству фитопланктона наиболее продуктивным является поверхностный слой вод Белого моря (0-10 м) [1995]. Первичная продукция определялась П.П.Воронковым (1941), рассчитавшим среднегодовую продукцию по сезонной динамике биогенных элементов в губе Малая Пирью, губе Сосновой и в районе Вильострова. Следующие исследования первичной продуктивности проводились Ю.Г. Кабановой [1980] в 1966 г. на 12 станциях в Кандалакшском заливе. В 60-70-х годах экспедициями МГУ проводились работы по продуктивности фитопланктона в основном у Карельского берега, в частности у м. Картеш

[Федоров и др., 1970, 1974, 1977; Белая, Федоров, 1970, 1972; Белая, Потапова, 1976]. В этот период изучалась сезонная динамика качественного и количественного состава фитопланктона, его функциональные характеристики, пространственное распределение [Корсак, 1977], а также их зависимость от температуры, освещенности, содержания биогенных элементов и других факторов.

В 50-х – 60-х годах несколько активизируются исследования в отдельных локальных прибрежных районах Белого моря. Так летом 1952 г. П.Г. Лобзой [1963] (с участием М.П. Максимовой) впервые были проведены гидрохимические исследования двух мелководных губ Онежского залива: Нюхчи и Сорокской, включившие основные неорганические соединения биогенных элементов (нитриты, нитраты, фосфаты, перманганатную окисляемость, растворенную кремнекислоту, а также растворенный кислород, рН, щелочность. В 1956 г. Е.Н. Черновской [1956] в губах Падан, Гридина, у м. Шарапов, у г. Крестовой (в кутовой части Кандалакшского залива) получены характеристики органического вещества (по перманганатной окисляемости), а также определялись неорганические формы биогенных элементов, щелочность, рН, кислород.

Летом 1959 г. Л.А. Галкиной, Л.Е. Поздняковой, Т.Я. Цеб [1963] в губе Канда определялись: биогенные элементы (нитраты, нитриты, фосфаты), соленость, кислород, рН. Но, к сожалению, нигде в этих исследованиях параллельно не определялась первичная продуктивность.

Впервые М.П. Максимовой в экспедиции 1956г. на НИС «Профессор Месяцев» Карело-Финского Филиала АН СССР, охватившей сеткой станций практически всю акваторию Белого моря, включая открытую часть моря - Бассейн и заливы – Кандалакшский, Онежский, Двинский, выполнен широкий комплекс гидрохимических исследований, включая первичную продуктивность. Исследуемый комплекс включал: биогенные элементы – органические и неорганические формы азота и фосфора, растворенную кремнекислоту, содержание органического вещества (по перманганатной окисляемости), первичную продуктивность; а также соленость, рН, щелочность, прозрачность (по диску Секки). Научные результаты этих экспедиционных исследований представлены в ряде последовательных публикаций [Максимова, 1959, 1961, 1964, 1978, 1980, 1985а, Максимова, Бондаренко 1985б, Максимова, Зубаревич, 1982 и др.] и обобщены в работах [Максимова, 1989, 1990, 1991а, Maksimova, 2003].

В целевых экспедиционных исследованиях ВНИРО 1982 – 1984 гг. на судах Севгидромета «Ромбак» и «Уран», М.П. Максимовой выполнены комплексные гидрохимические исследования, включившие:

органический углерод, содержание органического вещества (по перманганатной окисляемости), растительные пигменты (хлорофилл, феофитин), биогенные элементы – органические и неорганические формы азота и фосфора, растворенную кремниевую кислоту, первичную продуктивность, БПК_{1,5}, а также соленость, рН, щелочность, прозрачность (по диску Секки).

Следует отметить, что экспедиционные исследования 1982-1984 гг. целенаправленно производились по схеме разрезов и станций полностью соответствующей экспедиционным исследованиям 1956 года, комплекс исследуемых гидрохимических показателей также аналогичен перечню экспедиционных исследований 1956 г. Учитывая сходство климатических условий середины 50-х с началом 80-х годов, сопоставление достаточно корректно. Сопоставимость методов исследований также подверглась экспериментальной проверке. Так в экспедиции 1982г. содержание органического вещества в пробах воды выполнялось параллельно: по перманганатной окисляемости (как в 1956г.) и органического углерода. Органический углерод определяли методом фотохимического окисления с добавлением персульфата калия, на японском анализаторе органического углерода «PHOTOchem E-3600 Sybron». Таким образом, сопоставление результатов гидрохимических исследований 1956 г., который условно можно отнести к «фоновому» периоду, с 1982 – 1984 гг. позволяет увеличение содержания органического вещества и биогенных элементов (органических и неорганических форм азота и фосфора) в водах Белого моря, особенно в поверхностной водной массе, произошедшее за четверть века, отнести за счет возрастающего антропогенного воздействия.

В 50-х годах Северным УГКС начаты систематические сезонные исследования гидрохимического режима всей акватории Белого моря, охватившие плановыми разрезами Бассейн (открытую часть моря) и заливы - Кандалакшский, Онежский, Двинский, а также Воронку и Горло, включившие: растворенный кислород, щелочность, рН, фосфаты, силикаты, нитриты, нитраты. Следует отметить, что к сожалению, в этот перечень не включены органическое вещество, органические формы биогенных элементов и первичная продуктивность.

Сев. УГКС также проводятся регулярные наблюдения по крупным рекам, впадающим в Белое море - Северной Двине, Онеге и некоторым рекам относящимся к категории средних – Кемь, Выг. Многочисленные реки, относящиеся к категории малых не исследуются.

В начале 60-х годов Карельским филиалом АН СССР проводились гидрологические исследования 7 рек Карельского берега с целью аккли-

матизации дальневосточной горбуши в Белом море. Кроме гидрологических исследований, из гидрохимических характеристик определяли только перманганатную окисляемость [Грицевская, 1965, 1969].

Как уже отмечалось, в вершины губ обычно впадают реки, их воздействие определяется объемом и химическим составом речного стока, а также соотношением объема речного стока к объему водных масс губ, их глубиной, наличием стратификации вод, степенью открытости и интенсивностью водообмена со смежной акваторией моря. Очевидна важность изучения речного стока для понимания гидрохимического и гидрологического режима исследуемых губ, биопродуктивности и экосистемы губ в целом.

В 1961-62 гг. на базе Карельского филиала АН СССР, впервые М.П. Максимовой был исследован химический сток 46 рек (включая малые и средние реки), впадающих в Белое море на территории Терско-го, Кандалакшского, Карельского, Поморского и Лямецкого побережий. При этом впервые был выполнен обширный комплекс химических анализов речных вод, включающий определения общей минерализации, ионного и газового состава, элементов карбонатной системы, минеральных и органических соединений биогенных элементов, органического вещества, железа, жесткости, цветности; а также изучено формирование химического стока разнообразных рек, обусловленное климатическими, геоморфологическими, почвенно-геологическими, гидрологическими, особенностями водосборных бассейнов [Максимова, 1963а, 1963б, 1967а, 1967б, 1979, 1982, 1983а]. На основе этих исследований разработана классификация 48 рек впадающих в Белое море по комплексу гидрохимических, гидрологических показателей, с учетом специфики водосборных бассейнов рек (геоморфологических, почвенно-геологических и др.). При классификации рек применялся математический аппарат (корреляционный, регрессионный анализ и др.) Выявлены корреляционные связи компонентов среды на основе корреляционных матриц, а также на основе регрессионного анализа – жесткая связь цветности (как показателя заболоченности водосборного бассейна) с рядом гидрохимических показателей – повышенным содержанием органического вещества и органических форм азота и фосфора, железа и ряда других [Максимова, 1982, 1983а, 2007а, 2007б].

Как уже отмечалось, в формировании гидрохимического режима губ играют важнейшую роль факторы смешения морских вод с водами речного стока. Ранее, к сожалению, гидрохимические исследования стока рек (впадающих в основном в вершины губ), производились только для крупных и некоторых средних рек системой Гидрометеослужбы, по

ограниченному числу ингредиентов - в основном анализы ионного состава и некоторых минеральных форм биогенных элементов.

В 1987 г. М.П. Максимовой впервые были проведены системные комплексные исследования губ Кандалакшского и Онежского заливов Белого моря.

Комплекс исследований включал широкий спектр анализируемых показателей, характеризующих структуру и функционирование экосистем разнотипных губ: соленость, рН, компонентов карбонатной системы, растворенный кислород, минеральные и органические формы биогенных элементов (азота, фосфора), кремний, органический углерод, первичную продуктивность, показатели деструкции органического вещества (БПК), растительные пигменты, позволившие оценить сбалансированность продукционно-деструкционных процессов ОВ и факторы их определяющие, а также обеспеченность фитопланктона питательными солями [Максимова, 1977а, 1977б].

Эти исследования позволили не только характеризовать гидрохимический режим губ Чупа, Поньгома, Кемская, Сорокская, Сумская, Колежма и др., но и установить основные факторы формирования и функционирования экосистем разнотипных губ Кандалакшского и Онежского заливов, с выделением главных, контролирующих систему (на основе факторного анализа – метод главных компонент) [Максимова, 1985б], а также разработать типизацию губ по комплексу гидрохимических, гидрологических и гидробиологических, геоморфологических показателей (с использованием математического аппарата – корреляционный, регрессионный, факторный анализы) [Максимова, 1991а, 2007б, Maksimova, 2003]

В 1988-1997 гг., исследования, проводившиеся на базе Северного отделения ПИНРО, продолжили режимные наблюдения некоторых губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов, а также район Соловецкого архипелага [Чугайнова, 1990а, 1990б, 1992, 1999; Максимова, Чугайнова, 2001 и др.]

В 80-х годах гидрологические и гидрохимические исследования Унской губы, расположенной в Двинском заливе, проводились Л.П. Лукиным и И.В. Мискевичем [1989].

Гидрохимические и гидрологические исследования охватили практически все губы и шхерные районы Белого моря, сосредоточенные в Кандалакшском и Онежском заливах, а также губу Унскую в Двинском заливе.

Таким образом, планомерные системные исследования, открытой

части Белого моря - Басейн, заливов - Кандалакшского, Онежского, Двинского заливов, и прибрежной зоны моря, а также исследования химического речного стока в море, позволили охарактеризовать гидрохимический и гидрологический режим открытой части моря, заливов и многочисленных губ и шхерных районов как единого целого; установить закономерности формирования структуры водных масс и особенности функционирования экосистем разнотипных губ и шхерных районов на гидробиохимическом уровне. Результаты исследований отражены в ряде последовательных научных публикаций и обобщающих научных работах монографического плана [Список Литературы].

Начавшееся в 80-х годах изучение возможностей организации на Белом море марихозяйств по выращиванию мидий и водорослей на искусственных субстратах потребовало выяснения ряда элементов гидрологического и гидрохимического режима возможных соответствующих акваторий, в связи с чем появились работы [Луканин и др., 1983, 1987; Бабков, 1987; Бояринов, Петров, 1988; Бабков, Кулаковкий, 1988; Бабков, Буряков, 1990 и др.].

На основе материалов фундаментальных режимных экосистемных исследований губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов в 1987 году, отличающихся наиболее полным спектром наблюдений и экосистемным подходом, представленных в I части книги, были выявлены районы Белого моря, потенциально пригодные по природным условиям для размещения марихозяйств культивирования промысловых ценных видов рыб, моллюсков, водорослей. И в дальнейшем на базе СевПИН-РО проведены целенаправленные дополнительные их обследования, экспедиционные и стационарные, главным образом, по морфометрии, грунтам, сезонной изменчивости - температуры воды, солености, ледовитости, а также профилирующим гидрохимическим показателям.

В связи с поставленной задачей развития марикультуры на Белом море, были целенаправленно организованы работы по изучению потенциально перспективных для размещения марихозяйств губ и шхерных районов [Марихозяйства..., 1990]. Исследовались губа Чупа [Погребов, Сказка, Шамарин, 1990], Нильма [Лихачева, 1990], Унская [Лукин, Мискевич, 1989], губы Онежского и Кандалакшского заливов [Максимова и др., 1989], [Чугайнова, 1990а, 1990б, 1992, 1999], Чудинова, 1995].

По программе Государственного Комитета по науке и технике (ГКНТ) «Мировой океан», Проект «Моря СССР», подготовлена серия монографий «Гидрология и гидрохимия морей СССР», включившая монографию

«Белое море». М.П. Максимова автор I части монографии «Гидрохимия Белого моря» [Максимова, 1991a]. «В соответствии с целями и задачами, поставленными проектом, на современном уровне выполнен научный анализ и теоретическое обобщение гидрохимических материалов с позиций системных исследований, в тесной связи со смежными океанологическими дисциплинами. Монография является научным вкладом в теорию гидрохимии и геохимии малоизученных арктических морей» (выписка из Предисловия Директора ГОИН Ф.С Терзиева – руководителя проекта).

Следует отметить, что представленная монография основана на материалах - результатах комплексных экспедиционных исследований Белого моря за период 1956 – 1987 гг., охвативших всю акваторию Белого моря, на НИС «Профессор Месяцев», «Уран», «Ромбак», «Онега», руководителем и непосредственным исполнителем гидрохимических исследований являлась М.П. Максимова.

В монографии использовались также материалы регулярных сезонных съемок Белого моря Севгидромета за период 1958-1983 гг., включавших также и гидрохимические, но по ограниченному числу определяемых показателей. На основе многолетнего ряда среднегодовых характеристик гидрохимических показателей произведен расчет многолетних трендов – тенденций изменчивости. Наиболее показательны тренды изменчивости за 30-летний период растворенного кислорода.

По последующим исследованиям гидрохимического режима прибрежной зоны Белого моря – многочисленным губам и шхерным районам, материалы до настоящего времени не обобщены, а представлены разрозненными, отдельными журнальными статьями и тезисами докладов, не всегда доступными, возникла необходимость обобщающего научного издания, освещающего гидрохимический режим прибрежной зоны, формирования и функционирования экосистем многочисленных разнообразных губ Белого моря. Подготовка и публикация такого издания является целесообразной, как в теоретическом плане, так и в практическом отношении – для познания экологических условий мест нереста и развития молоди рыб и других ценных промысловых объектов (мидий и водорослей), а также для организации марихозяйств по их культивированию. Инициатор, организатор и непосредственный исполнитель которых М.П. Максимова автор I части представленной книги, автор II части В.А. Чугайнова.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

Представленная работа основана главным образом на материалах многолетних системных исследований автора, выполненных по инициативе, под руководством и непосредственном участии автора в период 1956–1987 гг. – открытой части Белого моря, заливов Кандалакшского, Онежского, Двинского, многочисленных губ, а также химического стока рек, впадающих, как правило, в губы (см. *Литературу*). *Материалы экспедиционных исследований 1956 г. и 1982–1984 гг.* охватили спланированными океанографическими разрезами и сеткой станций всю акваторию и толщу вод Белого моря - Бассейн, заливы Кандалакшский, Онежский, Двинский и граничную часть Горла, отличались экосистемным подходом и впервые включили широкий спектр исследуемых гидрохимических показателей, а также некоторых гидробиологических. Планирование расположения разрезов и станции, производилось с учетом морфологических, гидрологических (силой и направленностью постоянного течения) факторов и воздействия речного стока. Сетка разрезов и расположения станций в основном соответствовала стандартной схеме сезонных рейсов СУГКС (Северное управление Госкомгидрометеослужбы), в которых выполнялись гидрологические исследования и ограниченный перечень гидрохимических анализов. С 1958 г. определяли O_2 , рН, АІК; с 1978 г. – и определения некоторых неорганических форм биогенных элементов (фосфаты, нитриты, нитраты, кремнекислота). Материалы сезонных рейсовых исследований СУГКС – позволили автору рассчитать тренды сезонной и межгодовой изменчивости вышеуказанных гидрохимических показателей.

Материалы системных исследований разнотипных губ и ихерных районов Кандалакшского и Онежского заливов в 1987 г., отличающихся наиболее полным спектром наблюдений и экосистемным подходом, представленные в I части книги. С привлечением материалов целевых дополнительных исследований некоторых губ, выявленных на основе исследований I части книги, как потенциально пригодных для развития марихозяйств, проводившихся СевПИНРО по программе организации марихозяйств культивирования ценных пород рыб, промысловых моллюсков и водорослей в 1988-1990 гг. (В.А. Чугайнова).

Пробы воды отбирались батометром на стандартных горизонтах: в открытом море и в заливах на горизонтах 0, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 250, метрах и придонном; в губах на горизонтах 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200 метрах и придонном.

Экспедиционные и стационарные исследования включали обширный комплекс показателей: T° , $S^{\circ} /_{\infty}$, прозрачность, цветность (для рек – мутность, ионный состав), рН, Alk, pCO_2 , кислород, биогенные элементы (органические и неорганические формы N, P), Si, органический углерод, гидробиологические показатели - хлорофилл, первичную продуктивность, биохимические – бактериальную деструкцию органического вещества (БПК₁, БПК₅), позволившие оценить сбалансированность продукционно-деструкционных процессов.

Химический сток 48 рек впадающих в Белое море исследовался в 1961–1962 гг. В речных водах определяли: T° , прозрачность, цветность, общую минерализацию, ионный состав, Fe, жесткость, рН, CO_2 , кислород, биогенные элементы (органические и неорганические формы N, P), Si, органическое вещество.

Методика химических анализов

Анализы проб морской воды выполнялись общепринятыми в гидрохимической практике методами.

Соленость определяли кондуктометрическим методом со стеклянным электродом (кондуктометрами различного типа).

рН определяли потенциометрическим методом со стеклянным электродом.

Общую щелочность определяли титриметрическим методом.

Растворенный кислород определяли объемным методом Винклера.

Первичную продуктивность и бактериальную деструкцию (БПК) определяли скляночным методом, для определения содержания кислорода в склянках до и после экспозиции применялся метод Винклера. При определении первичной продуктивности склянки с пробами экспонировались на свету; для определения БПК₅ склянки темного стекла содержались в термостате при температуре 20°. [Руководство..., 1980]. Определение показателей продукционно – деструкционных процессов выполнялось с параллельными пробами.

Фосфаты. Основная форма, в которой фосфор находится в воде - ортофосфаты. Фосфаты определяли методом Морфи-Райли: фосфор, растворенный в воде, реагирует с молибдатом аммония в присутствии сер-

ной кислоты и сурьмяновиннокислого калия. Получающийся сложный комплекс фосфорномолибденовой гетерополикислоты и трехвалентной сурьмы восстанавливают аскорбиновой кислотой, а оптическую плотность голубого окрашенного соединения измеряют при длине волны 885 нм [Методы..., 1988].

Аммонийный азот определяли с гипохлоритом и фенолом при длине волны 630 нм. с образованием интенсивно окрашенного голубого соединения - идофенола. Окраска развивается 6 часов. Затем пробы колориметрируют при длине волны 630 нм.

Нитриты. Определяли колориметрически, по методу Грисса-Илосвая, основанном на реакции диазотирования первичного ароматического амина в кислой среде с образованием соли диазония, затем реакция сочетания с фенолами или ароматическими аминами.

Нитраты. В настоящее время для определения нитратов в морской воде применяется колориметрический метод, в основе которого лежит работа Морриса и Райли [Morris, Riley, 1963], усовершенствованный затем Грассхофом [Grasshoff, 1964], Стрикландом и Парсонсом [Strickland, Parsons, 1968], Сапожниковым, Гусаровой, Лукашевым (1973). Метод основан на восстановлении нитратов до нитритов, причем в качестве восстановителя применяется омедненный кадмий, а комплексообразующего агента - динатриевая соль ЭДТА (трилон Б).

Определения валового азота и фосфора (Королева-Вальдerraма) основано на минерализации фосфорсодержащих и азотсодержащих органических соединений под воздействием окислительного реактива и последующего определения количества валового азота и фосфора с применением методов анализ неорганических форм этих элементов. Авторы предложили окислительный реактив, в который кроме персульфата калия входит натриевая соль, щелочь и борная кислота, что позволило проводить сжигание органического вещества сначала в щелочной, а затем в кислой среде, то есть единым процессом достигается двухэтапное разложение органического вещества. При этом органический азот трансформируется в нитратную, а органический фосфор в фосфатную формы. Большим преимуществом метода является возможность определения из одной пробы и валового азота, и валового фосфора. Все измерения оптической плотности проводились на колориметре фотоэлектрическом концентрационном (КФК-2).

Органический углерод определяли методом фотохимического окисления с добавлением персульфата калия, на анализаторе органического углерода «PHOTOchem E-3600 Sybron».

Следует отметить, что определения органического вещества и пока-

зателей продукционно-деструкционных процессов производились с параллельными пробами.

Прозрачность определяли диском Секки.

Скорости течений измеряли в Кузовах измерителем скорости и направления течений ВММ-2 на суточных станциях, в Кандалакшском заливе - на полусуточных станциях, в районе пр. Печаковская Салма японским регистратором СМ-2 ТОНО DENTAN Ltd., а также автономными измерителями течений БПВ-2.

Следует отметить, что при использовании в работе гидрохимических данных полученных разными методами анализов, эмпирически проверялась их тождественность параллельными определениями.

Так, при сопоставлении материалов гидрохимических исследований разных периодов, например определения органического вещества в экспедиционных исследованиях Белого моря в 1956 г. и 1982 г., выполнялись разными методами. В 1956 г. по перманганатной окисляемости, а в 1982 г. определяли органический углерод методом фотохимического окисления с добавлением персульфата калия, на японском анализаторе органического углерода «PHOTOchem E-3600 Sybron». Для сопоставимости этих материалов определения органического вещества в 1982 г. производились в каждой пробе воды параллельно двумя методами – по перманганатной окисляемости и органическому углероду.

Систематизация и обработка материалов

Особое внимание было обращено на обработку и анализ информационной базы гидрохимических данных. Предварительно произведена оценка репрезентативности информационной базы. Систематизация гидрохимических материалов производилась по семи районам моря, имеющим четко выраженную морфометрическую, геологическую, гидрологическую и гидрохимическую специфику: Воронка, Горло, Бассейн, Кандалакшский, Онежский, Двинский, Мезенский заливы. Временное осреднение сделано по сезонам. При обработке материалов широко использовались современные методы статистического анализа с применением ЭВМ. Рассчитаны параметры распределения гидрохимических характеристик: средние и средневзвешенные величины, ошибки средней, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициенты вариации, нормированное отклонение, характеристики гистограмм распределения; корреляционный, регрессионный и факторный (метод главных компонент) анализы. На основании многолетнего ряда среднегодо-

вых характеристик гидрохимических показателей производился расчет многолетних трендов – тенденций изменчивости. Факторный анализ (метод главных компонент) использовался для установления факторов, определяющих изменчивость системы, объяснения закономерностей изучаемых взаимосвязей на основании обработки эмпирических данных. Регрессионный анализ применялся для нахождения эмпирических уравнений связи между отдельными характеристиками.

Широко применялся графический метод – карты, профили разрезов и графики.

ГЛАВА 3.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Белое море подразделяется на районы: 1. Воронка, расположенная между линиями Св. Нос – Канин Нос и о. Данилов – м. Воронов; 2. Горло – между линиями о. Данилов – м. Воронов и м. Никодимский – м. Вепревский; 3. Кандалакшский, Онежский, Двинский заливы и центральная часть моря. Все районы различны по морфологии и по гидрологическому режиму. Воронка фактически представляет залив Баренцева моря, находящийся под общим его влиянием, а Горло – пролив между Белым и Баренцевым морями, представляющий собой желоб глубиной 40-100 м, несколько прижатый своими глубинными частями к Терскому берегу. “Собственно” Белое море включает Бассейн (центральную часть) и три залива: Кандалакшский, Онежский и Двинский (рис. 1).

Берега Белого моря на всем протяжении имеют собственные названия: Терский берег простирается от м. Святой Нос до м. Лудошный, являющегося северо-восточным входным мысом Кандалакшского залива. Кандалакшский берег тянется далее до г. Кандалакша. Карельский берег пролегает между городами Кандалакша и Кемь. Поморский берег тянется от г. Кемь до устья р. Онега. К северу от устья р. Онега до м. Ухт-Наволок простирается Онежский берег; часть Онежского берега, расположенная между рекой Онегой и мысом Летний Орлов, называется Лямецким берегом. Летний берег пролегает между мысом Ухт-Наволок и устьем реки Северная Двина. Зимний берег тянется от устья р. Северная Двина до м. Воронов. Берег между м. Воронов и устьем р. Мезень называется Абрамовским. Далее на север до м. Конушин простирается Конушинский берег. Берег между мысами Конушин и Канин Нос называется Канинским (рис. 1).

Береговая линия Белого моря имеет очень сложную конфигурацию, особенно сильно изрезана северная и западная часть побережья, изобилующая многочисленными губами. В условиях увлажненного климата и сложного рельефа сильно развита гидрографическая сеть, чему способствует близость к поверхности водонепроницаемых кристаллических пород.

Разгрузка речного стока, как правило, происходит в губах, в вершины которых в основном и впадают многочисленные реки. Губы подвергаются воздействию речного стока в различной степени, в зависимости от величины стока и морфометрии губ – глубины, площади, удельного стока – отнесенного к объему водных масс губ, стратификации вод.

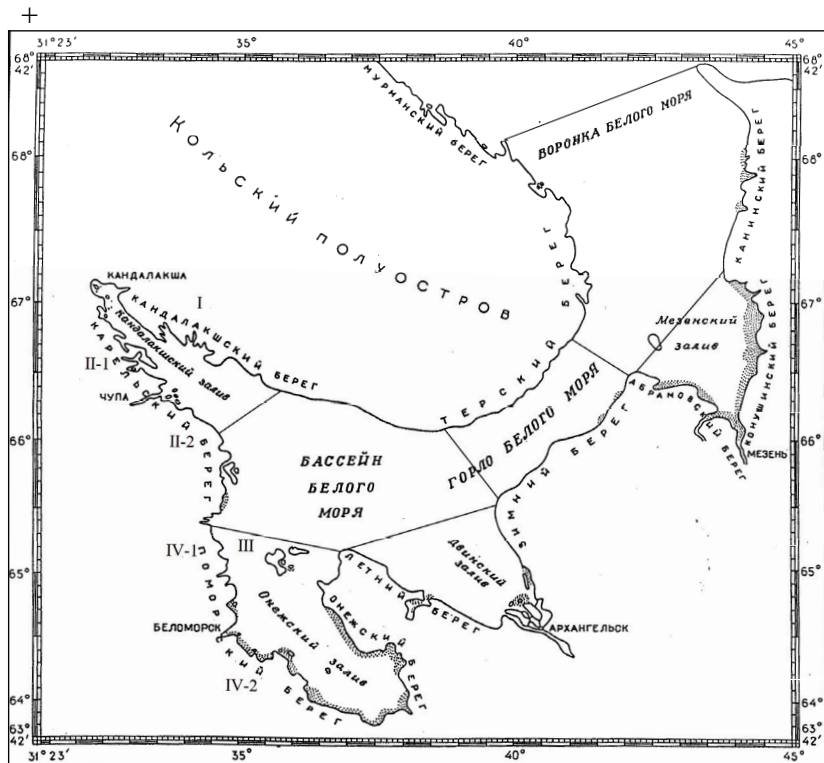


Рис. 1. Карта-схема Белого моря
(цифрами обозначены типовые зоны губ и шхерных районов)

3.1. Кандалакшский залив

Кандалакшский залив является самым глубоководным, вдаётся в сушу более чем на 200 км в северо-западном направлении. Ширина входа в залив около 67 км, постепенно суживается до 7 км к вершине. Границами, отделяющими Кандалакшский залив от Бассейна служат: с юго-востока линия между мысами Лудошный и Кирбей-Наволок, с юго-запада – Карельский берег от мыса Кирбей-Наволок до вершины залива и с северо-востока – Кандалакшский берег от вершины залива до мыса Турий и Терский берег от мыса Турий до мыса Лудошный (рис. 2).

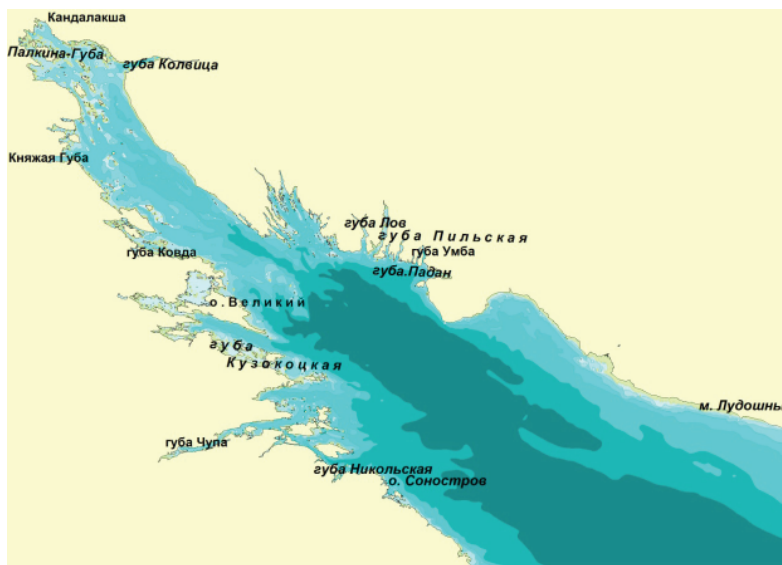


Рис. 2. Схема Кандалакшского залива

В Кандалакшском заливе глубоководная впадина с глубинами 200 м вдается в залив из Бассейна примерно до островов Средние Луды. В пределах этой впадины имеется котловина с глубиной 350 м, эта глубина является наибольшей для Белого моря.

По своему очертанию и типу берегов Кандалакшский залив отличается от других заливов Белого моря. Для него характерно большое количество глубоко вдающихся в сушу губ, гранитные берега с почти отвесными скалами.

Берега Кандалакшского залива характеризуются особым типом структурно-расчлененного побережья, относящегося к области новейшего тектонического поднятия [Невесский и др., 1977]. Структуры кристаллического фундамента Кандалакшского берега, выходящие на поверхность, определяют рельеф побережья. В результате экзарационной обработки побережья ледником большинство губ представляют собой глубокие, узкие, затопленные морем долины (фьорды).

Береговая зона Карельского берега – сложный тип природно-территориального комплекса, который характеризуется типом ландшафта выходов коренных пород и скоплений грубообломочных отложений и развивается на абрадируемых участках дна. В трещинах и понижениях рельефа дна скапливаются рыхлые осадки, представленные плохо со-

ртированными отложениями гальки, гравия и песка с включениями валунов разных размеров. В морфологии побережья четко выражена тектоника разломов, породам свойственна трещиноватость, следствием чего является сильная расчлененность береговой линии [Невесский и др., 1977]. Район относится к шхерному типу берегов (рис 2).

Как было сказано выше, оба берега залива – Карельский и Канда-лакшский – в своих очертаниях более извилисты по сравнению со всеми берегами Белого моря и, вдаваясь своими изгибами в материк, образуют множество значительных губ и бухт. В вершины всех этих губ впадают реки в основном горного характера, с порожистыми руслами и водопадами.

Губа Падан вдается в берег на 6 км в направлении к северо-северо-востоку. Берега возвышены, сложены из гранита. Губа закрыта от штормовых ветров и волнового воздействия. В вершину губы впадает речка.

Глубины посередине входа в губу достигают 60 м; к вершине они постепенно уменьшаются. Грунт – ил, вблизи берегов встречается мелкий камень. Губу можно отнести к ковшевому типу, образованному во времена задержек в отступлении ледника.

Губа Пильская вдается в берег на 13 км к северу - северо-востоку между мысами Лов и Пильский. Ширина входа в губу 1,3 км. Узкость в средней части губы носит название Порожки. Берега изрезаны небольшими бухтами.

В вершину губы впадает р. Пила. Глубины посередине входа в губу Пильская 20-30 м. Посередине узкости губы – Порожки, глубины колеблются от 6 до 12 м. Грунт – ил и песок, местами камень. Губа Пильская относится к губам ковшевого типа.

Губа Лов вдается в Кандалакшский берег на 9 км к северу. Берега ее каменистые крутые и обрывистые. Ширина губы при входе около 2 км, к вершине губы суживается до 0,6 км. Лов-губа имеет два порога с глубинами менее 10 м, затрудняющими водообмен. Наименьшая глубина мелководья в середине губы 0,4 м. В вершину впадает р. Шогуй. Грунт – песок и ил, у берегов камень, галька, встречаются валуны.

Губа Колвица расположена в кутовой части Кандалакшского залива, вдается в Кандалакшский берег на 9 км в восточном направлении. Ширина входа в губу около 3 км, к вершине она постепенно суживается. В вершину губы впадает река Колвица.

Глубина предустьевого порога в среднем составляет 15 м. В самой губе глубины достигают 70 м. В куту расположена вторая котловина с глубинами, достигающими 40 м, отделенная от первой десятиметровым порогом.

Грунты: у берегов - гравий, галька; на глубинах — ил. От основной акватории Кандалакшского залива губа отделена обширным мелководьем.

Губа Палкина расположена в кутовой части Кандалакшского залива Северо-западная часть губы мелководна — глубины не превышают 20 м, в юго-восточной части глубины увеличиваются до 50 м. В губу впадает много мелких ручьев, наиболее крупный из них — Валас-ручей. Грунт — илистый песок и галька, у берегов — каменистый.

Губа Белая — небольшая губа. Длина ее около 4 км, ширина колеблется от 3 км на входе до 0,6 км к вершине. Глубины во внешней части губы 10-16 м, а в средней ее части 5-10 м. Грунт - илистый песок и галька, у берегов — каменистый.

Губа Княжая вдается в Карельский берег на протяжении 4,5 км в западном направлении. Ширина губы при входе около 1 км, к вершине губа суживается до 400 м. Глубины равномерно уменьшаются по направлению к вершине, что обеспечивает свободный водообмен с прилегающей морской акваторией. Изобата 5 м окаймляет берега губы на расстоянии не более 200 м. Грунты: до глубины 2 м — гравийно-галечный материал с валунами разных размеров, глубже — жидкий ил.

Губа Ковда вдается в Карельский берег на 19 км в западном направлении. Губа заполнена множеством островов. В южную часть губы впадает порожистая р. Ковда. Глубины при входе в губу Ковда и на ее рейдах 10-25 м; к берегам и к вершине они постепенно уменьшаются. Далее вся внутренняя часть губы Ковда мелководна и находится в пределах изобаты 5 м. Донные отложения представлены главным образом моренной последнего оледенения и состоят из гравия, гальки, валунов со значительной примесью разнотернистого песка, встречаются большие площади илистого песка.

Пролив Великая Салма. Великая Салма — представляет пролив, отделяющий остров Великий от Карельского берега; она имеет длину 25 км при ширине от 0,6 до 8 км. Глубины при входе в пролив достигают 130 м. По мере продвижения к западу они остаются большими, но неравномерными; лишь у берегов о. Великий они резко уменьшаются. Северный берег пролива приглуб, южный — отмел и сильно изрезан; около него располагаются множество лесистых островков, камней и банок с глубинами 2-12 м. Вблизи берегов наблюдаются выходы скальных пород и крупнообломочные отложения, глубже — песчано-илистые грунты.

Губа Кузокоцкая вдается в берег на южной стороне пролива Великая Салма. Она загромождена множеством высоких, каменистых, поросших лесом островов, придающими ей шхерный характер. Проходы между островами узкие и извилистые, глубины в них неравномерные. Некото-

рые из проходов имеют глубины более 10 м. Акватория между островами изобилует впадинами и поднятиями. Максимальные глубины в этом шхерном районе достигают 40 м. Грунт – ил и песок.

Губа Чупа представляет собой узкий залив, глубоко вдающийся в сушу – на 37 км. Губа Чупа относится к фьордам. Рельеф дна сложный. Глубины в губе Чупа весьма значительны: при средней глубине около 20 м, максимальные глубины более чем втрое превосходят эту величину, достигая у о-ва Ярославля и мыса Картеш 67 и 66 м соответственно. Вблизи берегов наблюдаются выходы скальных пород и крупнообломочные отложения, глубже – песчано-илистые грунты.

Пролив Оборина Салма достаточно глубоководный, с глубинами преимущественно более 5 м. Пролив между островами Сидоров, Кишкин, Кереть и Большой Андронин, входящими в Керетский архипелаг.м. Акватория хорошо закрыта от ветров всех направлений.

Губа Никольская вдается вглубь материка в юго-западном направлении на 6,5 км. Остров Большой Медведок разделяет бухту на две равные части: восточная, большая часть губы шириной 500-700 м, называется губой Никольской, а западная, узкая часть (около – 300 м), губой Осечкова. Обе губы соединены между собой мелкоководным проливом.

В вершину губы Никольская впадает небольшая речка с одноименным названием. Посредине входа в губу расположена котловина глубиной 20-30 м. К берегу материка глубины резко уменьшаются.

Губа Соностровская – это система островов и малых губ, расположенных между о. Соностров и материком. Для нее характерно наличие закрытых от штормов, сравнительно глубоководных акваторий. Акватория Соностровской губы расчленена на две части: пролив Соностровская Салма и внутреннюю часть. В юго-западную часть Соностровской губы впадает порожистая Сон-река. Глубины в губе составляют преимущественно 10-30 м. В северной части пролива Соностровская Салма достигают -- 37-50 м, в средней узкой части 6-22 м, а в южной 10-26 м. Грунт - ил, песок; с западной стороны о-ва Соностров - валунно-галечные отложения.

Губа Поньгома вдается в Карельский берег Бассейна Белого моря на 13 км в западном направлении. С севера на юг размеры ее меняются от 1 км в устье до 10 - 20 км на входе. Берега сильно изрезаны, низменны, каменисты, во внешней части - обрывистые, а во внутренней - отлогие, в них вдаются несколько довольно значительных губ шириной 2-4 км, каждая из которых имеет собственное название: Конюхова, Нечаева, Домашняя. Южная из губ - Домашняя - наиболее глубоководна, остальные губы в основном мелкоководны. В губы впадают несколько рек и ру-

чъёв. В гб. Домашней находится устье реки Поньгома. Грунт - камень, перед устьями рек песок, ил с примесью гальки.

3.2. Онежский залив

Онежский залив является наиболее мелководным районом: почти на всей акватории глубины не превышают 50 м, за исключением небольших участков к юго-западу от м. Чесменского и Восточной Соловецкой Салмы, в которой глубина достигает 87 м. Рельеф дна Онежского залива достаточно сложен, особенно вдоль западных его берегов, где находится великое множество малых островов, луд, корг, отмелей. Рельеф дна Западной Соловецкой Салмы характерен перемежающимися глубинами, в Восточной Соловецкой Салме рельеф дна сравнительно однообразен (рис. 3).



Рис. 3. Схема Онежского залива

Поморский берег Онежского залива – один из сложных районов Белого моря, относящийся к шхерному типу. Береговая линия изрезана многочисленными заливами и губами.

Соловецкие острова, расположенные посредине входа в Онежский залив, разделяют вход в Онежский залив на два пролива: восточный - Восточная Соловецкая салма и западный - западная Соловецкая салма. В число Соловецких островов входят три крупных острова - Соловецкий, Большая Муксалма, Анзерский, а так же значительное количество мелких островов и луд.

У Соловецких о-ов рельеф дна весьма неровный. Изобата 5 м тянется параллельно береговой черте примерно в 2-10 м от нее. До глубины 10 м грунты представлены валунно-галечными отложениями, далее распространены алевроитовые илы.

Остров Анзерский – берега острова изрезаны небольшими губами, из которых наиболее значительны губа Троицкая в северной части острова и губа Капельская на южном берегу. Губа Троицкая представляет собой узкий залив, вдающийся в сушу на 5 км. Она расчленена на три части двумя узкими мелководными перекатами. Глубины при входе в губу достигают 30 м, далее они уменьшаются.

Кемские шхеры – это система из более чем 30 островов, расположенных в проливе Западная Соловецкая салма. Берега большинства островов приглубы, преимущественные глубины 10-15 м. Донные отложения на глубинах 6-7 м представлены валунами, гравием и галькой с небольшой примесью крупнозернистого песка.

Губа Кемская вдается в берег на 7 км в западную сторону. Длина губы 10 км, ширина в вершине – 0,6 км, в устье – 16 км. Берега губы в основном низменны. В вершину губы впадает одна из наиболее крупных рек Онежского залива – р. Кемь. Влияние р. Кеми простирается на всю губу и примыкающий к ней район Онежского залива до десятиметровой изобаты. Кемская губа отделена от Онежского залива цепью островов, через проливы между ними осуществляется водообмен.

Кемская губа – мелководный район с широкой полосой каменистых осушек и отмелей вдоль берегов, глубины около 5 м. До глубины 3 м преобладают валунно-галечные отложения с валунами разных размеров, с увеличением глубин до 4-5 м появляется разреженность валунно-галечных отложений и крупнозернистые пески.

Сорокская губа имеет форму воронки протяженностью около 15 км и шириной в мористой части 11 км. Вершина губы, в которую двумя рукавами впадает р. Выг, представляет собой мелководье с глубинами не более 1 м, простирающееся на восток на 4 км. У северного берега по-

лоса мелководья резко суживается, у южного же занимает значительное пространство шириной 1-2 км. К выходу из губы глубины постепенно увеличиваются, достигая 7-9 м. Влияние р. Выг прослеживается до десятиметровой изобаты. Перед устьем реки располагается песчано-каменистый бар с глубинами до 1,5 м.

Острова Боршовец. Эта группа состоит из трех сравнительно крупных островов: Бережной Боршовец, Голомянный Боршовец, Длинный Боршовец и нескольких мелких островов. Это типичный шхерный район. В прибрежной зоне донные отложения представлены гравийно-галечным материалом с включениями валунов различных размеров, которые образуют гряды, простирающиеся перпендикулярно береговой линии.

Преимущественная глубина в районе островов 7-12 м. Район открыт для ветров северо-западных и юго-восточных направлений.

Губа Сумская вдается на 7 км в Поморский берег Онежского залива. Берега Сумской губы сильно изрезаны и образуют ряд мысов, значительно выступающих в море. Берега преимущественно низкие, заболоченные. Губа открытая, незащищенная от воздействия ветровых волн, относительно мелководная, с глубинами 2-4 м, лишь в северной части, наиболее открытой, глубины достигают 7-10 м. Грунты представлены в основном илистыми песками, песчанистым илом с гравийно-галечниковым и грубообломочным материалом. В вершину губы впадает р. Сума и несколько ручьев.

Губа Колежма открытая, не защищена от штормовых волн и преобладающих ветров. Мелководна (глубины меньше 5 м), большей частью обсыхающая во время отливов. Берега губы низкие и заболоченные. В юго-восточную часть впадает мелководная река Чиж, а в северо-западную - мелководная р. Колежма — извилистая и порожистая.

Губа Пушлахта вдается в Онежский берег на 4 км в направлении юго-востока. Глубины посередине входа в губу 5-8 м, к вершине и берегам они постепенно уменьшаются. В вершину губы впадает мелководная река Пушка.

3.3. Двинский залив

Унская губа мелководна, вдается в Летний берег Двинского залива на 25 км. — между мысом Красногорский Рог и расположенным в 5 км к северо-востоку от него мысом Яреньгский Рог. Внутренняя часть губы соединена с морем извилистым проходом; западный берег прохода низ-

кий, с песчаным обрывом, покрыт лесом, а северо-восточный берег обрывистый, с песчано-глинистыми осыпями, покрыт травой и лесом.

У входа в губу расположено мелководье, простирающееся на северо-восток от линии, соединяющей мысы Красногорский Рог и Яреньгский Рог. На отмели с глубинами менее 2 м, окаймляющей мыс Яреньгский Рог, и на каменисто-песчаной косе, простирающейся от этого мыса на 1,3 км к северо-западу, в полную воду даже при слабом ветре с моря наблюдаются сильное волнение и буруны. Дно у входа в губу, и в губе неровное. В губу впадает несколько мелководных рек.

Таким образом, крупные заливы Белого моря – Кандалакшский, Онежский и Двинский отличаются рядом существенных особенностей. Так, береговая линия Кандалакшского залива наиболее изрезана, образует множество губ различного типа: фьордового - Кандалакшский берег, шхерного - Карельский берег. Самый мелководный Онежский залив также отличается сложным рельефом, особенно вдоль низменного Поморского берега, где находится множество малых островов, луд и корг. Береговая линия Двинского залива относительно ровная, за исключением глубоко вдающейся в Летний берег Унской губы. Соответственно и исследованные губы, а также впадающие в них реки (с различными ландшафтами и почвенно-геологическими характеристиками водосборного бассейна) - относятся к разным типам.

М.П. Максимовой разработана типизация (классификация) исследованных губ на основе комплекса природных условий, морфометрических характеристик, гидрологического и гидрохимического режима, гидробиологических показателей (первичная биопродуктивность и деструкция ОВ) [Максимова 1989б, 1991а, 2007б, Maksimova, 2003]. Типизация губ представлена в 6 главе монографии.

М.П.Максимовой также разработана классификация 46 рек впадающих в Белое море - включая средние и малые (в основном на материалах собственных экспедиционных исследований, поскольку гидрохимия малых рек практически не исследовалась) на основе комплекса природных условий: начиная с характеристик водосборного бассейна, гидрологических и гидрохимических характеристик рек [М.П.Максимова, 1963а, 1963б, 1967а, 1967б, 1982, 1983, 1991а, 2007а, Maksimova, 2003].

При обработке всех материалов исследований широко использовался математический аппарат: статистические характеристики, корреляционный, регрессионный и факторный анализы (метод главных компонент) [Максимова, 1982, 1985б].

В монографии представлена и типизация водных масс Белого моря,

поскольку губы рассматриваются в единстве с заливами – Кандалакшским, Онежским, Двинским, открытой частью моря – Бассейном, а также питающими море реками, как единая иерархическая система [Максимова, 1989б, 2001, 2005а, 2005б, 2012].

В 2007 г. разработана и обобщенная «Типизация водных экосистем Севера по гидрохимическим показателям» [Максимова, 2007б].

ГЛАВА 4. ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

4.1. Гидрологическая структура и формирование водных масс. Течения и интенсивность водообмена.

Динамика вод в морях и океанах — постоянные течения, приливо-отливные, ветровое волнение и др. в значительной степени определяют биопродуктивность. С динамикой вод связано формирование фронтальных и других зон раздела, конвергенции и дивергенции, положение скачка плотности, формирование апвеллингов, во многом определяющих вертикальную (апвеллинги) и горизонтальную доставку биогенных элементов в поверхностный слой и, таким образом, влияющих на интенсивность биопродукционных процессов. Так зоны апвеллингов являются наиболее высокопродуктивными [Гершанович, Муромцев, 1982].

Кандалакшский и Онежский заливы Белого моря различаются своеобразием формирования гидрологической и гидрохимической структуры водных масс.

Воды глубоководного Кандалакшского залива и открытой части Белого моря — Бассейн имеют резко выраженную вертикальную стратификацию, что проявляется и в относительно глубоководных прибрежных районах. А.Н. Пантюлин на основе T-S-анализа выделил поверхностную (ПВМ), промежуточную (ПрВМ) и глубинную (ГВМ) водные массы [Pantjulin, 2003, Пантюлин, 2004].

М.П. Максимовой на основе материалов планомерных экспедиционных исследований Белого моря (с 1956 г.), включающих комплекс гидрохимических показателей: pCO_2 , pH, Alk, O_2 , биогенных элементов — N, P, Si, органического углерода, характеристик первичной продуктивности и деструкции органического вещества — уточнена структура водных масс формирующих глубоководную часть Белого моря и глубоководную зону губ Кандалакшского залива — поверхностную (ПМВ), промежуточную (ПрВМ), глубинную (ГВМ) и даны их гидрохимические и гидрологические характеристики, определенные условиями формирования этих вод, выявлена и обоснована их генетическая природа. ПВМ занимает слой до глубины 10-15 м, в гидрохимическом отношении формирование ПВМ отличается наибольшей сложностью, поскольку протекает под сильным влиянием речного стока, интенсивной жизнедеятельностью

фитопланктона и охватывает слой выше пикноклина. Промежуточная и глубинная водные массы формируются трансформированными водами Баренцева моря, поступающими через Горло, и имеют гидрохимические черты, определенные условиями формирования этих вод. ПрВМ - поверхностными баренцевоморскими водами сформированными в теплое время года, ГВМ – глубинными баренцевоморскими – в холодное время года [Максимова, 1978, 1989, 1991а, 1991б, 2004, 2005а, 2005б, 2007б, Maksimova, 2003].

По результатам сопоставления экспедиционных исследований единовременно всей акватории Белого моря «фонового» природного периода 50-х г., с результатами экспедиционных исследований периода возрастающего антропогенного воздействия 80-х годах установлены характер и интенсивность возросшего антропогенного воздействия на водные массы Белого моря и губы.

Антропогенное воздействие прежде всего отразилось на поверхностной водной массе Белого моря и губах. Показательно увеличение содержание биогенных элементов (а также изменение соотношения БЭ), органического вещества (за счет аллохтонной и автохтонной составляющей ОВ), процессов фотосинтеза – первичной продуктивности и показателей деструкции ОВ), аллохтонного ОВ – за счет профильной целлюльно-бумажной и дерево обрабатывающей промышленности региона.

Корректность сопоставления и сделанных выводов обоснована идентичными исследованиями периода 80-х. годов – с экспедиционными исследованиями 50-х годов по схеме разрезов, расположению станций, комплексу определяемых показателей, а также аналогичными климатическими условиями.

Течения и интенсивность водобмена.

В губах Кандалакшского залива по нашим данным скорости поверхностных течений почти одного порядка – в среднем 0,10-0,30 м/сек. Шхерные районы отличаются разнообразием направлений и скоростей течений, в фьордовых губах наблюдаются реверсивные течения.

Главные особенности гидрологического режима Онежского залива связаны (помимо географического положения) с его морфометрическими характеристиками: относительно большие глубины в Соловецких салмах обеспечивают поступление в залив больших объемов вод, а в результате мелководности всего залива приливные течения очень сильны. Большое значение для гидрологии залива имеет также речной сток, равный 45 км³/

год, из которого на долю реки Онеги приходится около $20 \text{ км}^3/\text{год}$, реки Кемь и Выг несут по $10 \text{ км}^3/\text{год}$, а остальная часть стока приходится на долю рек Поморского и Лямецкого берега. Объем речного стока составляет 19 % от объема водной массы всего залива [Бабков, 1985].

Постоянные течения Белого моря возникают, главным образом, благодаря материковому стоку, сосредоточенному в вершинах заливов, создающего сточные течения вдоль их правых берегов, которые замыкаются в единый циклонический круговорот компенсационными течениями вдоль левых берегов заливов.

Струя постоянного течения из Бассейна входит в залив через Западную Соловецкую и Анзерскую салмы, огибает его берега и выходит через Восточную Соловецкую Салму, образуя в пределах залива циклонические и антициклонические круговороты. Скорости постоянного течения в средней и южной частях залива, как правило, не превышают $0,10\text{-}0,15 \text{ м/сек}$ и лишь в Восточной Соловецкой салме достигают $0,25\text{-}0,35 \text{ м/сек}$ [Бабков, 1985].

Из-за мелководности Онежского залива движение приливной волны замедляется, и приливы в пределах залива становятся полусуточными, мелководными, особенностью которых является разница в продолжительности времени роста и падения уровня: время роста меньше времени падения. Приливные колебания уровня увеличиваются с севера на юг: на границе с Бассейном величина сизигийного прилива составляет около 1 м, в средней части — 2 м, в куту — 3 м.

Приливные течения в Онежском заливе имеют большие скорости и оказывают существенное влияние на особенности его гидрологии. Гидрологическое следствие сильных приливо-отливных течений заключается в интенсивном вертикальном турбулентном перемешивании вод, что приводит к полной вертикальной гомотермии и гомогалинности на большей части акватории Онежского залива. Районы Онежского залива отличаются большим разнообразием направлений и скоростей течений: от $0,10\text{-}0,20 \text{ м/сек}$ в губах до $1,1\text{-}1,2 \text{ м/сек}$ в шхерных районах (Кемские шхеры).

В целом, исследованные нами районы обладают достаточно интенсивными скоростями течений.

4.2. Температура воды.

Температура воды оказывает наиболее многостороннее активизирующее или ингибирующее влияние на гидрохимические, биохимические и гидрологические процессы, протекающие в море. В прибрежных рай-

онах Белого моря наблюдается большая амплитуда температурных колебаний – от минусовых значений зимой до +15 - +20°С летом, в зависимости от местоположения района.

Во всех исследованных районах Кандалакшского залива наблюдался слой температурного скачка на глубине 10-15 м. На глубинах 50-70 м температура в течение всего года ниже 0°С. В более открытых районах Кандалакшского залива – Никольской, Кузокоцкой, Обориной Салме, Ковде - максимальные температуры наблюдались в августе и достигали значений 15°С. В губах кутовой части Кандалакшского залива (Палкиной, Колвице, Княжой), а также в фьордовых губах (Лов, Пильская) максимум температуры приходился на июль.

На большей части акватории Онежского залива вследствие сильных приливных течений наблюдается интенсивное вертикальное турбулентное перемешивание вод, что приводит к вертикальной гомотермии. Температура воды на поверхности летом достигает наиболее высоких для Белого моря значений – >20°С. На акватории Онежского залива распределение температуры летом характеризуется повышением ее значений от Соловецких островов к вершине залива и от его оси к берегам.

4.3. Соленость.

Большое значение для гидробионтов имеет суммарное количество растворенных в воде минеральных солей. Средний солевой состав вод Белого моря весьма близок к солевому составу вод Баренцева моря и Мирового океана, лишь незначительные отклонения наблюдаются в отношении отдельных ингредиентов. В целом же соленость Белого моря сильно понижена по сравнению с Баренцевым морем благодаря обильному материковому стоку, что наиболее ярко проявляется в прибрежных районах, где она значительно меняется во времени и пространстве. Изменения во времени носят сезонный характер.

Низкие солености опресняемого речным стоком поверхностного слоя воды исключают возможность глубокой вертикальной циркуляции. Поэтому в губах глубоководных районов Кандалакшского залива прослеживается слой скачка плотности на глубине 10-20 м. Но в осенний период (в конце августа – сентябре) практически происходит размыв слоя скачка. Исключение составляли устьевые участки губ, где и осенью различие в солености поверхностной и придонной водной массы было значительным.

Распределение солености по акватории Онежского залива характеризуется понижением ее значений от Соловецких островов к вершине

и от середины залива к его берегам. При этом у более отмелого Поморского берега значения солёности, как правило, значительно ниже, чем у Лямецкого берега. Причиной такого распределения солёности является неравномерность берегового стока по берегам залива. Районы с минимальными значениями приурочены к устьям рек. Местоположение максимальных значений солёности для поверхностных вод совпадает с районом аномально холодных вод летом (у Соловецких островов). При этом значения солёности поверхностных вод в северо-восточной части залива выше таковых прилегающей части Бассейна [Савоськин, 1964].

В мелководных губах Онежского залива наблюдается гомогальность. Так в губах Колежма, Сумская, в которые впадают малые реки, солёность практически однородна от поверхности до дна. В губах, подверженных сильному влиянию стока рек – Кемской, Сорокской - наблюдается понижение солёности – в кутовых частях до 0-5 ‰, в водах внешней части губ до 16-20, при солёности придонного горизонта – 24 ‰. В районе Соловецких о-вов солёность всей водной толщи составляет 26-28 ‰.

Примечание: В Приложениях 1-3 представлены таблицы и графики гидрологических характеристик (скорость течений, температура воды, солёность), дополнительно обследованных на базе Сев. ПИИРО по программе развития марихозяйств на Белом море (В.А. Чугайнова).

ГЛАВА 5. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

5.1. Особенности гидрохимии губ Белого моря и условий их формирования

Как уже отмечалось выше, для губ, опресняемых речным стоком, свойственна специфичность гидрохимического режима, фаунистических комплексов, биопродукционных процессов и экосистемы в целом, отличных от прилегающих смежных морских акваторий.

Исследованные губы, разнотипные по морфометрическим характеристикам, речному стоку, гидрологическому режиму, соответственно различаются и по гидрохимическому режиму, первичной продуктивности. Научный анализ в сравнительном аспекте позволил выявить ранговую роль различных факторов в формировании гидрохимического режима и биопродуктивности разнотипных губ. Резкие типовые различия свойственны, прежде всего, губам Кандалакшского и Онежского залива [Максимова, 1991а; Максимова, 1989б, 2005а,б, 2007б; Maksimova, 2003].

Воздействие речного стока. Влияние речных вод на гидрохимический режим губ определяется разницей гидрохимических показателей в речных [Максимова, 1983а] и морских водах, а также объемом речного стока [Максимова, 1989б, 1991а, 2007а,б, Maksimova, 2003]. В соответствии с этим в зоне опреснения снижаются величины солености, щелочности, рН, содержания и насыщения вод растворенным кислородом; и наоборот - повышаются величины парциального давления углекислоты, содержание органического вещества, концентрации валовых азота и фосфора (главным образом, за счет органических соединений – более высокого их содержания в речных водах), в сумме минеральных соединениях азота возрастает доля аммонийного. Соответственно, поля повышенных или пониженных характеристик вышеуказанных гидрохимических компонентов в зонах влияния речного стока в прибрежной зоне Белого моря хорошо выражены на сезонных картах, особенно в весенний паводковый период в работах [Максимова, 1989б, 1991а; Maksimova 2003], а также в Атласе [Максимова, 1991б].

Как отмечалось выше, наиболее полные исследования, как по количеству – 48 рек, впадающих в Белое море (включая средние и малые реки),

так и по комплексу определяемых компонентов, были выполнены в 1961-1962 гг. [Максимова, 1963а,б, 1967а,б, 1983а, 2007а и др.]. Эти исследования позволили характеризовать химический состав вод рек впадающих в Белое море (включая малые и средние), установить закономерности формирования химического состава воды в реках – в основном в зависимости от почвенно-геологических условий водосборного бассейна, а также от ландшафта (горные – Кандалакшское и Карельское побережья, равнинные – Поморское) [Максимова, 1963а, 1963б, 1967а, 1967б, 1983а, 2007а]; а также произвести классификацию рек [Максимова, 1982] впадающих в Белое море по комплексу гидрохимических показателей (ионный состав, газовый режим – кислород и углекислота, биогенные элементы – минеральные и органические формы азота и фосфора, органическое вещество, железо, цветность по платиново-кобальтовой шкале как показатель гуминовых веществ) [Максимова, 1963а, 1982].

Следует отметить жесткую и сильную корреляционную связь практически всех гидрохимических компонентов с цветностью - как показателем высокого содержания гуминовых веществ болотного питания рек. Уравнения регрессии позволяют по показателям цветности рассчитать ряд гидрохимических характеристик с достаточным уровнем достоверности [Максимова, 1982, 1983а].

Представление о характере воздействии речных вод можно получить из показателей гидрохимического состава речных вод.

Химический состав (ионный, органическое вещество, биогенные элементы – минеральные и органические соединения азота и фосфора, Si; растворенный кислород, углекислота, Fe, а также pH, жесткость, цветность) воды 46 рек, впадающих в Белое море, представлен по побережьям – Терское, Кандалакшское, Карельское, Поморское, Лямецкое (табл. 1,2) и осредненных по побережьям (табл. 3, 4) [Максимова, 1983а].

Следует отметить, по данным немногочисленных исследований средних и малых рек на примере Карельского побережья Белого моря в 80-х - 90-х годах [Феоктистов, 2004], химический состав и сток растворенных веществ этих рек по сравнению с данными исследований 60-х годов [Максимова, 1967а,б, 1983а] практически не изменился. В 90-е годы, как и в предыдущие, сохранилось и соотношение выноса растворенных компонентов (ионного состава, биогенных элементов и органического вещества). Малые реки данного региона очевидно не испытывают интенсивного антропогенного воздействия, и формирование их химического состава по-прежнему определяется в основном природными условиями их водосборной площади [Феоктистов, 2004]. Сток главных ионов, биогенных элементов и органического вещества в многоводные

годы был существенно выше, чем в маловодные (в 2 раза и более), поскольку интенсивность химической эрозии возростала с увеличением водности года.

Глубоководные стратифицированные районы Кандалакшского залива – Великая Салма и Чупа (глубины на входе достигают 100-130 м), в которых представлены все три типа водных масс глубоководной части моря (поверхностная, промежуточная, глубинная), проникающие из открытой части Кандалакшского залива, характеризуются и трехслойной гидрохимической структурой. В гидрохимическом отношении промежуточные и глубинные воды этих губ идентичны аналогичным водным массам глубоководной части Кандалакшского залива [Максимова, 1991, Maksimova, 1993]. Некоторые гидрохимические отличия поверхностных вод глубоководных губ от поверхностных вод открытой части моря обусловлены речным стоком, влияние которого на промежуточные и глубинные слои в этих губах вследствие стратификации не распространяется.

В относительно мелководных губах Онежского залива, с глубинами до 10 м и более, подверженных интенсивному влиянию стока весьма крупных рек, например, таких как Выг, Кемь, местами отмечена двухслойная гидрологическая, и соответственно гидрохимическая структура - сильно опресненные поверхностные воды, со свойственными им гидрохимическими показателями, разобщены соленостными градиентами от нижележащих.

Мелководные губы Онежского залива, с преобладающими глубинами до 5 метров (например, Сумская и Колежма), воды которых подвержены перемешиванию до дна под влиянием ветров и приливных-отливных течений, характеризуются гомотермией, гомохалинностью и до известной степени гидрохимической гомогенностью по вертикали. При значительных речном стоке и акватории губ пространственные различия солености и гидрохимических показателей могут быть весьма существенными.

Ионный состав воды рек, впадающих в Белое море (лето 1961-1962 гг.)

Названия рек	Дата отбора пробы	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺ + K ⁺		HCO ₃ [']		SO ₄ ^{''}		Cl [']		Fe ^{...}		Сумма ионов, мг/л
		мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	
Реки Терского побережья																
	1962															
Чапоя	11.VIII	0,339	6,79	0,219	2,66	0,221	5,52	0,618	37,71	0,050	2,40	0,111	3,93	0,038	0,70	60,35
Чаванья	10.VIII	0,098	1,96	0,082	1,00	0,121	3,02	0,180	11,02	0,024	1,15	0,097	3,44	0,028	0,52	22,58
Варзуга	12.VIII	0,256	5,13	0,137	1,66	0,109	2,72	0,393	23,98	0,030	1,44	0,079	2,80	0,052	0,96	39,56
Оленьца	12.VIII	0,151	3,02	0,117	1,42	0,097	2,42	0,248	15,13	0,037	1,78	0,080	2,84	0,064	1,20	28,90
Реки Кандалякского побережья																
	1962															
Умба	3.VIII	0,142	2,84	0,103	1,25	0,097	2,42	0,260	15,90	0,037	1,78	0,045	1,59	0,003	0,06	25,78
Шомба	9.VIII	0,160	3,20	0,119	1,45	0,061	1,52	0,230	14,06	0,063	3,02	0,047	1,66	0,008	0,16	25,21
Кольвица	8.VIII	0,170	3,41	0,090	1,09	0,065	1,62	0,236	14,37	0,054	2,62	0,035	1,24	нет	нет	24,35
Лувенга	8.VIII	0,191	3,83	0,050	0,61	0,050	1,25	0,213	13,00	0,046	2,24	0,032	1,13	нет	нет	22,06
Реки Карельского побережья																
	1961															
Ковда	7.VIII	0,188	3,77	0,126	1,53	0,034	0,80	0,261	15,93	0,059	2,83	0,028	0,99	0,005	0,01	25,85
Черная	4.VIII	0,169	3,39	0,085	1,03	0,073	1,82	0,160	9,76	0,075	3,60	0,092	3,26	0,025	0,47	23,76
Нильма	4.VIII	0,166	3,34	0,104	1,26	0,094	2,35	0,224	13,67	0,076	3,65	0,064	2,27	0,002	0,04	26,54
Пуллонга	1.VIII	0,143	2,86	0,081	0,98	0,113	2,82	0,202	12,33	0,057	2,74	0,078	2,76	нет	нет	24,49

Продолжение таблицы 1

Названия рек	Дата отбора пробы	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na + K		HCO ₃ [']		SO ₄ ^{''}		Cl [']		Fe ^{...}		Сумма ионов, мг/л
		мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	
Кереть	9.VII	0,098	1,95	0,076	0,92	0,053	1,32	0,134	8,18	0,046	2,21	0,047	1,66	0,006	0,12	16,47
Сонрека	31.VII	0,110	2,20	0,068	0,83	0,026	0,65	0,064	3,90	0,047	2,26	0,093	3,30	0,011	0,20	13,52
Великая	29.VII	0,259	5,19	0,183	2,22	-	-	-	-	-	-	0,131	4,64	0,033	0,62	-
Гридина	29.VII	0,083	1,66	0,056	0,68	0,098	2,45	0,091	5,55	0,063	3,02	0,083	2,94	0,010	0,18	16,64
Кятка	29.VII	0,121	2,42	0,079	0,96	-	-	0,048	2,93	0,057	2,74	0,089	3,15	0,052	0,97	14,05
Калга	27.VII	0,090	1,80	0,051	0,62	0,074	1,85	0,102	6,22	0,050	2,40	0,063	2,23	0,016	0,29	15,67
Ундукса	26.VII	0,196	3,93	0,064	0,78	-	-	0,054	3,30	0,064	3,07	0,093	3,30	0,141	2,53	19,40
Воньга	26.VII	0,094	1,88	0,060	0,73	0,086	2,15	0,096	5,86	0,054	2,59	0,090	3,19	0,034	0,64	17,62
Кузема	24.VII	0,077	1,54	0,047	0,57	0,077	1,92	0,080	4,88	0,047	2,26	0,074	2,62	0,032	0,60	14,94
Поньгома	24.VII	0,082	1,64	0,053	0,64	0,088	2,20	0,096	5,86	0,058	2,78	0,069	2,44	0,027	0,50	16,52
Кемь	22.VII	0,128	2,56	0,063	0,77	0,033	0,82	0,160	9,76	0,035	1,68	0,029	1,03	0,011	0,21	17,02
Реки Поморского побережья																
	1962															
Мягрека	10.VII	0,081	1,62	0,408	4,96	-	-	0,054	3,30	0,045	2,16	0,089	3,15	0,073	1,36	17,79
Шуя	16.VII	0,132	2,65	0,210	2,55	-	-	0,119	7,26	0,022	1,06	0,063	2,23	0,054	1,00	17,66
Выг	13.VII	0,136	2,72	0,122	1,48	0,016	0,040	0,166	10,16	0,056	2,66	0,052	1,84	0,021	0,40	20,02
Кузрека	17.VII	0,060	1,20	0,210	2,55	-	-	0,052	3,14	0,048	2,30	0,063	2,23	0,049	0,92	13,18
Вирма	17.VII	0,088	1,76	0,222	2,70	-	-	0,076	4,67	0,029	1,39	0,054	1,91	0,049	0,92	14,19

Названия рек	Дата отбора пробы	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺ + K ⁺		HCO ₃ [']		SO ₄ ^{''}		Cl [']		Fe ⁺⁺⁺		Сумма ионов, мг/л
		мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	
Сума	19.VII	0,135	2,70	0,224	2,72	-	-	0,124	7,57	0,050	2,40	0,061	2,16	0,014	0,26	18,05
Колежма	19.VII	0,133	2,66	0,209	2,54	-	-	0,104	6,34	0,048	2,30	0,065	2,30	0,054	1,00	18,05
Руйга	20.VII	0,106	2,13	0,468	5,69	-	-	0,096	5,58	0,046	2,21	0,065	2,30	0,069	1,28	20,35
Нюхча	20.VII	0,112	2,24	0,220	2,68	-	-	0,102	6,20	0,047	2,26	0,063	2,23	0,048	0,89	17,31
Унежма	20.VII	0,106	2,12	0,236	2,87	-	-	0,092	5,58	0,036	1,73	0,077	2,73	0,063	1,18	17,28
Куше-река	22.VII	0,120	2,40	0,266	3,23	-	-	0,154	9,40	0,048	2,30	0,079	2,80	0,056	1,04	22,12
Малолуйка	23.VII	0,153	3,07	0,253	3,08	-	-	0,192	23,37	0,039	1,87	0,067	2,37	0,057	1,06	35,78
Нилмента	23.VII	0,193	3,88	0,274	3,33	-	-	0,242	14,74	0,052	2,50	0,107	3,79	0,058	1,08	30,30
Онега	25.VII	0,938	18,80	0,574	6,98	-	-	1,034	63,10	0,266	12,77	0,061	2,16	0,018	0,33	104,44
Реки Лямецкого побережья																
1962																
Тамца	28.VII	0,300	6,01	0,282	3,43	0,120	3,00	0,544	36,20	0,070	3,38	0,088	3,12	0,042	0,78	56,63
Кянда	28.VII	0,223	4,47	0,157	1,91	0,156	3,90	0,239	14,58	0,187	8,98	0,110	3,90	0,024	0,45	38,60
Нижма	28.VII	0,230	4,61	0,172	2,09	0,252	6,30	0,284	17,33	0,490	2,35	0,321	11,38	0,012	0,22	44,48
Вейга	27.VII	0,221	4,43	0,207	2,52	0,244	6,10	0,529	32,28	0,027	1,30	0,116	4,11	0,050	0,94	52,54
Лямца	30.VII	0,224	4,49	0,190	2,31	0,233	5,58	0,508	31,00	0,038	1,82	0,091	3,22	0,036	0,68	49,72
Золотица	30.VII	0,093	1,86	0,121	1,47	0,166	4,15	0,138	8,42	0,081	3,89	0,161	5,70	0,043	0,80	27,02

Таблица 2

Органическое вещество, биогенные элементы и газовые условия воды рек, впадающих в Белое море (лето 1961-1962 гг.)

Названия рек	Дата отбора проб	Температура воды, С°	pH	O ₂		CO ₂ , мг/л	Цветность, град.	Окисляемость, мг O ₂ /л		Органическое вещество, мг/л	Минеральный азот* (NH ₄), мг N/л	Органический азот, мг N/л	Рминеральный, мг/л	Органический углерод, мг/л	Si, мг/л	Fe суммарное, мг/л	Жесткость, мг/л
				мг/л	% насыщения			перманганатная	биорганическая								
Реки Терского побережья																	
	1962																
Чалоча	11.VIII	12,5	7,00	9,73	90	2,4	110	12,6	29,6	23,3	0,11	-	0,004	11,1	3,2	0,78	0,544
Чаванья	10.VIII	14,0	6,70	9,28	88	1,9	110	12,1	28,5	22,5	0,11	-	0,004	10,7	1,4	0,60	0,180
Ворзуга	12.VIII	14,9	7,00	9,53	92	2,0	110	13,2	31,3	24,6	0,09	-	0,004	11,7	2,7	1,04	0,393
Оленьца	12.VIII	15,3	6,85	9,17	89	2,3	240	26,1	49,5	39,1	0,14	-	0,041	18,6	4,3	1,22	0,268
Реки Кандалакшского побережья																	
	1962																
Умба	3.VIII	13,4	6,70	9,64	90	2,2	31	7,1	18,3	14,5	0,08	-	0,003	6,9	1,4	0,08	0,245
Шомба	9.VIII	14,0	6,80	9,55	91	2,0	64	12,3	28,4	22,3	0,12	-	0,004	10,6	2,3	0,24	0,279
Ковшица	8.VIII	13,1	7,00	10,31	96	1,6	33	5,0	14,2	11,1	0,08	-	0,003	5,3	2,5	следы	0,260
Лувегга	8.VIII	14,1	6,80	10,10	96	1,6	32	3,6	10,1	8,0	0,07	-	0,003	3,8	3,3	следы	0,241
Реки Карельского побережья																	
Ковда	7.VIII	10,6	6,65	9,71	86	3,6	26	7,2	17,2	13,4	0,03	0,45	0,002	6,4	2,3	0,03	0,314
Черная	4.VIII	17,6	6,60	9,06	92	2,9	140	23,3	36,7	29,0	0,19	0,65	0,002	13,8	2,0	0,60	0,254
Нильма	4.VIII	16,9	6,80	9,59	96	1,2	29	7,7	20,1	15,8	0,07	0,48	0,002	7,5	1,8	0,06	0,270
Пулонга	1.VIII	17,6	7,00	9,29	95	1,4	44	10,6	21,9	17,2	0,04	0,51	0,003	8,2	1,1	0,07	0,224

Названия рек	Дата отбора проб	Температура воды, С°	pH	O ₂		CO ₂ , мг/л	Цветность, град.	Окисляемость, мг O ₂ /л		Органическое вещество, мг/л	Минеральный азот* (NH ₄), мг N/л	Органический углерод, мг/л	Si, мг/л	Fe суммарное, мг/л	Жесткость, мг/л		
				мг/л	% насыщения			перманганатная	биохимическая								
Кереть	9.VIII	17,6	6,80	9,08	92	1,7	49	11,6	23,0	18,1	0,05	0,43	0,002	8,6	1,3	0,12	0,173
Сопрека	31.VIII	17,4	6,65	8,91	90	2,0	85	15,9	33,8	26,7	0,06	0,84	0,001	12,7	2,4	0,28	0,178
Великая	29.VIII	15,8	6,10	7,78	76	7,6	330	49,0	-	~60	0,20	-	0,002	-	3,9	1,02	0,442
Гридина	29.VIII	17,2	6,75	9,02	92	2,1	110	19,5	35,5	27,9	0,18	0,39	0,002	13,3	1,6	0,26	0,139
Кятка	29.VIII	18,1	6,15	8,25	85	5,7	280	48,0	75,4	59,4	0,24	0,49	0,003	28,3	2,6	1,17	0,200
Кагла	27.VIII	19,6	6,45	8,63	90	2,4	75	14,7	27,7	21,8	0,18	0,47	0,003	10,4	1,3	0,37	0,141
Сиг	27.VIII	21,2	6,15	7,78	85	6,0	390	52,9	93,2	73,5	0,48	0,68	0,006	35,0	3,5	2,15	0,502
Хлебная	27.VIII	19,4	5,28	6,68	70	12,5	810	79,6	-	~90	0,44	-	0,008	-	-	4,74	0,459
Ундукса	26.VIII	18,9	5,18	7,08	74	10,3	550	67,4	107,0	84,2	0,48	0,71	0,004	40,1	4,2	2,67	0,260
Вольга	26.VIII	19,2	6,40	8,50	89	3,2	150	23,7	38,8	30,7	0,24	0,50	0,002	14,6	1,6	0,72	0,154
Кузема	24.VIII	18,1	6,40	8,84	91	2,4	110	24,6	-	~40	0,20	0,49	0,006	-	2,1	0,75	0,124
Польногома	24.VIII	17,7	6,40	8,75	89	2,4	130	26,1	54,6	43,0	0,20	0,42	0,006	20,5	2,2	0,63	0,135
Легняя	22.VIII	19,3	6,10	6,89	72	6,8	430	68,1	112,6	88,6	0,27	1,03	0,013	42,2	4,7	2,79	1,479
Кемь	22.VIII	20,8	6,60	8,84	92	2,9	42	14,0	26,1	20,6	0,12	0,73	0,009	9,8	1,7	0,28	0,191
Река Поморского побережья																	
1962																	
Мягрека	10.VIII	14,8	5,30	7,65	74	11,4	450	56,3	93,9	73,9	0,48	-	0,019	35,2	3,2	1,40	0,489
Шуя	16.VIII	11,9	5,90	9,06	82	7,0	230	36,2	65,5	51,7	0,39	-	0,012	24,6	2,3	1,04	0,342
Выг	13.VIII	13,6	6,60	9,79	92	3,6	90	18,3	40,1	31,5	0,22	-	0,008	15,0	1,3	0,40	0,258
Кузурка	17.VIII	11,3	5,20	8,75	78	9,5	340	40,5	68,6	54,0	0,21	-	0,012	25,7	2,2	1,17	0,270
Вирма	17.VIII	11,6	5,50	8,54	77	8,1	290	39,4	68,1	53,6	0,27	-	0,013	25,5	2,0	1,14	0,304

Продолжение

Названия рек	Дата отбора проб	Температура воды, С°	pH	O ₂		CO ₂ , мг/л	Цветность, град.	Окисляемость, мг O ₂ /л		Органическое вещество, мг/л	Минеральный азот* (NH ₄), мг N/л	Органический азот, мг N/л	Р минеральный, мг/л	Органический углерод, мг/л	Si, мг/л	Fe суммарное, мг/л	Жесткость, мг/л	
				мг/л	% насыщения			перманганатная	бихроматная									
Сума	19.VII	14,3	6,35	9,05	86	3,9	140	19,6	42,1	33,2	0,19	-	0,004	15,8	1,4	0,41	0,359	
Колержа	19.VII	14,5	5,70	7,95	76	7,9	260	41,0	74,6	58,8	0,47	-	0,006	28,0	1,9	1,41	0,342	
Руйга	20.VII	14,1	5,00	6,70	64	12,7	440	56,1	91,2	71,8	0,23	-	0,006	34,2	2,1	1,40	0,580	
Нюуча	20.VII	14,6	5,60	7,96	76	8,1	280	44,8	78,2	61,5	0,38	-	0,007	27,3	0,6	1,12	0,332	
Унежма	20.VII	15,2	5,20	7,69	75	8,8	400	55,8	89,2	70,1	0,20	-	0,008	33,4	3,7	1,56	0,342	
Куше-река	22.VII	16,3	6,05	7,66	76	6,7	300	45,5	81,0	63,8	0,20	-	0,007	30,4	3,5	1,24	0,386	
Мало-шуйка	23.VII	16,1	6,50	8,40	83	4,6	260	36,7	65,4	51,4	0,23	-	0,009	24,5	3,8	1,06	0,406	
Нименга	23.VII	18,9	6,60	7,49	78	4,4	270	35,3	65,5	51,7	0,27	-	0,008	24,6	3,0	1,16	0,467	
Онега	25.VII	18,3	7,20	7,39	76	4,4	160	24,9	55,6	43,7	0,15	-	0,010	20,8	2,2	0,34	1,512	
Реки Ляминского побережья																		
1962																		
Тампа	28.VII	13,6	7,00	8,66	81	3,0	300	36,1	61,6	48,5	0,27	-	0,035	23,1	2,9	0,96	0,582	
Кянда	28.VII	13,4	6,90	9,60	90	2,3	230	34,1	60,7	47,9	0,12	-	0,008	22,8	2,7	0,48	0,380	
Нижма	28.VII	15,0	6,80	8,67	84	3,0	110	22,2	44,2	34,9	0,20	-	0,004	16,6	1,5	0,24	0,402	
Вейга	27.VII	14,6	6,90	9,13	88	3,5	230	45,5	52,6	41,4	0,30	-	0,074	19,7	4,0	1,00	0,428	
Ляпча	30.VII	10,8	7,15	10,10	90	1,8	220	27,0	49,5	39,1	0,26	-	0,042	18,6	3,2	0,72	0,414	
Золотина	30.VII	14,2	6,60	8,77	84	4,2	340	36,3	64,8	51,0	0,27	-	0,016	24,3	3,2	0,88	0,214	

*Минеральный азот представлен аммонийным, нитриты и нитраты практически отсутствовали. Только в р. Колвица обнаружены следовые количества NO₃.

Таблица 3

Ионный состав воды рек, впадающих в Белое море (данные осреднены в пределах побережий)

Название побережья / количество рек	Ca ⁺⁺			Mg ⁺⁺			Na ⁺ + K ⁺			HCO ₃ ⁻			SO ₄ ⁻²			Cl ⁻			Сумма ионов, мг/л
	мг/л	мг-экв/л	%	мг/л	мг-экв/л	%	мг/л	мг-экв/л	%	мг/л	мг-экв/л	%	мг/л	мг-экв/л	%	мг/л	мг-экв/л	%	
Терское / 4	4,22	0,211	21,7	1,68	0,139	14,3	3,42	0,137	14,1	21,96	0,360	36,9	1,69	0,035	3,6	3,25	0,092	9,4	37,85
Кандалакшское / 4	3,32	0,166	25,5	1,10	0,091	14,0	1,70	0,068	10,5	14,33	0,235	36,1	2,42	0,050	7,7	1,40	0,040	6,2	24,35
Карельское / 18	2,68	0,124	24,2	0,97	0,072	14,1	1,51	0,060	11,7	7,72	0,128	25,0	2,70	0,057	11,1	2,65	0,071	13,9	18,75
Поморское / 14	2,40	0,120	15,9	3,11	0,256	34,0	0,03	0,001	0,1	8,25	0,121	25,7	2,09	0,044	9,4	2,44	0,070	14,9	20,16
Лямыцкое / 6	4,31	0,215	18,0	2,29	0,188	15,7	4,88	0,194	16,3	23,30	0,374	31,3	3,62	0,075	6,3	5,24	0,148	12,4	44,83
Среднее для всех рек, впадающих в Белое море	3,03	0,173	21,1	1,90	0,156	18,4	1,74	0,070	10,5	12,21	0,194	31,0	2,52	0,052	7,6	2,88	0,081	11,4	25,42

Таблица 4

Органическое вещество, биогенные элементы и газовые условия воды рек, впадающих в Белое море (данные осреднены в пределах побережий)

Название побережья / количество рек	Температура воды, С°	pH	O ₂		CO ₂ , мг/л	Цветность, град.	Окисляемость, мг O/л		Органическое вещество, мг/л	Минеральный азот, мг/л			P минеральный, мг/л	Si, мг/л	Fe суммарное, мг/л	Жесткость, мг/л
			мг/л	% насыщения			перманганатная	бихроматная		NH ₄	NO ₂	NO ₃				
Терекское / 4	14,2	6,89	9,43	90	2,2	140	16,0	34,7	27,4	0,11	0	0	0,11	2,9	0,91	0,346
Кандалакшское / 4	13,6	6,82	9,90	93	1,8	40	7,0	17,8	14,0	0,09	0	0,002	0,09	2,4	0,08	0,256
Карельское / 18	17,9	6,36	8,46	86	4,3	210	31,2	48,2	38,0	0,20	0	0т	0,20	2,1	1,04	0,229
Поморское / 14	14,7	5,91	8,15	78	7,2	280	39,3	69,9	55,0	0,28	0	0	0,28	2,4	1,03	0,376
Ляпикское / 6	13,6	6,89	9,16	86	3,0	240	33,5	55,6	43,8	0,24	0	0	0,24	2,9	0,71	0,403
Среднее для всех рек, впадающих в Белое море	15,7	6,38	8,67	87	4,6	210	30,6	52,2	41,1	0,21	0	0	0,21	2,4	0,91	0,311

В губах в зимний период, как и во всем Белом море, значительно увеличивается соленость поверхностного слоя за счет образования льда и уменьшения материкового стока, а соответственно, и величины щелочности. Весной и в начале лета поверхностные воды наиболее опреснены вследствие таяния льда и притока с суши талых вод. Максимум материкового стока приурочен к весеннему периоду (май-июнь), этот период характерен и наиболее сильным воздействием вод речного стока на химизм губ - когда наиболее проявляются в опресняемых зонах вышеописанные изменения. Следует принимать во внимание и сезонную изменчивость химизма речного стока. Минимально воздействие речного стока на гидрохимию губ в летний меженный период, максимум приходится на период паводка (май-июнь). Август является периодом наиболее устойчивого, сформировавшегося к середине июля, летнего гидрохимического режима губ и меженного стока рек [Максимова, 1963, 1963а,б, 1967, 1967а,б].

Для Белого моря август характеризуется устойчивым $P/C_{\text{фит}}$ коэффициентом фитопланктона и средними величинами первичной продуктивности, близкими к средним за вегетационный период [Федоров, 1977].

Важнейшими интегральными показателями трофики и биопродукционного потенциала экосистемы являются характеристики органического вещества, составляющих его баланса, определяющих роль источников поступления и направленность миграционных процессов ОВ, позволяющие классифицировать морские экосистемы по К.М. Хайлову [1986] как приточные и регенеративные. Только приточные системы способны давать “новую” продукцию – основная причина, по которой прибрежные, особенно эстуарные системы обладают наиболее полезным биопродукционным потенциалом. Основой классификации морских экосистем являются особенности круговорота углерода [Хайлов, 1986]. Для установления классификационной принадлежности морских экосистем необходимо исследование, как экзосоставляющих приходной и расходной части баланса, так и внутриводоемных процессов - первичного синтеза органической материи, а также бактериальной деструкции ОВ, сбалансированности продукционно-деструкционных процессов. Наиболее продуктивными являются водные экосистемы, в которых сочетается интенсивный приток и интенсивный круговорот вещества и энергии [Максимова, 1989б, 1991а, Maksimova, 2003].

Таким образом, особое значение в изучении экосистем губ в силу их специфики приобретает органическое вещество - формирование состава ОВ, трансформация, уровень сбалансированности продукционно-деструкционных процессов [Максимова, 1991а, Maksimova, 2003], поэтому органическому веществу отводится в настоящей работе приоритетная

роль. Следует подчеркнуть, что углеродный цикл функционально связан с карбонатной системой, кислородным режимом, биогенными элементами, которые будут освещены ниже, в последующих разделах.

5.2. Органическое вещество

Органический углерод в воде разнотипных губ Белого моря: Великая Салма, Чупа, Поньгома, Кемская, Сорокская, Сумская, Колежда – определялся только в 1987 г. [Максимова, Владимирский, 1990; Максимова, 1989б, 1991а,б, 1991]. В водах открытого моря Бассейн и заливов Кандалакшского, Онежского, Двинского заливов – в 1982-1984 гг.

Концентрация органического углерода в летний период изменялась в широких пределах по акватории и глубинам (от 3,5 до 10 мг $C_{\text{орг}}/\text{л}$), при наиболее высоком содержании в мелководных (средневзвешенная > 5-6 мг $C_{\text{орг}}/\text{л}$), и пониженным – в глубоководных губах (средневзвешенная < 4,5 мг $C_{\text{орг}}/\text{л}$). Характерно возрастание $C_{\text{орг}}$ по мере приближения к вершинам губ и устьям рек, и понижение – с глубиной. В стратифицированных районах (Великая Салма, Чупа), при доминантной закономерности уменьшения концентрации $C_{\text{орг}}$ с глубиной, четко выражено увеличение в слое пикноклина, иногда превышавшее концентрацию $C_{\text{орг}}$ поверхностных вод. Увеличение концентрации органического вещества в слое скачка плотности связано с замедленным в нем опусканием органической взвеси. Характер распределения органического углерода в разнотипных губах Белого моря представлен в таблицах 5-12.

Подробные сведения об органическом углероде в губах Белого моря, в формировании состава органического вещества (аллохтонном и автотонном), первичной продуктивности и сбалансированности продукционно-деструкционных процессов представлены в монографии М.П. Максимовой [1991а], а также в публикациях [Maksimova, 2003, Максимова, Владимирский, 1990].

Ключевое положение, определяющее трофику моря, как уже отмечалось выше, занимает органическое вещество, поскольку интегральным показателем функционирования экосистемы является углеродный цикл, и антропогенное нарушение экосистемы сказывается, прежде всего, в нарушении углеродного цикла и разбалансированности продукционно-деструкционных процессов, так как углерод является наиболее технофильным элементом [Максимова, 1987, 1991, Maksimova, 2003].

Для Белого моря в современный период интенсивного антропогенного воздействия проблема углеродного цикла приобретает особую остроту,

вследствие того, что профилирующая промышленность региона — лесозаготовительная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная, поставляет стойкое к окислению органическое вещество лигнино-гумусового комплекса, что в условиях сурового климата с затрудненной способностью к самоочищению представляет угрозу экосистеме и требует серьезного изучения. Для прибрежной зоны моря, и, особенно для губ, этот фактор наиболее актуален, так как в устьях рек, впадающих в губы, в основном и расположены населенные пункты и промышленные комплексы.

Следует отметить, что по результатам исследований М.П. Максимовой [Максимова, 1984, 1991a, Maksimova, 2003], в Белом море установлено увеличение концентрации органического вещества вследствие интенсивного антропогенного воздействия, по сравнению с фоновым периодом: в поверхностной водной массе (ПВМ) - на 40 %, в промежуточной водной массе (ПрВМ) - на 20 %, в глубинной водной массе (ГВМ) - около 10%. Содержание органического углерода в фоновый период составляло (средневзвешенные величины мг $C_{орг}$ /л): ПВМ — $3,40 \pm 0,34$, ПрВМ — $3,14 \pm 0,29$, ГВМ — $3,06 \pm 0,14$; в период интенсивного антропогенного воздействия возросло соответственно: в ПВМ — $4,68 \pm 0,13$, ПрВМ — $3,85 \pm 0,14$; ГВМ — $3,32 \pm 0,14$ (таблицы 5-12).

В водах губ в фоновый период содержание органического углерода, к сожалению, не определялось; первое определение органического углерода в губах выполнено в 1987 [Максимова, Владимирский, 1990; Максимова, 1991].

В реках, впадающих в Белое море, в период интенсивного антропогенного воздействия существенно возросла концентрация органического вещества, главным образом, в воде крупных (Северная Двина, Онега) и средних (Выг, Кемь) рек под воздействием промышленной и муниципальной деятельности. Так, органический сток Северной Двины в период 1969-1978 гг., составивший 3,48 млн. т ОВ [Кузнецов, 1981], возрос по сравнению с концом 50-х годов (2,80 млн. т ОВ), на 25%. Воды малых рек, впадающих в Белое море, в значительно меньшей степени подверглись антропогенному влиянию, в связи с тем, что их бассейны, как правило, слабо освоены промышленностью и сельским хозяйством.

Более значительное возрастание содержания органического вещества в поверхностных водах Белого моря за счет антропогенного воздействия, по сравнению с водами речного стока, обусловлено двойным воздействием не только за счет непосредственного приноса реками антропогенного ОВ, но и за счет увеличившегося поступления в море биогенных элементов антропогенного генезиса, и, как следствие, возрастания первичной продуктивности в море. Можно отметить, что Белое море по первичной продуктивности постепенно перемещается из олиготрофного типа — в мезотрофный.

Таблица 5

Содержание органического углерода в водах пролива Великая Салма, мг/л

Гори- зонг, М	65° 29, 0' с.ш. 33° 42, 2' в.д.			65° 30, 3' с.ш. 33° 28, 9' в.д.			66° 32, 4' с.ш. 33° 13, 8' в.д.			66° 28, 3' с.ш. 33° 28, 6' в.д.			65° 28, 8' с.ш. 33° 22, 5' в.д.			Среднее по раз резу С _{опр}
	С _{опр}	S%o	T °C	С _{опр}	S%o	T °C	С _{опр}	S%o	T °C	С _{опр}	S%o	T °C	С _{опр}	S%o	T °C	
0	5,40	21,64	11,62	4,87	20,37	11,64	3,95	23,45	13,14	3,99	23,59	11,64	3,32	23,20	12,70	4,51
5	-	23,23	11,64	4,61	20,86	11,69	4,31	23,42	12,06	4,25	23,66	11,30	4,12	23,44	11,75	4,32
10	3,39	24,38	11,44	4,55	23,27	11,71	4,87	23,50	11,75	4,00	23,73	11,25	4,08	23,57	11,42	4,18
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,10	23,79	11,20	-	-	4,10
25	4,66	24,98	10,38	4,71	24,72	7,70	4,40	24,43	8,29	-	-	-	-	-	-	4,59
50	4,41	27,27	-0,31	3,81	26,79	0,64	3,87	26,45	1,55	-	-	-	-	-	-	4,03
75	4,32	28,47	-0,92	3,66	28,09	-0,81	6,63	27,99	-0,46	-	-	-	-	-	-	4,87
100	3,99	28,93	-1,36	3,66	28,66	-0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,83
120	3,84	29,27	-1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,84
200	3,90	-	-1,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,90
М _{срв}	4,10	-	-	4,08	-	-	4,64	-	-	-	-	4,10	4,16	-	-	4,10

Примечание: М_{срв} – средневзвешенная

Таблица 6

Содержание органического углерода в водах губы Чуца, мг/л

Горизонт, м	66° 23, 2' с.ш. 33° 50, 5' в.д.			66° 19, 9' с.ш. 33° 39, 6' в.д.			66° 19, 3' с.ш. 33° 31, 0' в.д.			66° 16, 2' с.ш. 33° 08, 1' в.д.			Среднее по разрезу C _{орг}
	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	
0	3,66	21,83	11,26	4,15	21,91	11,56	4,97	19,74	11,66	7,60	13,82	12,82	5,10
5	-	23,04	11,44	-	21,96	11,62	-	22,84	10,86	4,75	22,02	9,03	4,75
10	3,79	23,98	12,16	4,13	23,79	11,76	4,62	23,65	10,88	4,50	23,01	7,87	4,26
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,34	23,55	7,66	4,34
25	3,66	24,50	10,11	4,64	24,32	9,20	3,59	24,15	9,54				3,96
50	4,43	27,73	-0,33	5,87	26,76	1,49	3,93	26,87	1,59				4,74
75	3,85	28,47	-0,92										3,85
M _{взл}	3,97			4,77			4,07			5,09			4,35

Таблица 7

Содержание органического углерода в водах губы Поньгома, мг/л

Горизонт, м	65° 22, 1' с.ш. 34° 42, 2' в.д.			65° 21, 2' с.ш. 34° 15, 1' в.д.			Среднее по разрезу C _{орг}
	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	
0	3,90	24,43	10,34	4,68	24,09	10,31	4,29
5	5,26	24,49	10,38	4,63	27,86	10,22	4,94
10	3,85	24,87	10,32	4,57	24,03	10,24	4,21
15	-	-	-	4,38	24,92	9,77	4,38
25	5,04	24,93	9,91				5,04
M _{взл}	4,49			4,58			4,60

Таблица 8

Содержание органического углерода в водах губы Кемская, мг/л

Гори- зонт, м	64° 53, 35' с.ш. 35° 02, 45' в.д.			64° 58, 2' с.ш. 34° 55, 85' в.д.			У Рабочеостровска			Среднее по разрезу С _{орг}
	С _{орг}	S‰	T °C	С _{орг}	S‰	T °C	С _{орг}	S‰	T °C	
0	5,01	23,06	9,46	4,98	19,77	9,83	8,84	5,00	12,24	6,28
5	4,65	23,26	9,38	5,00	22,13	9,60	7,32	17,36	10,68	6,65
10	4,28	23,40	9,31	5,54	22,58	9,54	4,57	21,51	10,00	4,80
15	4,27	23,43	9,32	5,21	22,82	9,54				4,27
25	4,26	23,50	9,33	4,55	23,29	9,54				4,26
М _{взв}	4,42			5,07			7,01			4,78

Таблица 9

Содержание органического углерода в водах губы Сорокская, мг/л

Гори- зонт, м	64° 32, 8' с.ш. 35° 06, 15' в.д.			64° 32, 2' с.ш. 35° 00, 1' в.д.			У мола перед входом в порт			Среднее по разрезу С _{орг}
	С _{орг}	S‰	T °C	С _{орг}	S‰	T °C	С _{орг}	S‰	T °C	
0	5,80	15,71	11,84	6,80	14,94	12,54	5,85	0,00	12,67	6,15
5	4,79	23,08	10,36	5,62	19,92	11,04	-	0,00	12,70	5,20
10	4,30	23,77	10,00	4,44	23,52	10,74				4,37
15	3,84	34,46	9,64							3,84
М _{взв}	4,69			5,62			5,85			4,85

Таблица 10

Содержание органического углерода в водах губы Сумская, мг/л

Горизонт, м	64° 31, 95' с.ш. 35° 14, 95' в.д.			64° 20, 0' с.ш. 35° 24, 9' в.д.			64° 25, 5' с.ш. 35° 26, 6' в.д.			Среднее по разрезу C _{орг}
	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	
0	6,25	19,59	11,20	6,19	19,05	12,66	6,65	17,96	11,80	6,36
5	5,76	19,72	11,08	5,91	19,24	11,16	6,95	18,13	10,74	6,21
10	5,95	19,67	11,01							5,95
M _{взв}	5,99			6,05			6,80			6,17

Таблица 11

Содержание органического углерода в водах губы Колежма, мг/л

Горизонт, м	64° 20, 4' с.ш. 35° 05, 05' в.д.			64° 15, 4' с.ш. 36° 00, 9' в.д.			64° 17, 0' с.ш. 36° 03, 0' в.д.			Среднее по разрезу C _{орг}
	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C	
0	4,73	22,75	11,58	5,72	22,19	11,68	5,74	21,75	11,60	5,40
5	4,72	22,77	11,56	5,63	22,27	11,50	6,57	21,83	11,15	5,64
10	4,71	22,77	11,54							4,71
M _{взв}	4,72			5,68			6,16			5,25

Таблица 12

Содержание органического углерода в водах Онежского залива, мг/л

Горизонт, м	На траверзе о. Жужмуй			На траверзе о. Кондостров			Среднее по разрезу C _{орг}	Кемские шхеры 64° 56, 2' с.ш. 35° 10, 8' в.д.		
	C _{орг}	S‰	T °C	C _{орг}	S‰	T °C		C _{орг}	S‰	T °C
0	4,29	24,44	9,66	3,84	24,86	9,88	4,06	4,15	24,39	9,06
5	4,20	24,58	9,52	3,67	24,85	9,82	3,94	4,86	24,46	8,81
10	3,84	25,57	8,12	3,76	24,86	9,74	3,80	4,58	24,51	8,85
15	3,75	25,65	7,99	3,62	24,88	9,70	3,68	4,30	24,53	8,85
25	3,58	25,82	7,72	3,35	24,91	9,60	3,46			
50	3,57	25,87	7,60	3,68	24,91	9,57	3,62			
M _{взв}	3,73			3,57			3,65	4,56		

Формирование состава органического вещества в губах происходит в основном в результате взаимодействия первичного автохтонного ОВ, продуцируемого фитопланктоном (в меньшей степени - макрофитами) и аллохтонного терригенного ОВ, поступавшего с речными водами. Средний показатель органического стока рек Белого моря - около 10 т/км²/год. Первичная продуктивность оценивается для разнотипных губ порядка 10-45 г С/м²/год, при вероятной межгодовой изменчивости от 55% до 80 % от средней величины.

В открытой стратифицированной части глубоководных губ фьордового типа в летний период продуктивность фитопланктона может ограничиваться питательными солями и, в первую очередь, минеральными соединениями азота, вследствие их истощения в фотическом слое и замедленной минерализации. В мелководных губах, хорошо перемешиваемых до дна и, особенно, с большим речным стоком, продуктивность фитопланктона ограничивается фактором освещенности вследствие мутности вод [Максимова, 1989б, 1991, 1991а,б, Maksimova, 2003].

В годовом балансе органического вещества мелководных, подверженных сильному воздействию речного стока губ, преобладает аллохтонное органическое вещество терригенного генезиса над автохтонным (в десятки и сотни раз); в губах с малым речным стоком – в несколько раз. В глубоководных губах фьордового типа, с небольшим речным стоком, терригенное ОВ в балансе органического вещества лишь незначительно превалирует над автохтонным, а в некоторых, возможно, и уступает ему. При интенсивном водообмене губ со смежной акваторией моря вынос органического вещества превышает поступление с компенсационным течением. Превалирующая роль в водах губ терригенного ОВ над автохтонным подтверждается отрицательной корреляционной связью распределения органического углерода с соленостью ($r = -0,83 \pm 0,07$; $p = 0,96$) и слабой связью с первичной продуктивностью ($r = 0,28 \pm 0,19$; значимой при $p = 0,70$) [Максимова, 1989б, 1991, 1991а,б; Maksimova, 2003].

Следует отметить и роль аллохтонного органического вещества речного стока (поступающего в основном со стоком рек в губы, являющиеся зоной смешения речных вод с морскими) в общем балансе органического вещества в Белом море. Специфичность Белого моря заключается, прежде всего, в превалировании в балансе органического вещества терригенного ОВ, поставляемого реками, стойкого к биохимическому окислению (2,68 млн. т $C_{орг}$); уступает ему автохтонное ОВ, продуцируемое фотосинтезирующими организмами (около 1,75 млн. т) и ОВ, вносимое из Баренцева моря при водообмене (2,00 млн. т). Специфика формирования состава органического вещества Белого моря обусловлена комплексом таких

факторов как: мощный материковый сток гумидной зоны, богатый ОВ; короткий вегетационный период фотосинтезирующих организмов; интенсивный водообмен с Баренцевым морем, при резкой стратификации и известной изоляции поверхностных вод от нижележащих. Средоточие терригенного и автохтонного органического вещества (в сумме около 70 % годового прихода ОВ) в тонком поверхностном слое, вследствие стратификации, обусловило его высокую концентрацию - в фоновый период в среднем $3,45 \pm 0,14$ мгС_{орг}/л, в современный – $4,68 \pm 0,13$ мгС_{орг}/л, особенно высокую в опресняемых водах, вблизи устьев рек (до 15 мгС_{орг}/л и выше). В расчете на объем поверхностной водной массы за год поступает за счет первичной продукции около 2,3 мгС_{орг}/л, и около 3,5 мгС_{орг}/л – за счет речного стока (соответственно, 40% и 60% от их суммы). Воды речного стока значительно богаче морских органическим веществом. Таким образом, в годовом балансе органического вещества Белого моря около 40,7 % приходится на долю органического вещества вносимого реками. При этом годовой водный сток рек составляет 4,5 % от водной массы моря, а органический сток рек достигает 15 % от органического вещества, содержащегося в море [Максимова, 1991а, 2004; Maksimova, 2003].

5.3. Первичная продуктивность. Бактериальная деструкция и сбалансированность продукционно-деструкционных процессов ОВ

5.3.1. Первичная продуктивность.

Первичная продуктивность в Белом море определяется совокупностью факторов, роль которых может меняться в сезонном и региональном аспектах. К важнейшим факторам среды, контролирующим продуктивность фитопланктона, относятся: освещенность, температура, соленость, устойчивость вод и питательные соли.

В летний период в результате расходования биогенных элементов за счет фотосинтетической деятельности фитопланктона и разбегания этого слоя в условиях стратификации от нижележащих вод, богатых питательными солями, может возникнуть дефицит питательных солей и лимитирование ими первичной продуктивности. Фактор обеспеченности питательными солями имеет особое значение в высокоширотных водоёмах, где регенерация биогенных элементов в условиях низких температур замедлена [Максимова. 1972, 1976, 1977, 1977а,б, 1986б].

В прибрежных районах Белого моря, особенно в мелководных губах с сильными приливными течениями и, кроме того, подверженных

влиянию речного стока, создаётся сложная комбинация факторов среды. Большую роль играет комплексное влияние и соотношение таких факторов среды, как морфометрия - открытость или относительная замкнутость губ, общая глубина, рельеф дна, стратификация вод и глубина залегания пикноклина, интенсивность ветрового и приливного-отливного перемешивания вод, повышенная мутность и светопоглощение вод, обусловленное взвесью, вносимой реками и взмучиванием донных осадков на мелководье.

Высокая мутность резко увеличивает светопоглощение и уменьшает толщину фотического слоя, но фитопланктон в таких губах обычно лучше обеспечен питательными солями по сравнению с глубокими, стратифицированными районами. Фотический слой в Белом море среднем составляет 10 м. Максимум первичной продукции, как правило, приурочен к поверхности и не заглубляется более 2,5-5 м.

Первичная продуктивность Белого моря исследована довольно слабо. Работы проводились в основном в Бассейне и Кандалакшском заливе. Впервые продуктивность фитопланктона в губах Кандалакшского и Онежского залива была измерена в августе 1987 г. Полученные нами в 1987 году данные по первичной продуктивности губ очевидно можно аппроксимировать как средние характеристики для вегетационного периода. Так как исследования проводились в августе – в период биологического лета – когда, как установлено эмпирически [Федоров, Бобров, 1977], продуктивность фитопланктона близка к среднесуточной за весь период вегетации.

Материалы по сезонной и межгодовой изменчивости первичной продуктивности разнотипных губ Белого моря впервые были получены в период 1987-1997 гг.

По первичной продуктивности Белое море в целом, согласно принятой классификации [Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977 и др.], можно отнести к переходной фазе – от олиготрофного типа к мезотрофному типу [Максимова, 1989б, 1991а, Maksimova, 2003]. Первичная продуктивность разнотипных губ Белого моря варьирует в довольно широких пределах.

Глубоководные районы Кандалакшского залива – Великая Салма и Чупа, воды которых в глубоководной части стратифицированы, несмотря на большую прозрачность и толщину фотического слоя, по уровню ПП несколько уступают мелководным губам Онежского залива. В среднем, по имеющимся данным, ПП губ Великая Салма и Чупа близка 100 мг С/м³/сут (200 мг С/м²/сут), при варьировании для отдельных станций в пределах 53-193 мг С/м³/сут (113-407 мг С/м²/сут) (табл. 13). В проливе Великая Салма отмечено повышение продуктивности в водах стратифи-

цированной глубоководной части ($> 100 \text{ мг С/м}^3/\text{сут}$) и понижение в перемешанных прибрежных водах ($< 100 \text{ мг С/м}^3/\text{сут}$). Слой эффективного фотосинтеза в открытой глубоководной части этих районов варьируется в пределах от 5 до 10 м. В мелководной прибрежной зоне глубина его уменьшается до 2-3 м.

Величины ПП в губах Пильская, Палкина, Кузокоцкая, Соностров приблизительно одного порядка. Слой эффективного фотосинтеза около 10 м (глубины около 20 м). В губе Пильской заметно повышение продуктивности на станции 3, расположенной на входе в губу (табл. 14).

Таблица 13

Первичная продуктивность вод Великой Салмы и Чупы в августе 1987 г.

Район	№ ст.	Первичная продуктивность	
		мг С/м ³ /сут	мг С/м ² /сут
Великая Салма	1	75	159
	2	60	128
	3	75	159
	4	150	317
	5	75	159
Чупа	6	225	474
	7	75	159
	8	60	128
	9	53	113

Таблица 14

Первичная продуктивность вод в губах Кандалашского залива в августе 1989 г.

Район	№ ст.	Первичная продуктивность	
		мг С/м ³ /сут	мг С/м ² /сут
Пильская	1	68	145
	2	59	126
	3	98	208
Палкина	2	83	176
Кузокоцкая	2	79	168
Соностров	6	75	159

Согласно произведенным исследованиям, первичная продуктивность губ Онежского залива в среднем близка 100 мг С/м³/сут (200 мг С/м²/сут), при варьировании на отдельных станциях в весьма широких пределах - от минимальной 10 мг С/м³/сут (23 мг С/м²/сут) в мутных водах эстуария р. Кемь до максимальной - 375 мг С /м³/сут (789 мг С/м²/сут) в центральной части губы Сорокской (табл. 15).

Как видно из таблицы 15, наиболее высокой первичной продуктивностью отличаются мелководные губы Онежского залива с глубинами в пределах 10-15 м (Сумская и Колежма). Для этих губ характерно интенсивное перемешивание вод до дна, малая прозрачность (в пределах 0,5-1,5 м) и толщина фотического слоя 1-5 м.

Несмотря на интенсивное перемешивание и вынос планктона из фотического слоя, клетки фитопланктона из-за малых глубин не теряют жизнеспособности, зато фактор перемешивания вод, очевидно, обуславливает лучшее обеспечение питательными солями. В мелководных губах Онежского залива ПП обычно более 100 мг С/м³/сут (>200 мг С/м²/сут) и в среднем по губам составляет около 120-150 мг С/м³/сут (250-300 мг С/м²/сут). Интересно отметить для губ Кемская и Сорокская тенденцию некоторого повышения ПП в их центральных частях.

Таблица 15

Первичная продуктивность в губах Онежского залива в августе 1987 г.

Район	№ ст.	Первичная продуктивность	
		мг С /м ³ /сут	мг С /м ² /сут
Кемская	12	10	23
	13	68	145
	14	60	128
Кемские шхеры	15	53	113
Сорокская	16	128	271
	17	375	789
	18	90	191
Сумская	21	180	380
	22	128	271
	23	224	472
Колежма	24	150	317
	25	150	317
	26	150	317
Онежский залив	27	53	113
	28	222	468

В поверхностных водах Онежского залива в июле 1997 г. величины первичной продуктивности распределялась следующим образом: в юго-восточной части залива наблюдалось увеличение ПП к центру залива – от 19 мг С/м³/сут на прибрежных станциях до 364 мг С/м³/сут к центру залива. В северной части залива, у Карельского берега, ПП составляла 7-8 мг С/м³/сут, увеличивалась к Соловкам до 30 мг С/м³/сут и достигала значений 200 мг С/м³/сут к Онежскому (Лямецкому) берегу [Чугайнова, 2000].

Предыдущие исследования первичной продуктивности в центральной части Онежского залива проводились в 1987 и 1990 гг. В августе 1987 г. ПП составляла 53 мг С/м³/сут на широте Колежмы и 222 мг С/м³/сут – у островов Жужмуй; в июле 1990 г. в р-не Пушлахты – 250 мгС/м³/сут, южнее Соловецких о-вов – более 100 мгС/м³/сут. Эти показатели свидетельствуют об относительной стабильности продукционных процессов в Онежском заливе в летний период (рис. 4).

Сопоставляя карту распределений ПП с картами температуры и солености, а также с распределением кислорода, и учитывая скорости и направления постоянных течений [Максимова, 1991а, 1991б], очевидно, что продукционные процессы в Онежском заливе обусловлены, прежде всего, особенностями его гидродинамики. Так зоны повышенной продуктивности вдоль желоба залива соответствуют циркуляционным течениям, возникающим вследствие приливных явлений. Высокое содержание минеральных форм биогенных элементов (нитратов – 4,15 мкг-ат/л, фосфатов – 0,44 мкг-ат/л) и органического азота (21,2 мкг-ат/л), а также насыщенности кислородом (более 105%), подтверждают высокую интенсивность продукционных процессов в центральной части Онежского залива.

Сезонные наблюдения за изменением ПП проводились в губе Троицкой (табл. 16), в пр. Печаковская Салма (Соловецкие о-ва), в Пушлахте и в Соностровской.

В 1990 г. в пр. Печаковская Салма ПП составляла весной около 100 мгС/м²/сут (при варьировании 5-333 мгС/м²/сут), летом до 40 (30-145) мгС/м²/сут, осенью – около 25 (20-48) мг С/м²/сут. В губе Пушлахта в 1989 г. ПП изменялась следующим образом: май - 106, июнь - 520, июль - 325, август - 270 мгС/м²/сут. Наблюдения в губе Пушлахте велись в прибрежной мелководной зоне с густыми зарослями макрофитов.

В районе Сонострова в 1990 г. максимальные значения первичной продукции были зарегистрированы в первой половине июня (рис. 5).

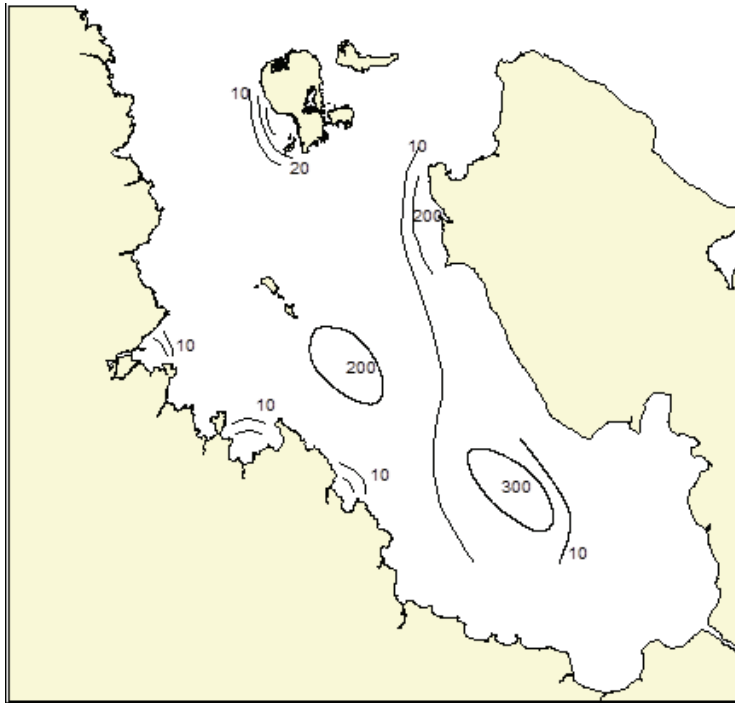


Рис. 4. Распределение величин ПП (мгС/м³/сут) на акватории Онежского залива (1987-1999 гг.)

Таблица 16

Первичная продуктивность в водах губы Троицкой

месяц	1986 год			1987 год		
	t, °C	мг С/м ³ /сут	мг С/м ² /сут	t, °C	мг С/м ³ /сут	мг С/м ² /сут
апрель		-	-	-1,0	23	49
май	3,5	221	466	0,0	145	306
июнь	8,0	164	346	5,0	169	358
июль	10,0	100	212		-	-
август	10,8	93	197		-	-
сентябрь	8,5	45	96		-	-

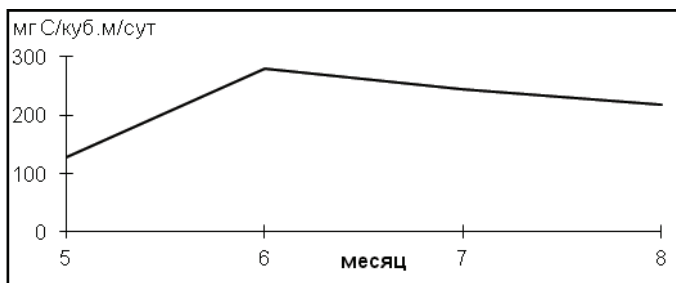
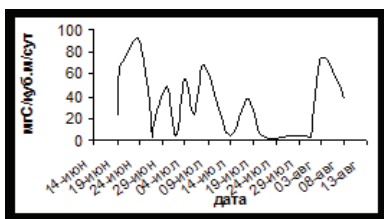


Рис. 5. Сезонная динамика первичной продукции вод в районе Сонострова в 1990 г.

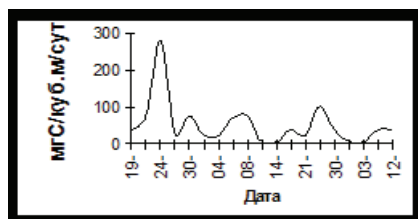
Как следует из вышеизложенных данных, ПП уменьшается к осени, показывая максимальные величины в мае - первой половине июня, в зависимости от климатических условий года.

Фотический слой в северной части Онежского залива в среднем составляет 15 м. В течение лета 1997 г. в пр. Печаконская Салма была измерена величина ПП на разных горизонтах. Максимум первичной продукции был зафиксирован на глубине 5 м (рис. 6), что не противоречит ранее произведенным исследованиям [Белая, Федоров, 1972; Максимова, 1991].

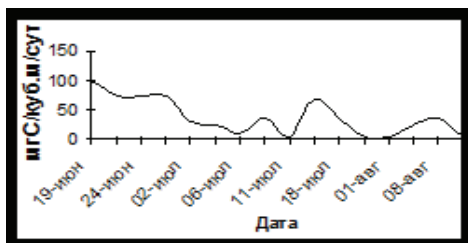
По нашим дальнейшим наблюдениям за изменением процессов продуцирования в начале 21 века, значения первичной продукции (ПП) в Печаконской Салме варьировали в широком диапазоне, что обусловлено межгодовыми изменениями факторов внешней среды (погодных условий, освещенности, количества биогенных элементов и т.д.). В весенний и летний периоды отмечены высокие уровни фотосинтеза фитопланктона. Однако следует отметить, что весенние наблюдения проводились в конце мая, когда пик цветения фитопланктона, обусловленный сходом льда, уже прошел. Осенью и зимой при низкой температуре воды и освещенности, величины ПП находились на уровне предела чувствительности кислородного метода. Однако в последние годы (с 2003 года) в осенний период значения ПП заметно повысились, что вероятно связано с повышением температуры воды в этот период (рис. 7).



Поверхность



5 метров



10 метров

Рис. 6. Динамика ПП на различных горизонтах в пр. Печаковская Салма летом 1997 г.

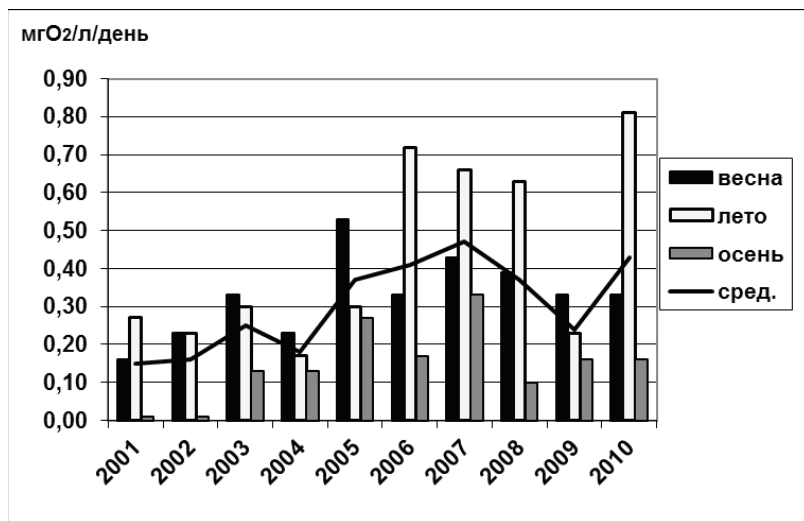


Рис. 7. Сезонная и межгодовая динамика первичной продуктивности в водах пролива Печаковская Салма в 2001-2010 гг.

Если рассматривать районы Кандалакшского и Онежского заливов в сравнительном аспекте, то ПП районов Онежского залива значительно выше ПП районов Кандалакшского залива. По имеющимся у нас данным по районам Кандалакшского залива можно сказать, что величины ПП примерно одинаковы и увеличиваются на “морских” станциях, часто в стратифицированных водных массах (Великая Салма, Пильская). В целом по Онежскому заливу ПП увеличивается к центральным частям губ и к середине самого залива и уменьшается к северным его районам - Соловки, Кемские шхеры.

5.3.2. Деструкция органического вещества и сбалансированность продукционно-деструкционных процессов

Бактериальная деструкция. Взаимосвязанные процессы первичного продуцирования — синтеза и деструкции органического вещества, наряду с его содержанием, характеризуют уровень трофности экосистемы и ее сбалансированности, степень интенсивности круговорота углерода в водоеме (Максимова, 1984б, 1986б, 1989б, 1991а; Maksimova, 2003). Деструкция органической материи в основном обусловлена бактериальными процессами, несколько ускоренными за счет метаболизма гидробионтов. Впервые синхронно продукционно-деструкционные процессы в разнотипных губах Белого моря исследованы в 1987 г. (табл. 17) [Максимова, 1989б, 1991а, Maksimova, 2003].

В водах губ в летний период бактериальной деструкции *in situ* подвергается за сутки от 0,05 до 0,25 мгС/л (наиболее типичные величины 0,07-0,10 мгС/л/сут), что составляет 1-2% от содержания ОВ (табл. 17). Характерно снижение деструкционных процессов ОВ от вершин губ к внешнему краю. В летний период продукционно-деструкционные процессы ОВ относительно сбалансированы лишь в самых мелководных губах; в толще вод глубоководных губ деструкция органического вещества значительно превалирует над первичным синтезом органической материи и летом (в глубоководной части — в 10-20 раз, в прибрежной — в 2,5-10 раз). В балансе органического вещества губ в годовом аспекте преобладает деструкция ОВ над фотосинтезом ОВ. Превалирование деструкции органического вещества над его синтезом в балансе органического вещества губ компенсируется поступлением аллохтонного ОВ с материка [Максимова, 1989б, 1991а, 2004; Maksimova, 2003].

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) в губах Белого моря, мгО₂/л

Губа	На входе в губу									Центральная часть губы									Кутовая часть губы				
	Горизонт, м									Горизонт, м									Горизонт, м				
	0	5	10	15	25	50	75	100	М _{топ}	0	5	10	15	25	50	75	М _{топ}	0	5	10	15	М _{топ}	
	БПК ₅ при 20 С																						
Великая Салма	1,05	0,52	0,34	0,45	0,67	0,93	1,04	1,95	0,97	0,76	0,69	0,62	0,64	0,69	0,82	0,57	0,71	1,40	0,72	0,21			0,76
Чула	0,95	0,71	0,47	0,49	0,51	1,83	1,47		1,13	1,31	0,93	0,55	0,63	0,80	0,58		0,74	1,31	0,74	0,70	0,80		1,06
Поньгома	0,76	0,64	0,55	0,50	0,54				0,57	0,70	0,60	0,30	0,27				0,46	0,82	0,76	0,71	0,72		0,75
Кемская	0,28	0,27	0,33	0,30	0,28				0,29	0,35	0,32	0,29	0,30	0,67			0,38	0,46	0,49	0,41			0,46
Сорокская	1,35	0,60	0,60	0,61					0,43	1,00	0,80	0,62					0,81						
Сумская	0,48	0,72	0,70						0,66	0,80	0,57						0,69	0,69	0,45				0,57
Колежма	0,37	0,28	0,51						0,36	0,64	0,45						0,55	0,80	0,55				0,68
	БПК ₅ in situ																						
Великая Салма	0,79	0,39	0,26	0,32	0,42	0,39	0,39	0,72	0,44	0,60	0,53	0,47	0,46	0,45	0,37	0,22	0,39	1,09	0,54	0,16			0,99
Чула	0,70	0,53	0,36	0,36	0,36	0,71	0,55		0,53	0,98	0,69	0,40	0,46	0,55	0,26		0,48	1,03	0,50	0,45	0,50		0,77
Поньгома	0,54	0,46	0,39	0,35	0,38				0,42	0,50	0,36	0,21	0,19				0,30	0,57	0,54	0,48	0,49		0,51
Кемская	0,19	0,18	0,22	0,20	0,19				0,20	0,24	0,22	0,20	0,21	0,46			0,24	0,35	0,35	0,39			0,34
Сорокская	1,02	0,43	0,43	0,42					0,53	0,78	0,58	0,45					0,61						
Сумская	0,35	0,53	0,51						0,48	0,62	0,42						0,52	0,52	0,32				0,42
Колежма	0,28	0,21	0,38						0,27	0,48							0,48	0,60	0,41				0,50

Примечание: БПК₅ in situ рассчитаны по Шульгиной (1978); М_{топ} — средневзвешенная

В суровых природных условиях Белого моря даже в летний период, в относительно прогретых поверхностных водах круговорот ОВ замедлен.

Исследования показали, что в августе 1987 г. в течение суток в поверхностных водах губ Кандалакшского и Онежского заливов на окисление ОВ (in situ) расходовалось кислорода в пределах 0,12-0,60 мг/л, что соответствовало окислению органического вещества, выраженного в углеводе, 0,045-0,225 мг С/л, что составляет, как показали предыдущие исследования [Максимова, 1989, 1989б, 1991а] 1-2% ОВ, растворенного в воде. Наиболее часто встречались величины БПК₁ in situ в пределах 0,20-0,30 мгО₂/л (0,075-0,112 мг С/л).

Весьма близкими показателями суточных величин биохимического потребления кислорода характеризовались поверхностные воды мелководных губ Онежского залива: Сорокской, Сумской, Колежмы с средней величиной БПК₁=0,30 мгО₂/л при предельных значениях 0,24 - 0,35 мг О₂/л (соответственно среднее – 0,112, предельные значения 0,090-0,131 мг С/л).

Мало отличались по показателям суточных величин БПК и поверхностные воды глубоководных районов Кандалакшского залива - Великая Салма (БПК₁ в пределах 0,24-0,60 мг О₂/л или 0,090-0,225 мг С/л) и Чупа (БПК₁ в пределах 0,24-0,27 мг О₂/л или 0,079-0,101 мг С/л). Наименьшие величины БПК₁ свойственны поверхностным водам губы Кемь (предельные значения 0,12-0,17 мг О₂/л), что, по-видимому, обусловлено преобладанием стойкого к биохимическому окислению терригенного гумуса, вносимого водами р. Кемь, при очень низкой продуктивности фитопланктона, особенно в вершине губы.

Гораздо большие величины БПК₁ наблюдались в августе 1989 г. в районе Сонострова и в Печаковской Салме (табл. 18).

Таблица 18

Величины БПК₁ в водах прибрежных районов Белого моря в августе 1989 г.

Гориз., м	Соностров		Печаковская Салма		Троицкая		Пушлахта	
	мг О ₂ /л	мг С/л	мг О ₂ /л	мг С/л	мг О ₂ /л	мг С/л	мг О ₂ /л	мг С/л
0	0,96	0,360	1,05	0,393	0,47	0,180	0,28	0,105
5	0,87	0,326	0,94	0,352	0,25	0,093	-	-
10	1,02	0,382	-	-	-	-	-	-
15	-	-	0,88	0,330	-	-	-	-
25	0,78	0,292	-	-	-	-	-	-

Различия в интенсивности и степени сбалансированности продукционно-деструкционных процессов в прибрежных районах Белого моря обусловлены комплексом взаимодействующих факторов: биомасса и таксономический состав фитопланктона и бактериопланктона и их физиологическое состояние; условия среды – температура, интенсивность падающей и проникающей солнечной радиации, обеспеченность питательными солями; концентрация и биохимический состав растворенного и взвешенного органического вещества, его генетическая природа и степень трансформации [Максимова, 1989б, 1991а].

Уровень сбалансированности в поверхностных водах продукционно-деструкционных процессов показывает соотношение суточных величин первичной продуктивности и биохимического потребления кислорода (ПП/БПК). Для поверхностных вод исследованных районов в целом характерно возрастание величин соотношения ПП/БПК₁ от вершин губ к центральной части и далее к выходу из губы в открытую часть залива – по мере увеличения величин ПП и уменьшения БПК₁ (по-видимому вследствие понижения температуры). Особенно четко вышеуказанная закономерность в соотношении продукционно-деструкционных процессов поверхностных вод проявлялась в Великой Салме. В поверхностных водах на мелководных станциях (ст. 1, 2), по имеющимся данным, процессы деструкции в 2-3,5 раза интенсивнее первичного синтеза ОВ, в сравнительно глубоководной части (ст. 3) – в 1,3 раза. В поверхностных водах центральной части Великой Салмы продукционные процессы превышали деструкционные в 1,5 раза, а на входе – в 2,5 раза. Исключением являлась губа Чупа, в кутовой части которой первичная продукция превышала деструкцию в 2,4 раза, в центральной части губы наблюдалась некоторая сбалансированность, и уже к выходу из губы деструкция превышала продукцию в 1,6-2 раза (при понижении ПП от вершины губы к ее внешнему краю и при относительно стабильных величинах БПК₁ по всей протяженности губы).

Таким образом, в вершинах губ деструкционные процессы обычно превышали продукционные, по мере удаления в сторону открытого залива постепенно возрастала роль продукционных процессов, и уже на выходе в залив процессы первичного синтеза превышали его деструкцию (табл. 19). В мелководных открытых губах продукционно - деструкционные процессы в среднем близки к сбалансированности, величины соотношения в основном в пределах 0,9-1,4, и также характерно возрастание величин соотношения от вершин губ к внешнему краю (табл. 19).

**Соотношение ПП/БПК₁ в различных районах прибрежной зоны
Белого моря в августе 1987 г.**

Район	№ станции	ПП, мг О ₂ /л	БПК ₁ , мг О ₂ /л	ПП БПК ₁	
пр. Великая	1	0,17	0,60	0,28	
	Салма	2	0,18	0,35	0,51
	3	0,18	0,24	0,75	
	4	0,35	0,24	1,46	
	5	0,37	0,15	2,47	
гб. Чупа	6	0,51	0,21	2,43	
	7	0,22	0,22	1,00	
	8	0,14	0,27	0,52	
	9	0,15	0,24	0,67	
гб. Кемь	12	0,03	0,12	0,25	
	13	0,15	0,17	0,88	
	14	0,14	0,10	1,40	
Кемские шхеры	15	0,12	0,15	0,80	
гб. Сорокская	16	0,34	0,41	0,83	
	17	0,84	0,24	3,50	
	18	0,08	0,31	0,24	
гб. Сумская	22	0,29	0,30	0,97	
	23	0,35	0,29	1,21	

Коэффициент ПП/БПК подвержен изменениям в течение сезона в зависимости от конкретных условий. Так, например, в районе Соловецких островов (табл. 20) это отношение менялось в широких пределах, достигая наибольших величин в июле – августе (в Печковской Салме – ПП превышала БПК в 2 раза).

**Изменение отношения ПП/БПК в районе Соловецких островов
по сезонам.**

месяц	гб. Троицкая		пр. Печаконская Салма	
	1986 г.	1987 г.	1990 г.	1995 г.
май	0,21	0,03	-	-

июнь	0,17	0,04	0,13	0,91
июль	-	0,17	2,20	0,52
август	0,60	-	1,70	0,95
сентябрь	0,48	-	0,13	-

В губах Кандалакшского залива – Пильской, Палкиной, Кузокоцкой соотношения ПП/БПК были близки к единице (от 0,89 до 1,10) в августе. В районе Сонострова за весь период исследований деструкционные процессы превалировали над продукционными (табл. 21).

Таблица 21

Изменение соотношения ПП/БПК₁ в районе Сонострова по сезонам.

месяц	1989 год	1990 год
май	-	0,31
июнь	0,12	0,17
июль	0,27	0,51
август	0,10	0,31

В период исследований продукционно-деструкционные процессы были относительно близки к сбалансированности в мелководных губах южной части Онежского залива – Сумской и Колежме – в этих губах величина фотосинтеза органического углерода несколько превышала деструкцию (соотношение ПП/БПК₁ варьировало в пределах 1,00-2,20).

Для всей толщи вод в исследованных глубоководных губах Кандалакшского залива деструкция значительно превалировала над первичным синтезом органической материи, особенно в глубоководной зоне – в 10-20 раз, где под квадратным метром синтезировалось за пять суток от 0,56 до 1,40 г С/м², а подвергалось деструкции от 10,00 до 17,00 г С/м², что обусловлено преобладанием лабильного ОВ планктонного генезиса при небольшом влиянии терригенного ОВ. В прибрежной зоне этих губ деструкция ОВ в 2,5-7 раз превышала синтез. В губах Поньгома и Кемская деструкция превышала продукцию в основном в 3-5 раз. Это объясняется преобладанием стойкого к биохимическому окислению терригенного гумуса, вносимого реками, при низкой первичной продуктивности.

Таким образом, для всей толщи вод в летний период только в мелководных губах Белого моря, с глубинами, не превышающими 10 м, фотосинтез ОВ несколько превышал его деструкцию (в среднем в 1,5 раза) и, соответственно, выделение кислорода при фотосинтезе превышало его потребление на окисление ОВ. В губах со средними глубинами, близки-

ми к 20 м, деструкция превалировала над первичным синтезом органической материи в 2-5 раз, а потребление кислорода, соответственно, над его выделением при фотосинтезе. В глубоководных губах (с глубинами 50 м и более) деструкция ОВ в 10-20 раз превышала синтез.

5.4. Кислородный режим

Кислородосодержание наряду с водообменом является одним из важных факторов, характеризующим экосистемы прибрежных районов. Возникновение зон дефицита кислорода, неблагоприятно влияет на гидробионтов и на всю экосистему в целом.

Максимум растворенного кислорода в Белом море наблюдается в весенний период, что связано с весенним цветением фитопланктона. Так, например, во всех губах Кандалакшского залива насыщенность вод кислородом в мае в среднем составляла 108-115 % (табл. 22). Весной в районе Соловецких островов (губа Троицкая) она достигала 140-200 % насыщения (рис. 8). В пр. Печаковская Салма в мае-июне в разные годы насыщенность вод кислородом составляла 130-150 %.

Таблица 22

Содержание кислорода в губах Кандалакшского залива в мае 1990 г.

Название губы,	Дата	Горизонт, м	Температура, °С	Содержание кислорода	
				мл/л	% нас.
гб. Лов	31.05	0	6,2	8,65	115
		5	3,0	9,12	116
		10	1,5	9,02	113
		21	-0,7	7,92	92
гб. Пильская 1	31.05	0	3,4	8,77	111
		5	2,9	8,83	112
		10	2,2	8,99	112
2	31.05	0	4,6	8,82	116
		5	2,5	8,30	106
		10	1,8	7,95	99
		25	0,2	8,28	97
3	31.05	34	0,0	7,51	88
		0	3,4	9,22	117
		5	2,1	9,02	111

		10	1,2	8,43	102	
		22	0,1	7,75	91	
гб. Колвица 1	25.05	0	4,6	8,18	103	
		5	1,9	8,14	102	
		10	1,0	8,18	100	
		20	-0,4	7,73	92	
	2	25.05	0	4,8	8,17	104
		5	2,5	8,69	111	
		10	0,9	7,88	96	
гб Палкина	25.05	0	5,7	8,75	118	
		5	0,6	8,33	98	
		10	-0,2	7,71	91	
		18	-0,3	7,59	90	
гб. Княжая	25.05	0	3,0	8,93	101	
		5	0,4	8,59	101	
		10	-0,6	7,30	85	
		19	-0,8	7,23	84	
гб. Ковда 1	24.05	0	3,2	8,70	110	
		5	2,6	8,55	108	
		14	1,3	8,23	100	
	2	24.05	0	4,7	8,91	118
			5	0,9	8,34	101
		10	0,4	8,28	98	
гб. Кузокоцкая 2	30.05	0	5,7	8,43	116	
		5	3,2	8,83	112	
		14	1,1	8,46	102	
	3	30.05	0	4,7	8,74	117
			5	2,4	8,55	106
			10	0,8	8,05	97
			27	-0,2	7,36	87
	1	30.05	0	5,1	8,61	115
			5	2,3	8,74	108
			10	0,6	7,92	96
			25	-0,6	7,98	92
			33	-0,5	7,55	87
	пр. Оборина Салма	1.06	0	6,1	7,95	108
5			3,4	8,38	107	
10			1,8	8,56	106	
25			0,2	8,08	96	
гб. Никольская	1.06	0	6,4	8,47	115	
		5	4,4	8,84	115	
		10	1,5	8,91	111	
		27	-0,3	7,69	91	

Из таблицы видно, что процессы фотосинтеза наиболее интенсивные в поверхностном слое (до 5-10 м), постепенно затухают с глубиной. На относительно мелководных станциях – в Ковде (ст. 1), Кузокоцкой (ст. 2), Пильской (ст. 1) – где глубины не превышают 14 м, вся толща воды равномерно прогрета и насыщена кислородом. На глубоководных станциях слой температурного скачка препятствует перемешиванию вод, поэтому ниже слоя скачка плотности воды недонасыщены кислородом, но даже на глубине 25-30 м насыщенность водной массы кислородом составляла 84-90 %.

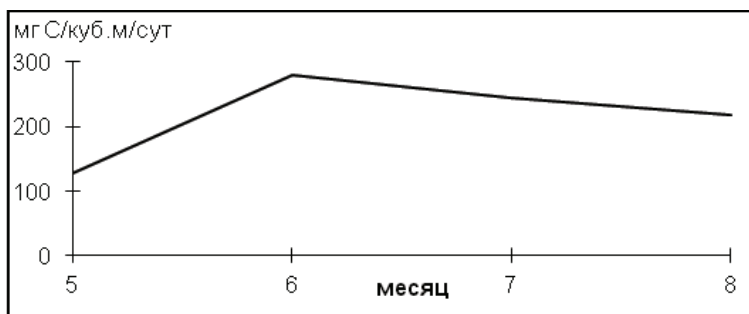


Рис. 8. Сезонная динамика содержания кислорода в губе Троицкой в 1986 г.

Летние месяцы – июль-август – характеризуются несколько пониженным содержанием кислорода, так как наблюдается резкая вертикальная стратификация вод по температуре, истощение питательных солей, ограничивающих развитие фитопланктона, и выедание его развивающимися зоопланктонными организмами, являющимися в то же время и потребителями кислорода [Чугайнова, 1995].

В летний период концентрация кислорода и насыщение вод кислородом различно в отдельных районах моря, так в прогреваемых, хорошо перемешиваемых водах мелководных губ и прибрежных районов Онежского залива, в поверхностных водах губ Кандалакшского залива (рис. 9) кислородосодержание составляет в среднем 97–98 % насыщения, в относительно глубоководных районах Кандалакшского залива не превышает 90 %.

В северных районах Онежского залива – Кемские шхеры, Соловки, гб. Троицкая - насыщенность воды кислородом нередко составляла более 100 % весь весенне-летний период (табл. 23, рис. 10).

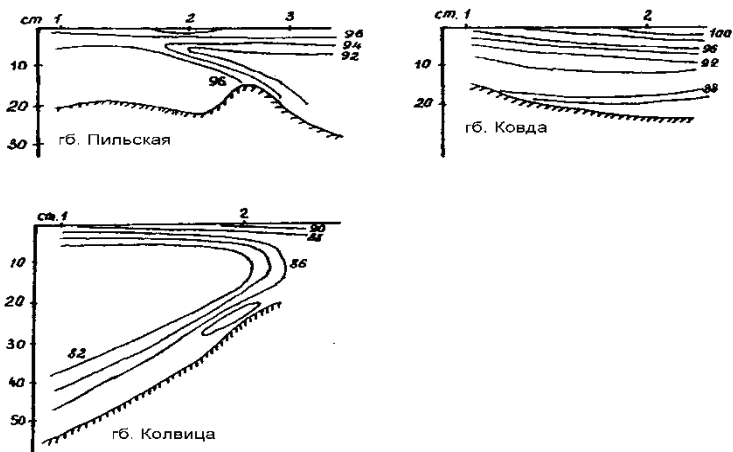


Рис. 9. Вертикальное распределение кислорода в губах Кандалакшского залива в августе 1989 г.

Таблица 23

**Статистические характеристики насыщенности кислородом (% нас.)
вод губ Кандалакшского (0-10 м) и Онежского (0-дно) заливов
в летний период (1987-1990 гг.)**

Район	Средняя	Среднее отклон.	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Кандалакшский залив						
Падан	100	3,83	18,47	100,50	83	106
Пильская	94	6,96	30,03	94,00	78	106
Лов	94	5,35	23,96	96,00	82	103
Колвица	90	21,18	20,33	88,19	79	111
Палкина	93	6,72	11,09	91,00	80	106
Белая	94	11,14	14,68	90,00	79	112
Княжая	91	9,59	14,41	91,00	71	108
Ковда	99	4,86	20,69	98,50	89	110
Кузокоцкая	101	4,04	15,58	99,00	89	112
Медвежья	100	12,59	19,92	97,29	94	108
Оборина Салма	99	5,55	20,75	100,00	81	108
Никольская	101	5,46	16,81	98,00	92	115
Соностровская	100	6,59	14,43	100,00	81	116

Район	Средняя	Среднее отклон.	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Онежский залив						
Кемская*	98	0,93	1,17	98,00	96	99
Сорокская*	99	2,25	6,79	99,00	96	102
Сумская*	99	1,51	4,62	98,00	97	103
Колежма*	97	0,41	0,24	97,00	97	98
Троицкая	109	15,70	30,26	103	97	230
Печаковская Салма	107	5,74	23,22	107	89	136
Кемские шхеры	101	1,97	7,65	101	90	105
Боршовцы	102	3,12	15,64	102,5	94	111

Примечание: *- исследования проводились в июле-августе 1987 г.

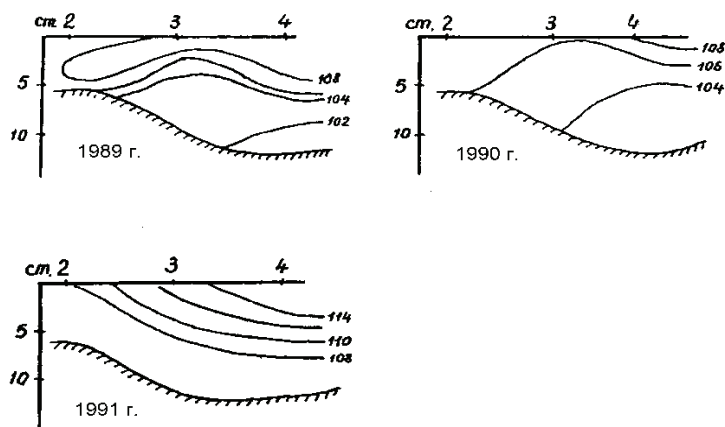


Рис. 10. Вертикальное распределение кислорода (% нас.) в пр. Печаковская Салма в августе.

Осенью, в сентябре-октябре, в исследованных районах содержание кислорода или остается на уровне августа, или же немного понижается. В шхерных районах Кандалакшского и Онежского заливов наблюдается выравнивание кислородосодержания по всей толще воды. В целом же в исследованных районах осенью наблюдается недонасыщенность вод кислородом.

Сильное охлаждение поверхностного слоя зимой влечет за собой возникновение конвекционных токов, и к марту вся толща воды оказывает-

ся равномерно охлажденной. Это время является периодом наибольшего единообразия всех гидрохимических факторов от поверхности до дна, что в полной мере относится и к кислороду (табл. 24).

Особенно резки сезонные и суточные колебания количества растворенного в воде кислорода в прибрежной зоне Белого моря, богатой зарослями макрофитов и отложениями органических остатков в грунтах (рис. 11). Эти колебания обусловлены главным образом наличием большого количества растворенного в воде органического вещества (процессом его окисления) и интенсивно идущим процессом фотосинтеза [Кузнецов, 1960].

Таблица 24

Содержание кислорода в Соностровской губе и Печаковской Салме в марте 1990 г.

№ ст.	Дата	Горизонт, м	Температура, °С	Содержание кислорода	
				мл/л	% нас.
Соностров					
7	17.03	1	-1,1	7,91	87
		23	-1,3	8,30	96
1	17.03	1	-1,2	8,02	90
		7	-1,2	8,00	92
2	17.03	1	-1,2	7,94	90
		12	-1,4	8,05	92
3	17.03	1	-1,2	7,92	91
		25	-1,4	8,15	94
6	17.03	1	-1,1	7,91	87
		25	-1,3	8,30	96
пр. Печаковская Салма					
2	28.03	2	-1,1	8,60	99
3	28.03	1	-1,4	8,69	100
		9	-1,4	8,60	99
4	28.03	1	-1,3	7,95	92
		6	0,1	7,95	94

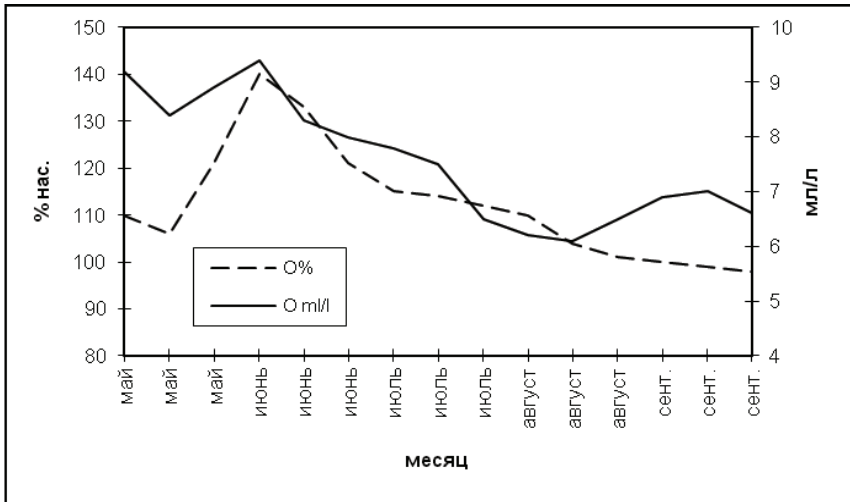


Рис. 11. Суточный ход изменения кислорода в прибрежной зоне губы Троицкой 2-3 июня 1987 г.

5.5. Биогенные элементы

К важнейшим элементам минерального питания водорослей относятся азот, фосфор, кремний. Азот и фосфор необходимы всем группам водорослей, кремний — для построения скелета диатомовых и радиолярий.

Пространственное распределение биогенных элементов (БЭ) в Белом море определяется, главным образом динамикой вод. Горизонтальная циркуляция является основным механизмом перераспределения биогенных элементов по акватории. Перераспределение БЭ по вертикали происходит в зонах конвергенции и дивергенции.

Воды речного стока богаче поверхностных морских вод биогенными элементами (особенно Si и N). Соответственно и зоны, подверженные воздействию речных вод, характеризуются полями повышенных концентраций биогенных элементов [Максимова, 1989б, 1991а,б].

Доминантная закономерность в распределении неорганических форм биогенных элементов по вертикали — в глубоководных губах Кандалакшского залива, также как и в открытой части моря — возрастание концентраций БЭ с глубиной, с максимумом в глубинных водах, генетически связанных с баренцевоморскими водами.

В прибрежных районах и губах Онежского залива, вследствие их мелководности и интенсивного перемешивания вод за счет приливно-отливных течений, наблюдается более однородное распределение БЭ по вертикали.

5.5.1. Азот – неорганические формы

Азот относится к жизненно важным биогенным элементам, поскольку входит в состав белков и аминокислот, нуклеиновых кислот и многих других органических соединений, без которых невозможно существование живых клеток. При участии морских организмов осуществляются окислительно-восстановительные реакции, обеспечивающие круговорот азота в океане: органические вещества → аммонийный азот → нитриты → нитраты → органические вещества. В морской воде содержатся мочевины и другие органические соединения азота – свободные и связанные аминокислоты, а также биологически стойкие вещества. Из соединений азота водорослями используются нитраты, нитриты и аммонийный азот.

По материалам экспедиционных исследований М.П. Максимовой в 1956 г. («фоновый» период) на НИС «Профессор Месяцев», охвативших единовременно всю акваторию Белого моря, осредненные для вод Белого моря показатели неорганических соединений азота составили: доля нитратов – около 80%, аммонийного азота – около 16%, нитритного азота – около 2% [Максимова, 1978]. В 80-е годы (1982-1984гг.) – по материалам экспедиционных исследований, охвативших единовременно всю акваторию Белого моря по схеме разрезов и расположению станций, точно повторившим исследования 1956 г., в связи с возрастанием антропогенного воздействия, изменилось соотношение неорганических форм азота: по осредненным показателям возросла доля аммонийного (около 30%) и нитритного азота (около 7%), а доля нитратного азота соответственно уменьшилась (около 60%) [Максимова, 1978, 1987в,г, 1991а, 1996, 2004, Maksimova, 2003]. Сопоставление данных по материалам этих исследований и сделанные выводы достаточно корректны, учитывая и идентичные климатические характеристики сопоставляемых лет, а также время экспедиций – август. Таким образом, разницу в соотношении показателей аммонийного азота, нитритов и нитратов корректно отнести за счет возросшего антропогенного воздействия.

В летний период 1987 г. впервые – по инициативе и личном участии М.П. Максимовой выполнены в один сезон исследования губ Кондалакшского и Онежского заливов Белого моря, включившие большой комплекс химических и физических показателей: неорганические и органические формы соединений азота и фосфора, растворенную кремне-

кислоту, органический углерод, первичную продуктивность и процесс деструкции ОВ (БПК₅ – биохимическое потребление кислорода) – показатели сбалансированности продукционно-деструкционных процессов, а также прозрачность, рН, растворенный кислород, соленость и температуру воды.

Таким образом, во всех исследованных губах впервые в комплексе анализировались все основные неорганические формы соединений азота – аммонийный азот, нитриты, нитраты (таблицы 25, 26, 27).

Таблица 25

Содержание аммонийного азота в водах губ Кандалакшского и Онежского заливов в августе 1987 г. (мкг- ат/л и в % от суммарного минерального)

Названия губ	Гориз., м	N-NH ₄ , мкг-ат/л	N-NH ₄ , %	Названия губ	Гориз., м	N-NH ₄ , мкг-ат/л	N-NH ₄ , %
Великая Салма	0	0,71	70	Сорокская	0	1,24	39
	5	0,76	72		5	0,52	51
	10	0,76	66		10	0,57	32
	25	0,60	22	Сумская	0	0,79	30
	50	0,64	4		5	0,88	29
	75	0,85	4		10	0,03	2
	100	0,93	3		Колежма	0	1,70
	150	1,07	3	5		1,48	14
	200	1,21	2	10		1,87	10
Чупа	0	0,76	84	Центральная часть Онежского залива	0	0,63	9
	5	0,72	79		5	0,69	13
	10	0,72	56		10	0,80	9
	25	0,56	54		25	0,82	9
	50	0,61	10		30	0,65	3
	70	0,45	6		50	0,62	3
Кемская	0	0,68	50				
	5	0,70	53				
	10	0,65	38				
	25	0,78	26				
	30	0,55	15				

На основе комплекса вышеперечисленных характеристик, разнообразных по природным условиям губ и их сравнительного анализа про-

изведена классификация (типизации) губ Белого моря [Максимова, 1991a, Maksimova, 2003, 2004, 2007]. Типизация губ Белого моря представлена в главе 6 данной монографии.

Аммонийный азот. В таблице 25 представлено содержание аммонийного азота в губах Кандалакшского и Онежского заливов.

Как видно из таблицы 25, максимум аммонийного азота обычно приурочен к поверхностным водам исследованных губ. На глубоководных станциях в губах Кандалакшского залива резкое снижение процентного содержания аммонийного азота при незначительном изменении абсолютного количества наблюдалось ниже скачка плотности.

В губах Онежского залива распределение аммонийного азота более равномерно. В центральной части Онежского залива и в некоторых губах наблюдался подповерхностный максимум аммонийного азота на глубине около 10-25 м.

Нитраты. Обратная картина наблюдалась в распределении нитратного азота. За время наших исследований в прибрежных районах и губах Кандалакшского залива в конце июля – августе в десятиметровом слое нитраты отсутствовали или находились в следовых концентрациях. Содержание их возрастало с глубиной (рис. 12).

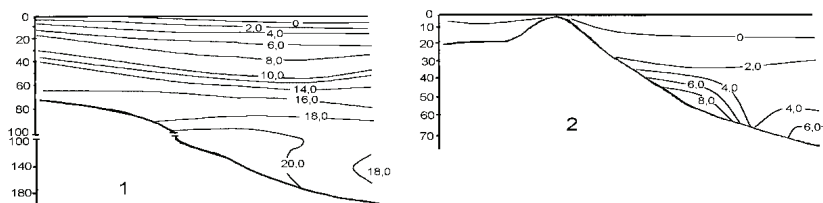


Рис. 12. Вертикальное распределение нитратов в Великой Салме (1) и Чупе (2) в августе 1987 г. (мкг-ат/л).

Сезонные изменения в содержании нитратов практически одинаковы для всех районов залива. В фотической зоне, от предвесенних концентраций порядка 8-12 мкг-ат/л, содержание нитратов снижается к июлю-августу нередко до 0, за счет интенсивного потребления фитопланктоном. С наступлением осеннего периода содержание NO_3 увеличивается, и в сентябре – октябре достигает 6-8 мкг-ат/л (рис. 13), что обусловлено снижением фотосинтетической деятельности фитопланктона, а также за счет разложения органических соединений азота и окисления аммонийного и нитритного азота до нитратов [Максимова, 1972].

Межгодовые изменения содержания нитратов испытывали также значительные колебания. Так, например, в губах Кандалакшского берега — Лов, Падан, Пильской, Колвице, а также в Палкиной — содержание нитратного азота в августе 1988 г. было существенно меньше, чем в августе 1989 г., что очевидно объясняется различиями климатических условий этих лет. Амплитуда колебаний содержания нитратов в верхнем 10-метровом слое составляет 0 до 9 мкг-ат/л, в придонном горизонте колебания менее значительны и в среднем составляли 5-13 мкг-ат/л.

В районах же Карельского берега — в губах Ковде, Кузокоцкой, Обориной Салме, Никольской наоборот — амплитуда колебаний составляла от 0 до 4 мкг-ат/л в поверхностном слое и от 2 до 21 мкг-ат/л в придонном горизонте, что очевидно зависит от биологических процессов, гидрологического режима, морфометрии губ и метеорологических условий конкретного года.

За весь период наблюдений максимальные величины нитратов были обнаружены в придонных водах губы Колвица — в 1988 г. в августе 12,79 мкг-ат/л, в сентябре 6,81-13,03 мкг-ат/л; 1989 г. в августе 10-19 мкг-ат/л, что вероятно связано с мощным стоком р. Колвица, а также с ковшовым типом этой губы [Наумов, Бабков, Федяков, 1986]. В фиордовых губах Кандалакшского берега и губах Карельского берега в среднем нитратов содержится больше, чем в шхерных районах (табл. 26), что также объясняется стоком рек.

В таблицах 26 и 27 представлены статистические характеристики содержания биогенных элементов — неорганических форм азота и фосфора в фотическом слое губ Кандалакшского и Онежского заливов, для их сопоставимости. В целом средний показатель дисперсии нитратного азота в фотическом слое губ Кандалакшского и Онежского заливов одного порядка, при несколько большем разбросе величин дисперсии в мелководных губах Онежского залива.

В Онежском заливе распределение нитратов по вертикали более однородно (рис. 14), но также имеют место пространственные и временные различия. Так в губах Колежма и Сорокская количество нитратов возрастало к кутовым частям, а в Кемской и Сумской — к середине губ. В проливе Печачовская Салма (август, 1988г.) содержание нитратов было почти однородным, с небольшим увеличением ко дну (рис. 15).

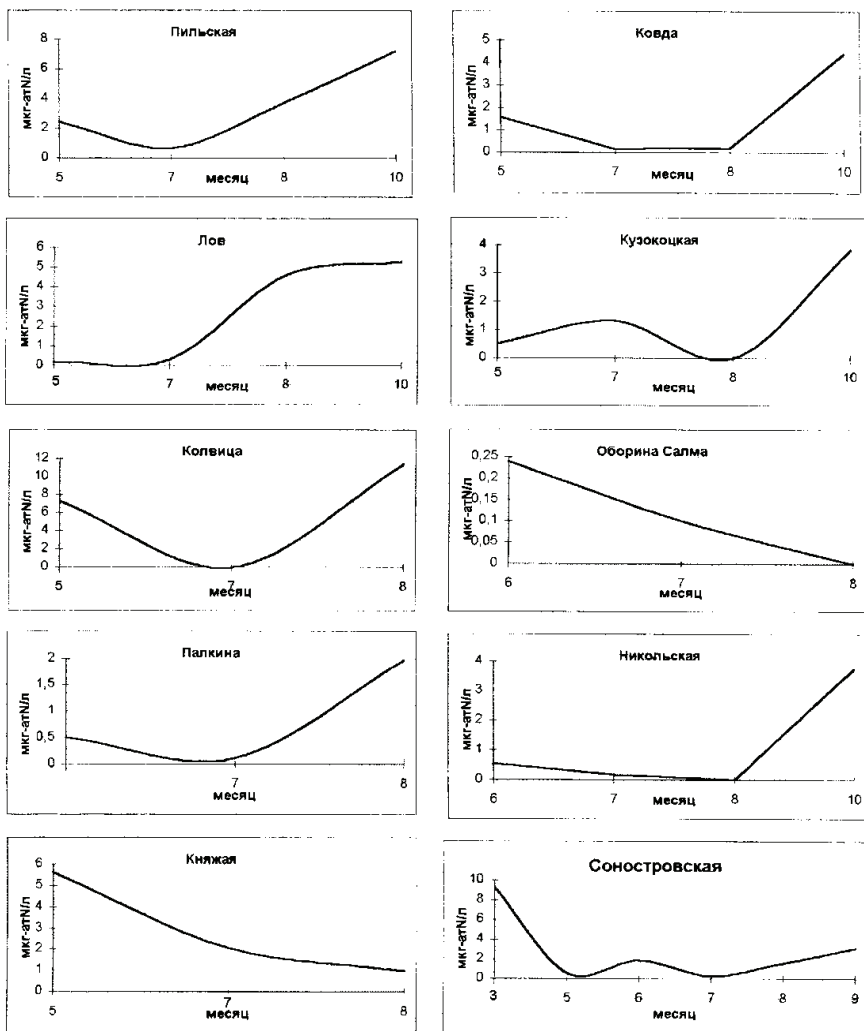


Рис. 13. Сезонная динамика содержания нитратов в поверхностном слое воды в губах Кандалакшского залива (1990 г.)

Статистические характеристики содержания биогенных элементов в слое воды 0-10 м в губах Кандалакшского залива в летний период 1988-1990 гг.

Статистические характеристики	Биогенные элементы, мкг-ат/л		
	N-NO ₃	N-NO ₃	P-PO ₄
Падан			
средняя	0,08	0,92	0,20
ошибка средней	0,05	0,51	0,15
дисперсия	0,01	0,54	0,03
медиана	0,05	0,85	0,16
мин.-макс.	0,03-0,31	0-10,6	0-0,85
Пильская			
средняя	0,11	1,12	0,44
ошибка средней	0,05	0,93	0,17
дисперсия	0,00	0,57	0,06
медиана	0,10	0,92	0,39
мин.-макс.	0,03-0,25	0-6,45	0,15-1,19
Лов			
средняя	0,06	1,72	0,39
ошибка средней	0,03	0,97	0,14
дисперсия	0,00	0,97	0,02
медиана	0,07	1,66	0,34
мин.-макс.	0-0,11	0-5,83	0,17-0,58
Колвица			
средняя	0,05	4,84	0,29
ошибка средней	0,03	1,32	0,15
дисперсия	0,00	2,15	0,06
медиана	0,06	4,00	0,28
мин.-макс.	0-0,19	1,16-17,96	0,1-0,93
Палкина			
средняя	0,06	1,83	0,35
ошибка средней	0,03	0,45	0,17
дисперсия	0,10	0,77	0,04
медиана	0,06	1,60	0,41
мин.-макс.	0-0,15	0-7,64	0-0,64
Белая			
средняя	0,05	2,82	0,47
ошибка средней	0,03	1,21	0,32
дисперсия	0,00	1,69	0,15
медиана	0,06	1,86	0,44
мин.-макс.	0-0,08	0,23-10,57	0-1,05

Княжая			
средняя	0,10	3,67	0,26
ошибка средней	0,04	2,54	0,22
дисперсия	0,00	0,85	0,05
медиана	0,11	3,39	0,21
мин.-макс.	0-0,21	0,38-10,0	0-0,56
Ковда			
средняя	0,06	0,75	0,26
ошибка средней	0,05	0,49	0,18
дисперсия	0,10	0,63	0,06
медиана	0,05	0,59	0,28
мин.-макс.	0-0,29	0-2,46	0-0,99
Кузокоцкая			
средняя	0,03	1,16	0,17
ошибка средней	0,03	0,32	0,12
дисперсия	0,10	2,87	0,02
медиана	0,04	1,24	0,21
мин.-макс.	0-0,14	0-5,87	0-0,63
Медвежья			
средняя	0,04	0,51	0,26
ошибка средней	0,01	0,34	0,06
дисперсия	0,09	0,89	0,00
медиана	0,03	0,74	0,15
мин.-макс.	0-0,09	0-1,25	0,05-0,69
Оборина Салма			
средняя	0,05	0,56	0,13
ошибка средней	0,03	0,33	0,13
дисперсия	0,08	0,46	0,02
медиана	0,06	0,54	0,11
мин.-макс.	0-0,1	0-2,46	0-0,34
Никольская			
средняя	0,04	1,55	0,11
ошибка средней	0,03	0,74	0,08
дисперсия	0,00	0,54	0,01
медиана	0,04	1,53	0,13
мин.-макс.	0-0,1	0-6,19	0-0,24
Соностровская			
средняя	0,08	1,75	0,25
ошибка средней	0,07	1,21	0,20
дисперсия	0,01	2,61	0,11
медиана	0,06	1,63	0,23
мин.-макс.	0-0,52	0-7,22	0,03-1,91

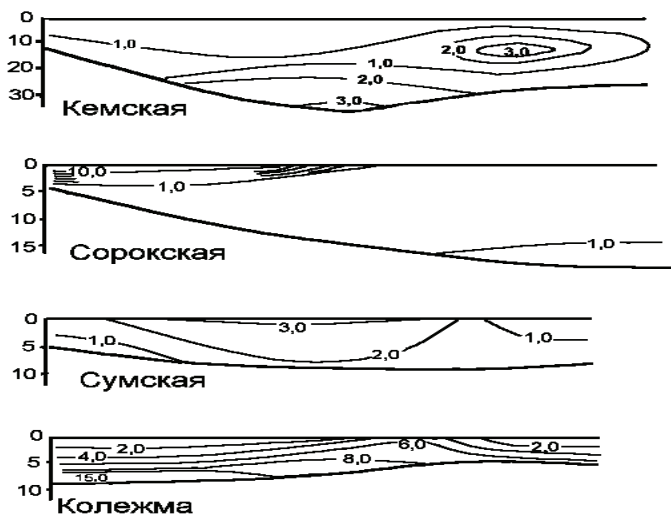


Рис. 14. Вертикальное распределение нитратов в губах Онежского залива в августе 1987 г. (мкг-ат/л).

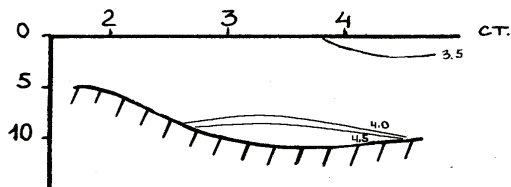


Рис. 15. Вертикальное распределение нитратов в пр. Печаковская Салма в августе 1988 г. (мкг-ат/л).

Если рассматривать губы Онежского залива по направлению с юга на север, то наблюдается тенденция уменьшения нитратов в фотическом слое: в так в августе 1987г. в губе Колежма содержание нитратов составляло в среднем 8 мкг-ат/л, в Сумской – 1,4, в Сорокской – 0,6, в Кемской – 0,6 мкг-ат/л. В Онежском заливе на станции, расположенной на широте губы Колежма – 5,3, на станции у островов Жужмуй – 4,7 мкг-ат/л. Средние значения содержания нитратов в районах Онежского залива близки к таковым для губ Карельского берега (табл. 27). Необходимо отметить, что в Онежском заливе нитраты исключительно редко потребляется полностью.

**Статистические характеристики содержания биогенных элементов
в водах губ Онежского залива в летний период 1986-1990 гг.**

Статистич. характеристики	Биогенные элементы, мкг-ат/л		
	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄
Троицкая			
средняя	0,05	2,5	0,20
ошибка средней	0,05	1,93	0,15
дисперсия	0,05	5,31	6,05
медиана	0,05	2,45	0,18
мин.-макс.	0,01-0,09	0,09-8,50	0,10-0,93
Печаковская Салма			
средняя	0,17	1,87	0,31
ошибка средней	0,10	0,61	0,12
дисперсия	0,10	0,81	0,04
медиана	0,17	1,63	0,29
мин.-макс.	0-0,44	0-9,24	0-1,46
Кемские шхеры			
средняя	0,19	2,95	0,46
ошибка средней	0,06	0,73	0,11
дисперсия	0,01	1,54	0,04
медиана	0,18	2,95	0,44
мин.-макс.	0,07-0,56	2,12-7,78	0,21-1,41
Боршовцы			
средняя	0,19	1,59	0,69
ошибка средней	0,1	0,78	0,27
дисперсия	0,03	0,73	0,18
медиана	0,16	1,68	0,63
мин.-макс.	0-0,94	0-6,06	0-2,21
Кемская			
средняя	0,33	0,90	0,53
ошибка средней	0,09	0,77	0,11
дисперсия	0,01	1,00	0,02
медиана	0,35	0,79	0,52
мин.-макс.	0,11-0,57	0-2,85	0,36-0,81
Сорокская			
средняя	0,30	0,63	0,43
ошибка средней	0,13	0,31	0,14

Статистич. характеристики	Биогенные элементы, мкг-ат/л		
	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄
дисперсия	0,03	0,17	0,03
медиана	0,28	0,66	0,40
мин.-макс.	0,21-0,57	0,2-1,33	0,19-0,67
Сумская			
средняя	0,03	1,37	0,87
ошибка средней	0,02	0,80	0,50
дисперсия	0,00	0,16	0,39
медиана	0,02	1,30	0,84
мин.-макс.	0,01-0,06	0,44-3,33	0,14-1,77
Колежма			
средняя	0,03	5,05	0,53
ошибка средней	0,03	2,52	0,12
дисперсия	0,00	10,04	0,02
медиана	0,01	5,82	0,55
мин.-макс.	0-0,14	0,87-8,81	0,32-0,68

В сезонном аспекте ход изменения содержания нитратов в фотическом слое в губах Онежского залива аналогичен вышеописанному для губ Кандалакшского залива: от 9-14 мкг-ат/л весной до минимальных 0,4-0,5 мкг-ат/л в июле – августе, и повышение содержания нитратов с наступлением осени в соответствии с затуханием фотосинтетической деятельности фитопланктона.

Нитриты. Нитриты в период с июля по сентябрь в 1988 г. обнаружены почти повсеместно во всех исследованных губах. В 1989 г. в поверхностном горизонте губ Кандалакшского залива – Палкиной, Княжой, Ковде – содержание нитритов сводилось к нулю. В губах фьордового типа – Пильской, Падан, Лов, в вершины которых впадают реки, максимум нитритов наблюдался в поверхностном горизонте в кутовых частях губ (рис. 16, 17).

В сравнительно открытых районах – губы Ковда, Кузокоцкая, Медвежья, Оборина Салма – содержание нитритов было равномерным до глубины 15-20 м и увеличивалось ко дну (рис. 17).

В Онежском заливе, особенно в губах Поморского берега – Сумская, Колежма, Сорокская, Кемская – отмечались максимальные концентрации NO₂ (почти на порядок выше, чем в Кандалакшском заливе) – до 0,6 мкг-ат/л (рис. 18). В толще воды нитриты распределялись равномерно и увеличивались лишь в поверхностном горизонте в кутовых частях губ. Отсутствие в воде нитратов и нитритов в некоторых районах в летний

период позволяет предположить, что продуктивность фитопланктона базируется на аммонийном азоте – в результате его поступления за счет минерализации ОВ, а также и за счет использования фитопланктоном непосредственно органических соединений - аминокислот и мочевины [Максимова, 1991].

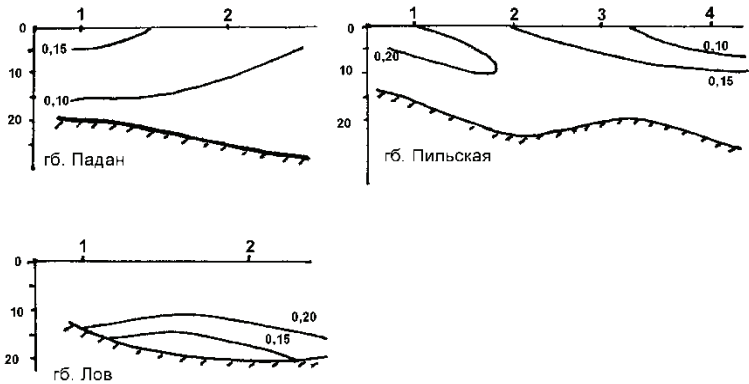


Рис. 16. Вертикальное распределение нитритов в фьрдовых губах Кандалакшского залива в августе 1989 г. (мкг-ат/л).

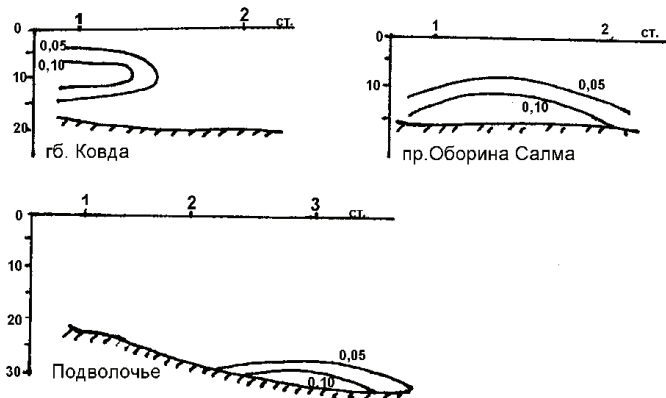


Рис. 17. Вертикальное распределение нитритов в шхерных районах Кандалакшского залива в августе 1989 г. (мкг-ат/л).

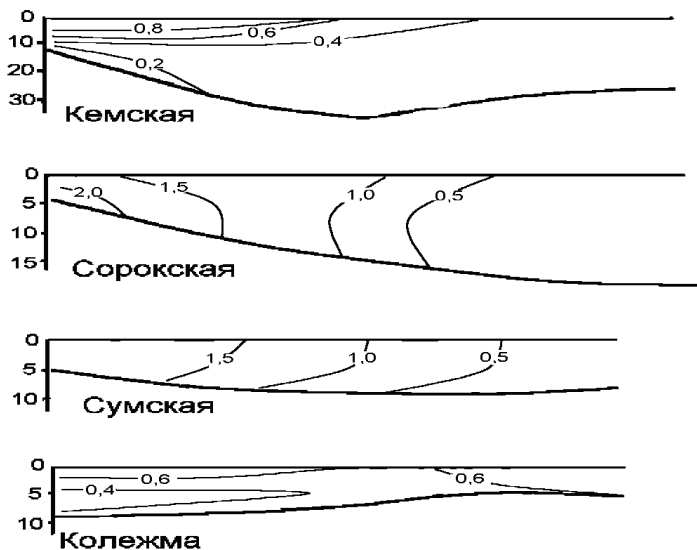


Рис. 18. Вертикальное распределение нитритов в губах Онежского залива в августе 1987 г. (мкг-ат/л).

5.5.2. Фосфор минеральный

Фосфор необходим живым организмам для передачи энергии внутри клетки, некоторым ферментным системам, а также для осуществления других внутриклеточных функций. В водных системах фосфор встречается в нескольких формах. Наиболее легкоусвояемой фитопланктоном формой соединений фосфора являются растворенный неорганический фосфор - фосфаты. Содержание фосфора, как и азота, также является одним из химических факторов, лимитирующих первичную продуктивность водоемов.

Режим фосфатного фосфора в Белом море в общих чертах сходен с режимом нитратного азота: концентрация фосфатов в фотическом слое понижается от начала вегетационного периода к лету (от 0,50-0,95 мкг-ат/л в апреле до следовых концентраций, а нередко и до нуля в июле-августе) и вновь увеличивается с затуханием жизнедеятельности фитопланктона в осенний период (до 0,40 мкг-ат/л). В поверхностном слое самые низкие концентрации фосфатов обычно наблюдаются в июле и в августе. Так в июле 1989 г. в поверхностных водах губ Кандалакшского залива фосфаты не были обнаружены, а в губе Княжой, Обориной Сал-

ме, Кузокоцкой, Никольской фосфаты отсутствовали и в августе (рис. 19).

В летний период наиболее резко выражена стратификация вод по фосфатам, и разность концентраций между поверхностными и придонными водами может быть значительной, как, например, в относительно глубоководных губах Колвица, Великая Салма, Чупа (рис. 20). В этот период фосфор, при наличии нитратного азота, являлся элементом, лимитирующим продуктивность фитопланктона.

Содержание фосфатов увеличивалось в слое температурного скачка. Максимум наблюдался на глубине 20 м в губе Падан в августе – сентябре 1988 г. и составлял около 10 мкг-ат/л. К осени наблюдалось повсеместное увеличение содержания фосфатов и выравнивание их концентрации по вертикали.

В водах губ и шхерных районов Онежского залива распределение фосфатов, как и других биогенных элементов, более однородно, и они были обнаружены повсеместно (рис. 21). За 10-летний период наблюдений в прибрежных районах только в отдельные сроки они не были обнаружены: в конце июля 1987 г. в Боршовцах, в конце августа 1995 г. в Печаковской Салме. В среднем количество фосфатов в этих районах в течение лета оставалось высоким – 0,34-0,50 мкг-ат/л (минимальные значения 0,21 мкг-ат/л в Печаковской Салме, максимум - 0,64 мкг-ат/л у Боршовцов).

При сравнении средних значений содержания фосфатов в губах, установлено, что в губах Кандалакшского залива они были приблизительно одного порядка. Небольшое увеличение средних значений наблюдалось в отдельных губах Кандалакшского (Пильская, Лов) и Карельского берега (Палкина, Белая). В прибрежных районах Онежского залива средние значения неорганического фосфора значительно превышали их содержание в губах Кандалакшского залива, что определяется в основном объемом речного стока.

Большое влияние на перераспределение биогенных элементов в прибрежной зоне Белого моря оказывают такие природные факторы, как сила и направление ветров [Чугайнова, 1990]. Это относится в основном к сравнительно узкому Кандалакшскому заливу, в котором ветер любого направления становится одновременно и сгонным (для одного берега), и нагонным (для противоположного берега).

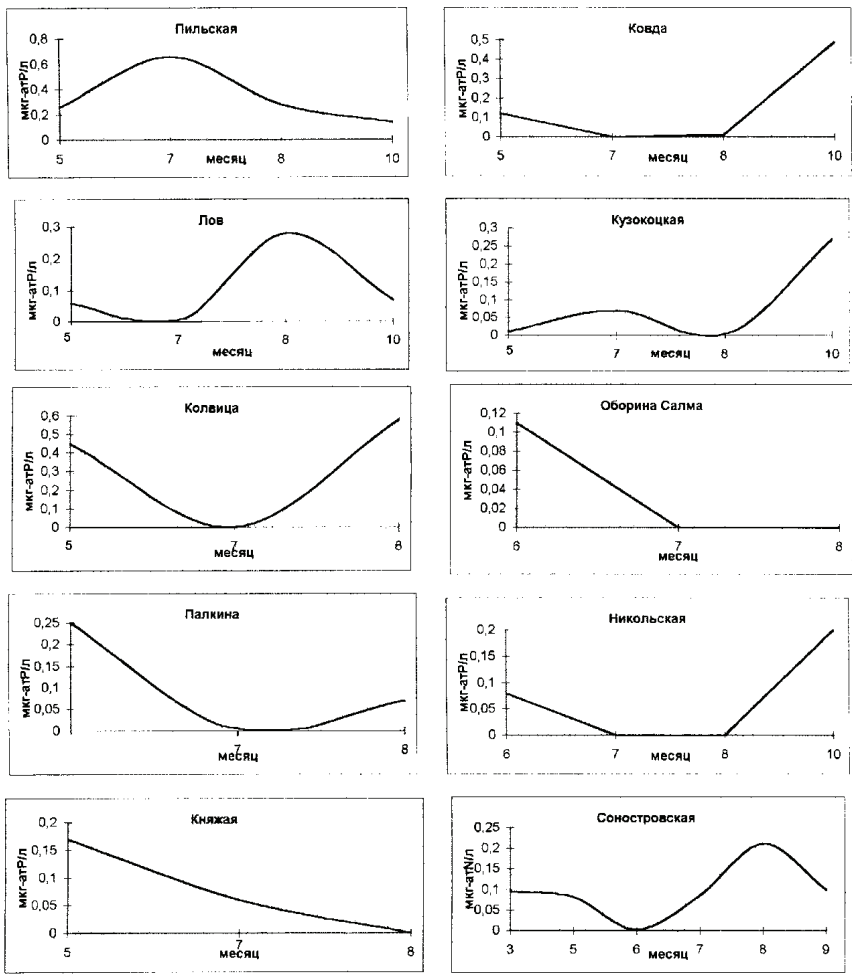


Рис. 19. Сезонная динамика содержания фосфатов в поверхностном слое воды в губах Кандалякшского залива в 1990 г

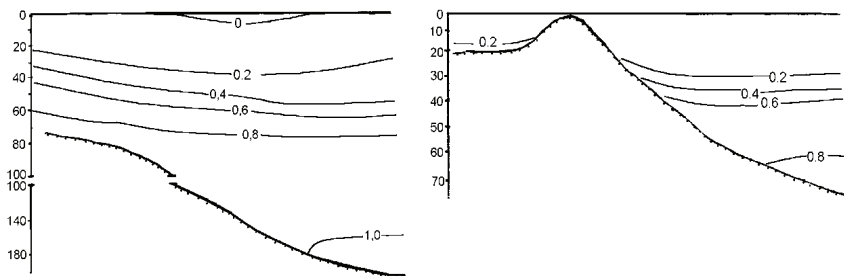


Рис. 20. Вертикальное распределение фосфатов в Великой Салме (1) и Чупе (2) в августе 1987 г. (мкг-ат/л).

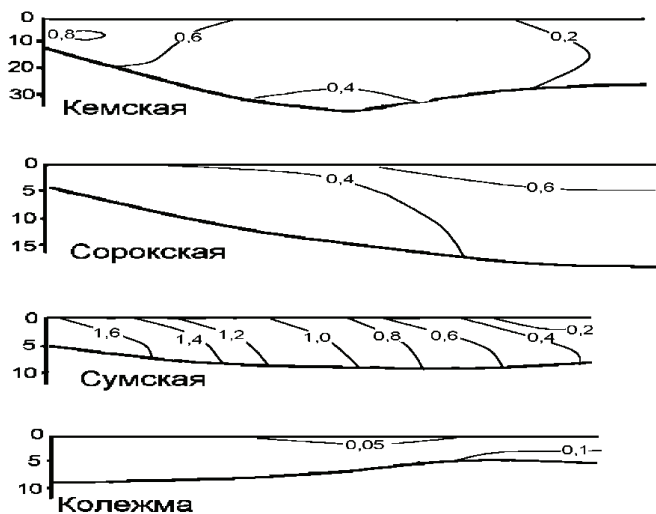


Рис. 21. Вертикальное распределение фосфатов в губах Онежского залива в августе 1987 г. (мкг-ат/л)

Так в августе 1989 года в результате сильных штормов при северо-западном ветре в 6-7 баллов в губах Колвица, Лов, Пильская, Падан наблюдался подток глубинных вод, обогащенных биогенными элементами. Если в августе, как правило, в фотической зоне они находились в следовых концентрациях или не обнаруживались, то здесь их содержание было близко к сентябрьским. Наблюдался размыв слоя скачка: содержание нитратов постепенно увеличивалось ко дну - от 3 до 9 мкг-ат/л,

а количество нитритов и фосфатов было практически однородным от поверхности до дна: NO_2 - 0,12 - 0,17 мкг-ат/л, PO_4 - 0,28 - 0,39 мкг-ат/л.

По мере затухания шторма появилась стратификация по фосфатам и нитратам, а уже на третий день в губе Пильской был зафиксирован слой скачка на глубине 15-19 м.

Иная картина наблюдалась в это же время в губах Карельского берега – Княжой, Ковде, Кузокоцкой, Никольской, Медвежьей, в которых в штилевую погоду в фотической зоне биогены отсутствовали. После шторма появились в небольшом количестве: нитриты – 0,07, нитраты – 0,19, фосфаты – 0,07 мкг-ат/л. Слой скачка сохранился. Обогащение зоны фотосинтеза биогенами произошло, очевидно, за счет ветрового перемешивания.

В Онежском заливе такие явления проявляются менее отчетливо. Так например, в июне 1988 г. в результате резко усилившегося северо-западного ветра, температура воды в районе островов Боршовцы за два часа понизилась от 5,3°C до 2,3°C, остальные показатели не изменились.

5.5.3. Органический азот и фосфор

В водах Белого моря значительная часть биогенных элементов (азот, фосфор) представлена органическими соединениями, что обусловлено замедленной минерализацией вследствие низких температур, а также их поступлением с сильно гуминифицированными речными водами. По данным М.П. Максимовой (1978, 1989б, 1991а), около 90 % азота в Белом море представлено органическими соединениями и только 10 % – минеральными, а более легко минерализующегося фосфора 40 % – органическими и 60 % – минеральными.

В содержании и распределении органического азота и фосфора в губах Кандалакшского и Онежского заливов имеются существенные различия. Губы Кандалакшского залива отличаются сравнительной глубоководностью, сложным рельефом дна, сравнительно небольшим объемом речного стока. В этих губах в характере распределения гидрохимических параметров наблюдается сходство с водами открытой части моря (Бассейна): резкая стратификация вод по температуре и солёности. В глубоководных стратифицированных губах наблюдается дифференциация распределения $\text{N}_{\text{орг}}$ и $\text{P}_{\text{орг}}$ в водных массах разного генезиса.

В поверхностных водах губ Великая Салма и Чупа основной формой биогенных элементов является органическая. Например, $\text{N}_{\text{орг}}$ составлял 80-97% (18,0-33,0 мкг-ат/л) от общего содержания, а $\text{P}_{\text{орг}}$ - 60-100 % (0,14-0,93 мкг-ат/л). Максимальные же концентрации $\text{N}_{\text{орг}}$ (52,4 мкг-ат/л) и $\text{P}_{\text{орг}}$ (1,26 мкг-ат/л) наблюдались в слое скачка плотности (табл. 28), что связано с повышенным содержанием в нем органической взвеси.

В придонных водах были обнаружены минимальные значения органических соединений азота и фосфора, их доля снизилась до 2-70 % (2,0-10,0 мкг-ат/л) $N_{орг}$ и до 5-40 % (0,10-0,18 мкг-ат/л) $P_{орг}$, что связано с генетической природой глубинных вод, обедненных ОВ, а также с продукционными процессами, идущими в поверхностных слоях воды.

Таблица 28

**Содержание органического азота и фосфора в водах
Великой Салмы и Чупы (мкг-ат/л) в 1987.**

Горизм	пр. Великая Салма						гб. Чупа					
	Ст.3		ст.4		ст.5		ст.7		ст.8		ст.9	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
0	23,3	0,50	33,7	0,37	12,6	0,33	24,9	0,18	14,0	0,65	14,5	0,56
5	18,8	0,33	22,1	0,93	12,0	0,33	19,0	0,23	18,0	0,56	19,0	0,54
10	52,4	0,24	32,8	0,45	11,9	1,26	18,9	0,14	24,2	0,63	29,5	0,62
25	20,0	0,29	33,8	0,58	33,8	0,28	13,6	0	9,7	0,35	32,9	0,70
50	14,0	0,90	0	0,32	37,7	0,40	18,9	0	10,2	0,24	39,6	0,31
75	18,3	0	3,1	0	21,9	0,45					41,0	0,10
100			0	0,17	20,0	0,18						
150					10,0	0						
200					2,0	0						

Примечание: станции расположены в направлении от кутовой части к выходу из губы.

В относительно мелководных районах – губах Падан, Колвица, Княжая, Ковда, Кузокоцкая, Соностровская – изменение содержания органических азота и фосфора по глубине происходило более равномерно, но в губах со стратифицированными водами максимум тоже приурочен к слою скачка плотности: $N_{орг}$ 50-90 % (0,24-0,33 мкг-ат/л) и $P_{орг}$ 30-80 % (0,13-1,28 мкг-ат/л) $P_{орг}$. В придонном горизонте: 8-60 % (0,24-0,33 мкг-ат/л) $N_{орг}$ и 2-20 % (0,07-0,70 мкг-ат/л) $P_{орг}$ (табл. 29).

Губы Онежского залива в основном мелководные, открытые. Крупные реки – Кемь и Выг, оказывают сильное воздействие на губы Кемскую и Сорокскую: большой объем речного стока (порядка 10 км³/год в каждую губу), вынос органического вещества (250-350 тыс. т в год), включая и органические соединения азота и фосфора [Максимова, 1991а]. В Сорокской губе наиболее отчетливо прослеживается увеличение содержания органического азота и фосфора на кутовой станции: 37 мкг-ат N/л и 0,78 мкг-ат P/л (табл. 30).

Несмотря на то, что реки, впадающие в губы Сумская и Колежма относительно небольшие, их воздействие, вследствие мелководности (3-7 м), более заметно, чем рек Выг и Кеми. Содержание органического азота и фосфора в губах Сумская и Колежма более высокое, при максимальных величинах в губе Сумской N/л 69,9 мкг-ат N/л и P/л 0,8 мкг-ат, в губе Колежма – N/л 67,3 мкг-ат и P/л 0,7 мкг-ат P/л (табл. 31).

На севере Онежского залива содержание органического азота и фосфора более однородно. По наблюдениям в 1989 г. в толще воды органические азот и фосфор распределены равномерно (табл. 32). Следует отметить – в гб. Пуш-лахте повышенное их содержания объясняется тем, что наблюдения проводились в мелководной (до 3-х м) зоне с густыми зарослями макрофитов.

Таблица 29

**Содержание органических форм азота и фосфора в водах губ
Кандалакшского залива в августе 1989 г. (мкг-ат/л)**

Горизонт, м	г. Падан		г. Колвица		г. Палкина		г. Княжая		г. Ковда		г. Кузокоц- кая		г. Соно- стров	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
0	16,0	0,56	24,0	0,56	11,0	0,32	20,0	0,22	12,0	0,14	12,0	0,14	33,0	0,98
5	-	-	14,0	0,84	6,0	0,24	21,0	0,21	12,0	0,11	12,0	0,37	27,0	1,10
10	24,0	1,28	15,0	0,82	12,0	0,01	18,0	0,56	15,0	0,14	14,0	0,13		
25	24,0	0,01	20,0	1,12	24,0	0,07	32,0	0,72	24,0	0,18	26,0	0,17		
50			27,2	0,7										
среднее значение	22,0	1,00	20,0	0,92	21,0	0,12	22,0	0,50	16,0	0,14	17,0	0,20	30,0	1,04

Таблица 30

**Содержание органических форм азота в губах Кемская
и Сорокская в августе 1987г. (мкг-ат/л)**

Гориз м	Кемская						Сорокская					
	Ст.12		ст.13		ст.14		ст.18		ст.17		ст.16	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
0	30,1	0,39	27,1	0,41	34,7	0,06	36,9	0,80	31,8	0,01	16,9	0,01
5	28,4	0,10	25,0	0,10	23,5	0,03	37,0	1,16	25,9	0,13	20,3	0,03
10	4,4	0,06	19,0	0,12	18,3	0,02			25,1	0,13	9,5	0,02
25			12,5	0,04	16,5	0,05						
30			9,0	0,05								

Примечание: станции расположены в направлении от кутовой части к выходу из губы

Таблица 31

**Содержание органических форм азота и фосфора в водах губ
Сумская и Колежма в августе 1987 г. (мкг-ат/л)**

Горизм	Сумская						Колежма					
	Ст. 22		ст. 23		ст. 21		ст. 24		ст.25		ст.26	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
0	36,1	0,01	47,3	0,30	69,9	0,76	41,4	0,43	67,3	0,60	31,5	0,40
5	26,7	0,01	22,9	0,01	39,0	0,10	25,6	0,26	43,8	0,70	4,4	0,50
10					31,0	0,40					12,4	0,50

Примечание: станции расположены в направлении от кутовой части к выходу из губы

Таблица 32

**Содержание органических форм азота и фосфора в районе
Соловецких островов и губе Пушлахта в августе 1989 г. (мкг-ат/л)**

Гориз. м	Троицкая	пр. Печаковская Салма	Пушлахта					
	Ст. 1	ст.3	ст.4	ст.1				
	N	P	N	P	N	P	N	P
0	33,0	0,30	16,0	0,30	24,0	0,17	41,0	0,98
5	12,0	0,28	16,0	0,33	16,0	0,49		
10	16,0	0,31	22,0	0,31	24,0	0,18		
среднее знач.	18,0	0,30	18,0	0,32	20,0	0,33	41,0	0,98

В целом концентрация органического азота в поверхностных водах губ Кандалакшского залива варьирует в пределах 2-36 мкг-ат/л (при средней 23,3 мкг-ат/л), в губах Онежского залива 12-50 мкг-ат/л (при средней 29,6 мкг-ат/л). Фосфор органический, соответственно, в губах Кандалакшского залива 0,01-0,93 (средняя 0,41 мкг-ат/л) и в губах Онежского залива 0,01-1,16 (средняя 0,26 мкг-ат/л).

Распределение органического азота и фосфора в прибрежных районах Кандалакшского залива определяется в основном стратификацией вод и фотосинтезирующими организмами (фитопланктоном), и в меньшей степени речным стоком. В прибрежных районах Онежского залива в основном степенью воздействия речного стока, что и обусловило приуроченность наиболее высоких концентраций к вершинам заливов и к поверхностным водам.

Влияние жизненно важных биогенных элементов (азот, фосфор) на продукционные показатели фитопланктона в Белом море находится в сложной зависимости не только от содержания в водоеме, но и от их соотношения – принцип лимитирующего минимума [Федоров, Максимов, 1967; Федоров, Белая, Максимов, 1970; Белая, Потапова, 1976; Максимова, 1977а, 1977б, 1991а].

Исследованиями В.И. Вернадского [1923], А.П. Виноградова [1967], Т.Р. Парсонса, М. Такахаша, Б. Харгрейва [1982], Дж. Раймонта [1983] и др. установлено, что соотношения между содержанием химических элементов в организмах конкретных видов фитопланктона и зоопланктона является геохимическими константами.

Учитывая долю каждого вида фито- и зоопланктона в общей массе планктона в океане, выведено соотношение в среднем для фитопланктона C:Si:N:P=42:28:7:1 (весовая форма) и 108,5:31:15,5:1 (молярная форма), для зоопланктона (по массе) C:N:P=40:7,4:1 и для планктона в целом C:N:P=41:7,2:1 (по массе) или 106:16:1 (молярная форма) [Т.Р. Парсонс, М. Такахаша, Б. Харгрейв, 1982], [Раймонт, 1983].

По соотношению Si:N:P и форме их соединений можно судить об активности геохимических и биохимических процессов в море и их направленности. В Белом море, подверженном сильному геохимическому воздействию материкового стока и относительно ослабленных биохимических процессах, вследствие суровых климатических условий, соотношение минеральных форм биогенных элементов, по сравнению со стехиометрическим, в фитопланктоне сильно сдвинуто и составляет в среднем Si:N:P=21:2,7:1, но при этом имеет зональные и сезонные различия [Максимова, 1977а, 1977б, 1989б, 1991а, Maksimova, 2003, Максимова, 2004].

Поскольку кремний в водах Белого моря находится в достаточном количестве вследствие влияния речного стока, и, как правило, не лимитирует развитие фитопланктона, особое внимание обратим на соотношение N:P. В среднем для Белого моря $N_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}=30:1$, в то время как для минерального N:P=3:1, а для валового – 11:1 [Максимова, 1989б, 1991а] (табл. 33).

Таким образом, коэффициенты N:P мелководной прибрежной зоны отличаются от таковых для Белого моря в целом.

**Коэффициенты N:P в водной массе прибрежных районов
Кандалакшского и Онежского заливов**

Название района	Дата	$N_{\text{общ}}/P_{\text{общ}}$	$N_{\text{мин.}}/P_{\text{мин.}}$	$N_{\text{орг.}}/P_{\text{орг.}}$
Кандалакшский залив: ПВМ ПрВМ	август, 1987	28	5	29
	август, 1987	25	11	50
Онежский з-в	август, 1987	24	4	52
Кандал. з-в	август, 1989	12	11	13
Соностров	март, 1990	11	13	11
Соностров	июнь, 1990	3	14	2
Соностров	июль, 1990	10	1	25
Соностров	август, 1990	8	9	9
Соловецкие о-ва	июль, 1989	44	9	82
Соловецкие о-ва	сентябрь, 1989	14	35	7
Соловецкие о-ва	декабрь, 1989	6	7	47
Соловецкие о-ва	март, 1990	34	35	32
Соловецкие о-ва	июнь, 1990	4	12	1
Соловецкие о-ва	июль, 1990	44	33	52
Соловецкие о-ва	август, 1990	4	20	11
Соловецкие о-ва	сентябрь, 1990	30	38	—
р-ны Кандалакшского залива		13	7	19
р-ны Онежского залива		18	14	30

Это отличие тем больше, чем мелководнее и распресненное район: так в губах Кандалакшского залива этот коэффициент ближе к средним для моря, чем в губах Онежского залива, где наблюдается заметное преобладание всех форм азота над фосфором.

Связи и взаимообусловленность содержания и распределения гидрохимических компонентов (растворенного кислорода, биогенных элементов и форм их соединений органического вещества) и первичной продуктивности с физическими факторами среды для различных районов и водных масс Белого моря впервые были математически обоснованы применением корреляционного анализа и факторного анализа (метод главных компонент) [Максимова, 1985, 1991, Maksimova, 2003]. В настоящей работе с целью формализации зависимостей между компонентами водных экосистем разнотипных губ Белого моря, использован

метод корреляционного анализа (см. главу 6). Корреляционный анализ компонентов среды (гидрохимических и гидрологических) и первичной продуктивности позволяет математически установить факторы, определяющие формирование гидрохимического режима и первичной продуктивности в разнотипных губах. Сила и характер связей (коэффициенты корреляции) компонентов среды (биогенные элементы, органическое вещество, растворенный кислород и первичная продуктивность) с гидрологическими факторами (температура и соленость) свидетельствуют о степени влияния речного стока.

Так в мелководных опресняемых губах Онежского залива (табл. 39) четко выражены связи практически всех гидрохимических компонентов и первичной продуктивности с температурой воды (положительные) и с соленостью (отрицательные). Отмечается достоверная положительная связь всех форм биогенных элементов (минеральных и органических), органического углерода и первичной продуктивности – с температурой; и отрицательная – температуры воды с соленостью, содержанием и насыщенностью вод кислородом, что свидетельствует о сильном воздействии речного стока на формирование гидрохимического режима губ. В вершинах этих губ и обнаружены, при минимальной солености и максимальной температуре воды, максимальные концентрации всех форм биогенных элементов.

В водах слабо опресняемых губ Кандалакшского залива (табл. 35, 36) корреляционные связи компонентов среды, по сравнению с губами Онежского залива, менее выражены.

В водах слабо опресняемых губ (средняя соленость около 25 ‰) Кандалакшского берега и Карельского берега содержание биогенных элементов тесно связано с изменениями температуры и солености и изменяется с глубиной. Выраженная отрицательная корреляционная связь отмечается для нитратного азота, фосфатов и растворенного кислорода – с температурой воды, и положительная нитратов и фосфатов – с соленостью. С глубиной возрастают – соленость, содержание нитратов, фосфатов, и понижается насыщение вод кислородом, а в губах Карельского побережья – и содержание кислорода.

Более показательны индивидуальные корреляционные матрицы для отдельных районов (табл. 37 – Великая Салма, табл. 38 – Чупа) в отличие от осредненных для побережий. Для этих губ характерны выраженные сильные корреляционные связи показателей компонентов среды и первичной продуктивности.

В стратифицированных водах относительно глубоководных районов - Великая Салма (табл. 37) и Чупа (табл.38) – также наблюдается сильная

положительная связь растворенного кислорода, нитратов и фосфатов с соленостью, а отрицательная — с температурой. В этих районах наиболее ярко выражена связь формирования гидрохимического режима со стратификацией вод, что и подтверждается коэффициентами корреляции. С глубиной — возрастает соленость, содержание растворенного кислорода, нитратного азота, фосфатов и, наоборот понижается насыщение вод кислородом, содержание органических форм азота и фосфора, а также аммонийного азота. Первичная продуктивность (в августе) характеризуется в Великой Салме отрицательной связью с нитратным азотом и фосфатами (очевидно исчерпанными в процессе фотосинтеза), и положительной — с аммонийным азотом и органическим фосфором, а в Чупе — с нитритным азотом, которые видимо и обеспечивают потребности фитопланктона в азоте и фосфоре.

Таким образом, корреляционный анализ показал, что в мелководных губах Онежского залива определяющим фактором формирования гидрохимического режима является материковый сток, в глубоководных районах (Великая Салма и Чупа) — в основном стратификацией водных масс и их генетической природой. В губах Карельского берега играют роль оба фактора. Следовательно и продуктивность в исследованных районах формируется под действием различных природных факторов в зависимости от района.

ГЛАВА 6. ТИПИЗАЦИЯ ГУБ БЕЛОГО МОРЯ

Полученные в результате проведенных исследований системные материалы позволили разработать классификацию (типизацию) губ Белого моря по комплексу системных признаков, поскольку тип водоема характеризуется определенным комплексом природных условий морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических признаков и определенной системой и силой функциональных связей между ними.

Классификация многочисленных, чрезвычайно разнообразных по своим природным условиям губ Белого моря – с одной стороны упорядочивает научные знания о них, позволяет установить ранговую зависимость по ряду признаков, а также способствует более целесообразному использованию в целях развития марикультуры.

Кратко остановимся на методологии проблемы. Концепция системной экологии, рассматривающей водоем как единое целое, как организованную систему, в которой тесно взаимосвязаны все ее элементы, позволила сделать значительный шаг в развитии типологического направления в экологии моря. Этому способствовало широкое использование методов математической статистики с целью формализации зависимостей между компонентами водных экосистем. В настоящей работе использован метод корреляционного анализа, а при интерпретации – научный анализ в сравнительном аспекте.

Таким образом, при типизации губ рассматривались: комплекс системных признаков, морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических и функциональные связи между ними.

Ранее М.П. Максимовой корреляционный и факторный анализы и научный анализ в сравнительном аспекте применялись при классификации: многочисленных рек (48) впадающих в Белое море [Максимова, 1982, 1983а]; типизации водных масс Белого моря [Максимова, 1985г, 1989б, 1991а], а также «Типизации водных экосистем Севера» [Максимова, 2007б]. Научный анализ в сравнительном аспекте, как необходимая составляющая, использовался при классификации (типизации) водных объектов [Максимова, 1983а, 1998, 2004].

При несомненной важности типологического направления в экологии моря, следует отметить и определенные ограничения данной классификации. Очевидно, что границы между отдельными типами, хотя и установленными по комплексу системных показателей, относительно условны, не всегда четко укладываются в типологическую систему (схе-

му), и отдельные признаки могут выходить за пределы крайних в ряду величин того или иного типа.

Таким образом, на основе научного анализа в сравнительном аспекте, с применением корреляционного анализа, по комплексу морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик разработана классификация губ Белого моря. Установлены 4 основных типа губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов (табл. 34):

I тип – фьордовые губы Кандалакшского залива: Падан, Лов, Пильская, Колвица, Великая Салма, Чупа;

II тип – шхерные районы Карельского побережья:

1 подтип – Палкина, Белая Княжая, Ковда;

2 подтип – Кузокоцкая, Медвежья, Оборина Салма, Никольская, Соностровская;

III тип – Северные районы Онежского залива: Соловецкие острова. Кемские шхеры;

IV тип – мелководные губы Онежского залива:

1 подтип – Кемская, Сорокская;

2 подтип – Сумская, Колежма.

Для каждого типа даны характеристики гидрохимической и гидрологической структуры и режима, биопродуктивность – основные факторы их определяющие, корреляционные связи компонентов экосистемы, а также оценка потенциальных перспектив для марикультуры.

Резкие типовые отличия свойственны прежде всего губам глубоководного Кандалакшского залива и мелководного Онежского залива. Основные характеристики типов губ Белого моря представлены в таблице 34.

Фьордовые губы Кандалакшского залива узкие, глубоко врезаемые в сушу, сравнительно глубокие, их воды стратифицированы, постоянный пикноклин в летний период на глубине 15-20 м. Гидрохимические и гидрологические показатели претерпевают значительные изменения по вертикали, обусловленные в основном стратификацией и разной генетической природой вод. Прозрачность достигает 8-10 м (преимущественно 5-8 м), слой эффективного фотосинтеза 10-15 м. В летний период в фотическом слое, выше пикноклина нередко наблюдается истощение минеральных форм биогенных элементов (табл. 34).

Губы Онежского залива мелководны, особенно в южной части залива, невелики по протяженности, открыты, их воды, как правило, не стратифицированы, для них характерно сильное воздействие речного стока и соответственно пониженная соленость, гомотермия, низкая прозрачность, гидрохимическая гомогенность по вертикали, питательные соли летом не истоща-

ются. Слой фотосинтеза ограничен низкой прозрачностью вследствие мутности, обусловленной взвешенными веществами речного стока (табл. 34).

В целом все исследованные районы обладают интенсивными скоростями течений, хорошо аэрируются.

Как уже отмечалось, в вершины губ обычно впадают реки. Их воздействие определяется объемом и химизмом стока, его отношением к объему водных масс губ, их глубиной, наличием стратификации, степенью открытости и интенсивностью водообмена.

Важнейшими классификационными интегральными показателями, а также показателями трофики и биопродукционного потенциала морских экосистем, в том числе и губ, являются показатели органического вещества (ОВ), составляющие его баланса, отражающие роль источников поступления и направленность миграционных процессов ОВ, которые также учитывались. Для губ такими характерными показателями являются соотношение аллохтонного и автохтонного органического вещества в балансе ОВ и уровень сбалансированности продукционно-деструкционных процессов (см. разделы 5.2 и 5.3).

Наиболее четкие классификационные признаки отличают губы Кандалакшского залива (I и II типы) и губы Онежского залива (IV тип). Прежде всего, это физические характеристики: глубина, скорости течений, прозрачность, удельный речной сток (отнесенный к объему водной массы губы), показателем которого является соленость и в значительной степени определяемые ими – содержание и насыщение вод кислородом, характеристики содержания, распределения и соотношения форм соединений биогенных элементов, содержание органического вещества, а также, как результирующая, первичная продуктивность.

I, II, IV типы – это губы прибрежной зоны, несколько особняком стоит III тип – Соловецкие острова и Кемские шхеры, расположенные на границе Бассейна и Онежского залива (на входе в Онежский залив). Отсюда III тип характеризуется и наиболее высокой соленостью и скоростями течений, интенсивным перемешиванием вод, насыщенностью кислородом, отсутствием пикноклина, постоянным наличием биогенных элементов, низкими температурами.

Типовые различия между губами Кандалакшского залива (I и II типы) менее выражены, чем их отличие от губ Онежского региона (III и IV типы) и обусловлены, главным образом, морфометрическими особенностями губ и речным стоком, в значительной степени определяющими различия в солености и скоростях течений. Существенным является и расположение губ: подтипа II-1 северо-западной части Карельского берега, а подтипа II-2 – в юго-восточной части, более открытой.

Типовые океанологические характеристики прибрежных районов Кандалакшского и Онежского заливов

Тип	Район	Глубины, м	Прозрачность, м	Скорости течений, м/с	Температура, сред. за лето	Соленость, ‰	Насыщ. кислородом, ‰	Биогенные элементы, мкг-ат/л	Примечание
I	Паданская, Лов, Колвица, Чула	30-50	5-8	0,13-0,32	12,06 °С	25,5	98	в июле-августе не обнаружены	слой пикноклина на глубине 15-20 м
II	1. Палкина, Белая, Княжая, Ковда 2. Кузокоцкая, Медвежья, Оборина	20-40	5-8	0,10-0,28 (до 0,60-1)	10,77 °С	24,0	98	в июле-августе не обнаружены	Весной слой пикноклина на глубине 15-20 м
	Салма, Никольская, Со- ностровская	20-40	6-8	0,10-0,30	11,04 °С	27,0	98-100	в августе не обнаружены	Летом размывается
III	Соловецкие острова, Кемские шхеры	25-30	6	0,20-1,0	9,38 °С	28,0	100-110	обнаружены повсеместно	пикноклин отсутствует
IV	1. Кемская и Сорокская	10-30	2	0,10-0,20	12,0 °С	0-20,0	90	обнаружены повсеместно	слой пикноклина на глубине 5 м
	2. Сумская, Колежма	5-10	1	0,10-0,20	13,77 °С	0-20	90	обнаружены повсеместно	пикноклин отсутствует

В пределах Онежского залива резкими различиями типовых характеристик отличается IV тип от III типа (Соловетские острова и Кемские шхеры): IV тип – губы прибрежной зоны Онежского залива характеризуются наименьшими глубинами, самой низкой соленостью (влияние рек Кемь и Выг), относительно невысокими скоростями течений, хорошим прогревом вод, недонасыщением кислородом. Общим для III и IV типов является только отсутствие пикноклина и постоянное наличие минеральных соединений биогенных элементов.

Представленным классификационным типам губ Белого моря соответствуют функциональные связи, отраженные в корреляционных матрицах основных характеризующих их параметров. Типовые корреляционные матрицы существенно различаются по характеру и силе связей, выявляя наиболее значимые для каждого типа губ. В таблицах 35–40 представлены типовые корреляционные матрицы в осредненном виде для фьордовых губ – Кандалакшского берега (табл. 35), Карельского берега (табл. 36), Поморского берега (табл. 39), а также для некоторых отдельных наиболее характерных районов – Великая Салма (табл. 37), Чупа (табл. 38), Печаковская Салма (табл. 40).

Все таблицы корреляционных матриц (табл. 35–40) помещены в конце главы главы 6 – «Типизация губ Белого моря».

Анализ корреляционных матриц показал, прежде всего, выраженную корреляционную связь всех параметров среды с соленостью, температурой воды, а также с глубиной, и отражает генетическую природу и ключевые факторы формирования вод исследованных губ.

В мелководных, опресняемых речным стоком, губах Онежского залива – Поморский берег (IV тип) – корреляционная матрица в целом характеризуется достаточно сильными связями параметров среды (табл. 39). Наиболее опресняемые воды кутовой части губ, куда впадают реки, характеризуются пониженной соленостью и повышенной температурой воды. Фактически все значимые корреляционные связи параметров среды являются положительными с температурой воды (насыщение кислородом, минеральные и органические соединения биогенных элементов, органический углерод, первичная продуктивность) и отрицательными – с соленостью и глубиной (содержание кислорода, и его насыщение, органический углерод, органические соединения биогенных элементов). Характер и сила корреляционных связей показывает существенную роль в формировании гидрохимического режима этих губ речного стока, избыточного органическим веществом и соединениями биогенных элементов в органической форме. Для водосборных бассейнов этих рек (Поморское побережье) характерна сильная заболоченность [Максимова, 1991а].

Для глубоководных губ Кандалакшского залива – Кандалакшского берега (I тип) и Карельского берега (II тип), корреляционные матрицы (табл. 35, 36) в целом характеризуются менее выраженными корреляционными связями параметров среды, по сравнению с губами Онежского залива (табл. 39), что свидетельствует о меньшей однозначности формирующих факторов среды. А для корреляционных матриц губ Кандалакшского залива, наоборот, характерна отрицательная связь с температурой воды и положительная с соленостью. Выраженные изменения большинства параметров среды с глубиной в значительной степени обусловлены стратификацией вод, разобщением поверхностного фотического слоя от глубинных вод пикноклином.

Анализ корреляционных матриц глубоководных губ Кандалакшского залива (табл. 35, 36) свидетельствует о значимом изменении с глубиной всех параметров среды. С глубиной значимо повышается соленость и содержание минеральных форм биогенных элементов, но значимо понижается температура воды, содержание (и особенно насыщение) кислорода. Можно отметить тенденцию уменьшения с глубиной органического и общего фосфора, а также органического и общего связанного азота. Различия в характере и силе корреляционных связей исследованных параметров среды между губами I и II типов Кандалакшского залива менее выражены, чем их различия с губами IV типа (Онежский залив).

Наиболее выражены и характерны корреляционные связи в матрицах отдельных губ, где они не сглажены осреднением. Так, для глубоководной Великой Салмы, в матричной корреляции (табл. 37) статистически значимы около 70% анализируемых связей параметров среды. Жесткие связи, практически всех анализируемых параметров характерны с соленостью, температурой воды и глубиной, и показывают генетическую связь вод, расположенных под пикноклином, с глубоководными водами Кандалакшского залива. Корреляционная матрица глубоководной водной массы Белого моря представлена в работе [Максимова, 1991а]. Для несколько менее глубоководной губы Чупа (табл. 38) эти связи так же показательны.

Примечание: к таблицам корреляционных матриц:

- *графа «станция»* – океанографические станции в губах нумеровались по направлению от кутовой части губы к открытому морю и, таким образом, характеризуют их пространственное расположение,

- *графа «месяц»* – отражает временную корреляционную связь в период наблюдений май – октябрь.

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в фьордовых губах Кандалякского берега (Губы Падан, Пильская, Лов, Колвица) (1988-1990 гг.)

	район	ст.	месяц	гориз.	темп.	солен.	O ₂ мл/л	O %	NO ₂	NO ₃	N общ.	PO ₄	P общ.	P орг.
район	1													
станция	-0,55	1												
месяц	0,17	-0,09	1											
горизонт	0,11	-0,02	0,16	1										
темпер.	0,00	-0,02	0,25	-0,52	1									
соленость	0,17	-0,10	-0,13	0,66	-0,62	1								
O ₂ мл/л	0,00	-0,11	-0,72	-0,19	-0,51	0,15	1							
O %	0,12	-0,20	-0,54	-0,63	0,19	-0,34	0,63	1						
NO ₂	-0,13	0,20	0,10	-0,14	0,11	-0,08	-0,35	-0,31	1					
NO ₃	0,02	0,11	0,06	0,62	-0,72	0,56	0,01	-0,62	0,14	1				
N общ.	-0,16	0,24	0,00	0,17	-0,08	0,05	0,05	0,02	-0,08	0,62	1			
PO ₄	0,01	0,23	0,35	0,67	-0,36	0,48	-0,40	-0,85	0,34	0,13	0,16	1		
P общ.	0,05	0,13	-0,05	0,10	-0,04	0,09	0,00	0,24	-0,65	-0,36	0,08	0,20	1	
P орг.	0,03	0,13	-0,05	0,10	-0,04	0,07	0,00	0,27	-0,68	-0,38	0,06	0,20	0,90	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,20 (обычный шрифт), 99%-0,25(жирный шрифт), незначимые-курсив

Таблица 36

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в губах Карельского берега (Губы Палкина, Белая, Княжая, Ковда, Кузокоцкая, Медвежья, Оборина Салма, Никольская, Соностров) (1988-1990 гг.)

	<i>p-n</i>	<i>ст.</i>	<i>м-ц</i>	<i>гор.</i>	<i>темп.</i>	<i>сол.</i>	<i>O₂ мл/л</i>	<i>O %</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>N общ.</i>	<i>PO₄</i>	<i>P общ.</i>	<i>P орг.</i>
район	1													
станция	0,44	1												
месяц	-0,22	-0,35	1											
гориз.	-0,12	-0,02	0,09	1										
темп.	-0,02	-0,16	0,36	-0,32	1									
солен.	-0,30	-0,10	0,08	0,45	-0,19	1								
<i>O₂ мл/л</i>	0,17	0,25	-0,69	-0,26	-0,46	-0,13	1							
<i>O %</i>	0,15	<i>0,00</i>	-0,34	-0,42	0,17	-0,20	0,57	1						
<i>NO₂</i>	0,12	0,22	<i>0,01</i>	0,18	<i>0,02</i>	-0,16	-0,13	-0,24	1					
<i>NO₃</i>	<i>0,02</i>	<i>0,06</i>	<i>0,08</i>	0,32	-0,27	0,13	-0,14	-0,44	<i>0,05</i>	1				
<i>N общ.</i>	0,31	0,16	<i>0,01</i>	<i>-0,10</i>	<i>0,08</i>	<i>0,10</i>	-0,13	<i>-0,04</i>	-0,20	0,40	1			
<i>PO₄</i>	-0,12	<i>0,07</i>	0,14	0,48	-0,19	0,16	-0,30	-0,52	0,19	0,29	0,55	1		
<i>P общ.</i>	-0,70	0,55	-0,47	-0,16	<i>-0,04</i>	0,23	0,43	0,13	-0,25	-0,18	0,48	-0,39	1	
<i>P орг.</i>	0,47	0,56	-0,56	-0,14	-0,47	0,14	0,55	<i>0,08</i>	-0,24	-0,20	-0,09	-0,29	0,94	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,11(обычный шрифт), 99%-0,14(жирный шрифт), незначимые-курсив

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в пр. Великая Салма (август, 1987 г.)

станция	ст.	гориз.	темп.	солен.	O_3 мг/л	O %	PO_4	P общ.	P орг.	NH_4	NO_2	NO_3	Нсум. мин.	N орг.	N общ.	S org	ПП
горизонт	0,46	1															
темпер.	-0,47	-0,85	1														
солен.	0,39	0,88	-0,93	1													
O_2 мг/л	0,41	0,54	-0,83	0,64	1												
O %	-0,42	-0,88	0,92	-0,94	-0,56	1											
PO_4	0,40	0,92	-0,94	0,94	0,69	-0,92	1										
P общ.	0,46	0,27	-0,48	0,44	0,51	-0,41	0,40	1									
P орг.	0,12	-0,45	0,47	-0,48	-0,35	0,42	-0,54	0,40	1								
NH_4	0,30	-0,54	0,42	-0,48	-0,25	0,41	-0,55	0,07	0,52	1							
NO_2	-0,38	-0,26	0,20	-0,14	-0,28	0,12	-0,27	-0,21	-0,01	0,12	1						
NO_3	0,41	0,85	-0,97	0,91	0,79	-0,89	0,92	0,45	-0,48	-0,47	0,00	1					
Нсум.мин.	0,40	0,83	-0,96	0,90	0,78	-0,89	0,90	0,44	-0,47	-0,44	0,00	1,00	1				
N орг.	-0,17	-0,44	0,40	-0,40	-0,22	0,47	-0,45	-0,23	0,07	0,28	0,24	-0,47	-0,46	1			
N общ.	0,08	0,09	-0,24	0,19	0,31	-0,12	0,12	0,04	-0,26	-0,01	0,19	0,21	0,23	0,75	1		
S org	0,10	-0,18	0,08	-0,21	0,04	0,18	-0,14	-0,15	-0,12	0,24	0,22	-0,15	-0,14	0,35	0,26	1	
ПП	0,40	0,00	-0,29	-0,85	0,67	0,33	-0,77	-0,39	0,61	0,81	0,00	-0,62	-0,32	0,58	0,57	0,44	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,33(обычный шрифт),
99%-0,42(жирный шрифт), незначимые-курсив

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в губе Чула (август, 1987 г.)

	ст.	гориз.	темл.	солен.	O ₂ мл/л	O %	PO ₄	P общ.	P орг.	NH ₄	NO ₂	NO ₃	лсум. мин.	N орг.	N общ.	C орг.	ПП
станция	1																
гориз.	0,29	1															
темл.	-0,16	-0,94	1														
солен.	0,46	0,80	-0,75	1													
O ₂ мл/л	0,27	0,57	-0,67	0,21	1												
O %	0,02	-0,82	0,83	-0,77	-0,16	1											
PO ₄	0,12	0,79	-0,83	0,56	0,66	-0,62	1										
P общ.	0,75	0,32	-0,26	0,26	0,46	-0,01	0,42	1									
P орг.	0,60	-0,41	0,50	-0,25	-0,15	0,56	-0,49	0,57	1								
NH ₄	-0,21	-0,41	0,36	-0,35	-0,09	0,47	-0,27	-0,03	0,24	1							
NO ₂	-0,77	0,09	-0,20	-0,25	0,12	-0,22	0,17	-0,58	-0,66	-0,11	1						
NO ₃	0,10	0,88	-0,92	0,65	0,67	-0,72	0,89	0,26	-0,50	-0,27	0,26	1					
лсум. мин.	0,10	0,64	-0,62	0,53	0,38	-0,50	0,64	0,31	-0,22	0,14	0,11	0,72	1				
N орг.	0,14	0,33	-0,30	0,11	0,29	-0,23	0,52	0,49	-0,04	-0,38	0,05	0,28	0,23	1			
N общ.	0,14	0,50	-0,49	0,25	0,42	-0,38	0,69	0,51	-0,16	-0,40	0,11	0,49	0,38	0,97	1		
C орг.	-0,50	-0,13	0,06	-0,58	0,20	0,12	-0,17	-0,25	-0,11	0,15	0,47	-0,10	-0,12	0,00	-0,02	1	
ПП	-0,84	0,00	0,99	-0,99	0,56	-0,20	0,41	-0,14	-0,20	-0,13	0,91	-0,35	0,27	0,86	0,86	0,98	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,33(обычный шрифт), 99%-0,42(жирный шрифт), незначимые-курсив

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в губах Онежского залива (губы Кемская, Сорская, Сумская, Колежма) (август, 1987г)

	<i>p</i> -н	<i>ст.</i>	<i>гориз.</i>	<i>темп.</i>	<i>со- лен.</i>	<i>O₂</i> <i>мл/л</i>	<i>O</i> %	<i>PO₄</i>	<i>P</i> <i>общ.</i>	<i>P</i> <i>орг.</i>	<i>NH₄</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>Нсум.</i> <i>мин</i>	<i>N</i> <i>орг.</i>	<i>N</i> <i>общ.</i>	<i>С</i> <i>орг.</i>	<i>ПП</i>
район	1																	
станция	0,97	1																
горизонт	-0,40	-0,35	1															
темпер.	0,65	0,59	-0,62	1														
солен.	0,02	0,08	0,41	-0,64	1													
<i>O₂</i> мл/л	-0,50	-0,53	-0,12	0,15	-0,79	1												
<i>O</i> %	-0,02	-0,03	-0,24	0,41	-0,47	0,60	1											
<i>PO₄</i>	-0,23	-0,23	-0,07	-0,08	-0,10	0,21	0,12	1										
<i>P</i> общ.	0,09	0,11	-0,41	0,54	-0,61	0,42	0,46	0,40	1									
<i>P</i> орг.	0,45	0,47	-0,36	0,56	-0,44	0,11	0,22	-0,58	0,39	1								
<i>NH₄</i>	0,48	0,50	-0,28	0,57	-0,42	0,07	0,17	-0,29	0,23	0,58	1							
<i>NO₂</i>	0,21	0,23	-0,33	0,54	-0,68	0,47	0,42	0,40	0,55	0,28	0,55	1						
<i>NO₃</i>	0,48	0,54	-0,06	0,44	-0,23	-0,09	0,04	-0,45	0,09	0,62	0,64	0,28	1					
<i>Нсум.мин</i>	0,52	0,59	-0,12	0,50	-0,32	-0,04	0,07	-0,30	0,17	0,61	0,73	0,48	0,96	1				
<i>N</i> орг.	0,40	0,39	-0,57	0,47	-0,25	0,05	0,23	-0,11	0,43	0,54	0,19	0,21	-0,01	0,03	1			
<i>N</i> общ.	0,54	0,55	-0,57	0,60	-0,33	0,03	0,23	-0,19	0,46	0,70	0,41	0,35	0,29	0,34	0,95	1		
<i>С</i> орг.	0,13	0,09	-0,43	0,53	-0,47	0,18	0,13	0,36	0,50	0,09	0,11	0,33	-0,17	-0,06	0,42	0,38	1	
ПП	0,43	0,35	0,00	0,45	0,19	-0,21	0,42	0,02	-0,06	-0,21	-0,12	-0,13	-0,06	-0,08	0,19	0,15	0,04	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,33(обычный шрифт),
99%-0,42(жирный шрифт), незначимые-курсив

Матрица коэффициентов корреляции между параметрами среды в пр. Печаковская Салма (1989-1996гг.)

	дата	гор.	сол.	темп.	O ₂ мг/л	O %	NO ₂	NO ₃	Нобщ	Рмин	Робщ	ПП
дата	1											
гор.	0,00	1										
сол.	0,17	0,12	1									
темп.	0,95	-0,06	0,13	1								
O ₂ мг/л	-0,75	0,01	-0,25	-0,71	1							
O %	0,47	-0,06	-0,14	0,59	0,15	1						
NO ₂	0,44	-0,07	-0,05	0,45	-0,44	0,18	1					
NO ₃	-0,80	0,00	0,01	-0,81	0,45	-0,64	-0,25	1				
Нобщ	-0,52	-0,06	-0,14	-0,51	0,31	-0,42	-0,29	0,44	1			
Рмин	-0,41	-0,09	-0,08	-0,32	0,36	-0,19	0,12	0,40	0,19	1		
Робщ	0,06	0,07	0,09	0,11	0,03	0,15	-0,11	-0,08	0,46	-0,07	1	
ПП	-0,65	-0,50	-0,63	-0,39	0,34	0,58	-0,22	0,49	0,20	-0,01	-0,08	1

Достоверные значения коэффициентов корреляции при уровне значимости 95%-0,20(обычный шрифт), 99%-0,25(жирный шрифт), незначимые-курсив

ВЫВОДЫ

1. На основании исследований, проведенных в 1985-1997 гг., выявлены основные закономерности гидрологического и гидрохимического режима и факторы его формирования в разнотипных губах и шхерных районах Кандалакшского (*Падан, Пильская, Лов, Колвица, Палкина, Белая, Ковда, Великая Салма, Кузокоцкая, Медвежья, Чупа, Оборина Салма, Никольская, Соностров*) и Онежского (*Соловки, Кемские шхеры, Кемская, Сорокская, Боршовцы, Сумская, Колежма, Пушлахта*) заливов. Исследованы скорости и направления течений, термогалинная структура, температурный режим прибрежной зоны. Таким образом, изучены факторы формирования гидрохимического режима, пространственно-временная изменчивость и причинно-следственная обусловленность факторов среды и первичной продуктивности; а также установлены корреляционные связи компонентов среды и первичной продуктивности. Дана оценка обеспеченности фитопланктона биогенными элементами, выявлены элементы, лимитирующие его продуктивность.

2. Полученные в результате проведенных комплексных исследований материалы позволили разработать классификацию (типизацию) губ Белого моря по комплексу системных признаков, поскольку тип водоема характеризуется определенным комплексом морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических признаков и определенной системой и силой функциональных связей между ними.

3. Формирование гидрохимического режима прибрежных районов, его особенности определяются: геоморфологическими особенностями прибрежных районов, их положением в пограничных зонах — с материком, с водами открытого моря и на границах сред (с грунтами и атмосферой), динамикой вод — постоянными течениями, приливно-отливными и ветровыми, интенсивностью водообмена с открытым морем, речным стоком, а для Белого моря в целом, и суровыми климатическими условиями.

— Кандалакшский и Онежский заливы Белого моря различаются своеобразием формирования гидрологической и гидрохимической структуры водных масс.

— Воды Кандалакшского залива имеют резко выраженную вертикальную стратификацию (включающую водные массы: поверхностную ПВМ, промежуточную ПрВМ, глубинную ГВМ), что проявляется и в относительно глубоководных прибрежных районах. ПрВМ и ГВМ гене-

тически представляют трансформированные баренцевоморские воды.

- В мелководном Онежском заливе сильные приливные течения и интенсивное вертикальное турбулентное перемешивание вод приводят к вертикальной гомотермии и гомогалинности на большей части акватории залива, что соответственно проявляется и в формировании режима мелководных губ.

4. В целом, все исследованные районы обладают интенсивными скоростями течений. В фьордовых губах Кандалакшского залива наблюдаются реверсивные течения со скоростями в среднем 0,10-0,20 м/с, шхерные районы отличаются большим разнообразием направлений и скоростей течений – от 0,04 до 0.30 м/с.

Приливо-отливные течения в Онежском заливе имеют большие скорости и оказывают существенное влияние на особенности его гидрологии и гидрохимии. Особенно велики скорости приливных течений у островов Кузова, где могут достигать в сизигию 1,00 м/сек и более. В губах скорости течений менее интенсивные и составляют в среднем около 0,10 м/с.

5. Во всех исследованных районах Кандалакшского залива наблюдался слой температурного скачка на глубине 10-15 м. На глубинах 50-70 м температура в течение всего года ниже 0°С.

– В более открытых районах Кандалакшского залива – Никольской, Кузокоцкой, Обориной Салме, Ковде – максимальные температуры наблюдались в августе и достигали значений 15°С. В губах кутовой части залива (Палкиной, Колвице, Княжой), а также в фьордовых губах (Лов, Пильская), максимум температуры приходился на июль.

– На большей части акватории Онежского залива вследствие сильных приливо-отливных течений наблюдается интенсивное вертикальное турбулентное перемешивание вод, что приводит к полной вертикальной гомотермии.

– На акватории Онежского залива распределение температуры летом характеризуется повышением ее значений от Соловецких островов к вершине залива и от его оси к берегам.

6. Особенностью исследованных прибрежных районов Кандалакшского залива является стратификация вод по солености: трехслойная в глубоководных районах (гб. Колвица, пр. Великая Салма, гб. Чупа), двухслойная в губах Кандалакшского и Карельского берега. В глубоководных районах Кандалакшского залива прослеживается слой скачка плотности на глубине 10-20 м. В конце августа – сентябре происходит практически размыв слоя скачка и выравнивание солености по вертикали. Исключение составляют устьевые участки губ, где и осенью различия

в солености поверхностной и придонной водной массы были значительными.

– В Онежском заливе, вследствие его мелководности и интенсивного перемешивания вод, наблюдается гомогалинность. В мелководных губах, в которые впадают малые реки, соленость практически однородна от поверхности до дна (Колежма, Сумская). В губах, подверженных сильному воздействию речного стока (Кемская, Сорокская), наблюдается пониженная соленость в кутовых частях до 0-5 ‰ в устьевых до 16-20 ‰, при солености придонного горизонта 24 ‰. В районе Соловков соленость всей водной толщи составляет 26-28 ‰.

7. Важнейшим интегральным показателем функционирования экосистемы моря (губ) является органическое вещество – углеродный цикл, определяющий трофику моря и биопродукционный потенциал. Антропогенное нарушение экосистемы сказывается, прежде всего, в нарушении углеродного цикла и разбалансированности продукционно-деструкционных процессов, так как углерод является наиболее технофильным элементом. Углеродный цикл функционально связан с циклом биогенных элементов – азотом и фосфором, а также кислородным режимом.

– Концентрация органического углерода в летний период изменяется в широких пределах, как в разнотипных губах, так и в отдельно взятых губах по акватории и глубинам (от 3,5 до 10 мг $C_{орг}/л$), при наиболее высоком содержании в мелководных и пониженном – в глубоководных губах. Характерно возрастание $C_{орг}$ по мере приближения к вершинам губ и устьям рек, и понижение – с глубиной. В стратифицированных губах, при доминантной закономерности уменьшения концентрации $C_{орг}$ с глубиной, четко выражено увеличение в слое пикноклина, иногда превышавшее концентрацию $C_{орг}$ поверхностных вод.

Формирование состава органического вещества в губах Белого моря происходит в основном в результате взаимодействия первичного автохтонного ОВ, продуцируемого фитопланктоном (в меньшей степени – макрофитами) и аллохтонного терригенного ОВ, поступающего с речными водами. Средний показатель органического стока рек Белого моря – около 10 т/км²/год. Первичная продуктивность оценивается для разнотипных губ порядка 10-45 г С/м²/год, при вероятной межгодовой изменчивости от 55% до 80 % от средней величины.

– В мелководных, подверженных сильному воздействию речного стока губах, в годовом балансе органического вещества преобладает аллохтонное органическое вещество терригенного генезиса над автохтонным (в десятки и сотни раз); в губах с малым речным стоком – в несколько раз. В глубоководных губах фьордового типа, с небольшим реч-

ным стоком, терригенное ОВ в балансе органического вещества лишь незначительно превалирует над автохтонным, а в некоторых, возможно, и уступает ему. При интенсивном водообмене губ со смежной акваторией моря вынос органического вещества из губ превышает поступление с компенсационным течением. Превалирующая роль в водах губ терригенного ОВ над автохтонным подтверждается отрицательной корреляционной связью распределения органического углерода с соленостью ($r = -0,83 \pm 0,07$; $p = 0,96$) и лишь слабой связью с первичной продуктивностью ($r = 0,28 \pm 0,19$; значимой только при $p = 0,70$).

8. Первичная продуктивность в губах определяется совокупностью факторов, роль которых может меняться в сезонном и региональном аспектах. К важнейшим факторам среды, контролирующим продуктивность фитопланктона, относятся: освещенность, температура, соленость, устойчивость вод и питательные соли.

– Первичная продуктивность прибрежных районов Кандалакшского и Онежского заливов в среднем составляет 250-300 мгС/м²/сут, что характеризует их в целом как мезотрофные.

– Наиболее высокой первичной продуктивностью отличаются мелководные губы Онежского залива с небольшими глубинами в пределах 10-15 м. Для этих губ характерно интенсивное перемешивание вод до дна, малая прозрачность (в пределах 0,5-1,5 м) и толщина фотического слоя (1-5 м). В этих губах ПП обычно более 100 мг С/м³/сут (>200 мг С/м²/сут) и в среднем составляет около 120-150 мг С/м³/сут (250-300 мг С/м²/сут), при варьировании на отдельных станциях в весьма широких пределах - от минимальной 10 мг С/м³/сут (23 мг С/м²/сут) в мутных водах эстуария р. Кемь до высокой - 375 мг С/м³/сут (789 мг С/м²/сут) в центральной части губы Сорокской.

– В губах Кандалакшского залива величины ПП примерно одного порядка - 100-300 мг С/м²/сут и увеличиваются на “морских” станциях. Глубоководные районы Кандалакшского залива Великая Салма и Чупа по уровню ПП несколько уступают мелководным губам Онежского залива, несмотря на стратификацию в их глубоководной части, а также большую прозрачность и толщину фотического слоя.

9. В водах губ в летний период бактериальной деструкции *in situ* подвергается за сутки от 0,05 до 0,25 мг С/л (наиболее типичные величины 0,07-0,10 мг С/л/сут.), что составляет 1-2% от содержания ОВ. Характерно снижение деструкционных процессов ОВ от вершин губ к внешнему краю. В летний период продукционно-деструкционные процессы ОВ относительно сбалансированы лишь в самых мелководных губах. В толще вод глубоководных губ деструкция органического вещества зна-

чительно превалирует над первичным синтезом органической материи и летом (в глубоководной части – в 10-20 раз, в прибрежной – в 2,5-10 раз), что обусловлено малой толщиной фотического слоя относительно деструкционной толщи глубоководной массы глубоководных губ.

В балансе органического вещества губ в годовом аспекте преобладает деструкция ОВ над синтезом ОВ. Превалирование деструкции органического вещества над его синтезом в балансе органического вещества губ компенсируется поступлением аллохтонного ОВ с материка.

10. В исследованных районах максимум растворенного кислорода в фотическом слое наблюдался в весенний период и составлял в среднем по губам 108-115 % насыщения, в отдельные годы насыщенность кислородом достигала 120-130 %, а на севере Онежского залива – 160-250 %. Слой эффективного фотосинтеза, пересыщенный кислородом, ограничен 15-метровым горизонтом, но наиболее часто не превышает 5 м, наибольшей толщины достигает в весенний период, уменьшается летом и практически исчезает осенью. Насыщенность поверхностного слоя кислородом и его абсолютное количество снижается от весны к лету и к осени. Осенью наблюдается повсеместная недонасыщенность вод кислородом.

11. Для Белого моря пространственное распределение биогенных элементов (БЭ) зависит, главным образом, от динамики вод. Горизонтальная циркуляция является основным механизмом перераспределения биогенных элементов по акватории моря. Воды речного стока богаче поверхностных морских вод биогенными элементами (особенно Si и N), соответственно и зоны, подверженные их воздействию, характеризуются повышенными концентрациями этих элементов. На картах четко выделяются зоны повышенных концентрации биогенных элементов [Максимова, 1991а, 1991б, Maksimova, 2003]. Сезонная динамика минеральных форм БЭ сводится в основном к формированию максимума в конце зимы, минимума – в середине лета.

– Корреляционный анализ показал, что в губах Онежского залива содержание биогенных элементов связано, прежде всего, с величиной и гидрохимическим составом материкового стока, в глубоководных губах (Великая Салма, Чупа) – со стратификацией водных масс, в губах Карельского берега играют роль оба фактора.

– Доминантная закономерность в распределении неорганических форм БЭ по вертикали в губах Кандалакшского залива – возрастание их концентраций с глубиной с максимумом в глубинных водах, генетически связанных с баренцевоморскими водами.

– В прибрежных районах и губах Онежского залива вследствие их

мелководности, наблюдается более однородное распределение биогенных элементов по вертикали.

— Значительная часть биогенных элементов в водах Белого моря входит в состав органических соединений, что обусловлено поступлением БЭ с гуминифицированными речными водами в основном в форме органических соединений, а также слабой минерализацией ОВ вследствие низких температур.

12. На основе материалов комплексных исследований 1986-1997 гг. разработана классификация (типизация) губ Белого моря по комплексу системных признаков, поскольку тип водоема характеризуется определенным комплексом морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических признаков и определенной системой и силой функциональных связей между ними. С целью формализации зависимостей между компонентами экосистем губ использован метод корреляционного анализа, а при интерпретации — научный анализ в сравнительном аспекте.

Установлены 4 основных типа губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов. Для каждого типа даны характеристики гидрохимической и гидрологической структуры и режима, основные факторы, определяющие их формирование и формирование биопродуктивности, корреляционные связи, а также оценка потенциальных перспектив для марикультуры.

Классификация многочисленных, чрезвычайно разнообразных по своим природным условиям губ Белого моря — с одной стороны упорядочивает научные знания о них, позволяет установить ранговую зависимость по ряду признаков, а также способствует более целесообразному использованию в целях развития марикультуры.

13. В научном отношении системные комплексные исследования открытой части Белого моря — Бассейна, Кандалакшского, Онежского, Двинского заливов, губ, а также впадающих в море рек, позволили сделать масштабное теоретическое обобщение, рассматривающее экосистему Белого моря как единое целое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методологические предпосылки решения поставленной проблемы:

1. Моря следует рассматривать как сложные открытые динамичные гидробиогеохимические системы, эволюционно сбалансированные в результате комплексного взаимодействия природных процессов на определенном квазистабильном уровне.

2. Функционирование экосистемы моря выражается прежде всего в процессах обмена веществом и энергией со смежными системами (литосферой, атмосферой, гидросферой) и совокупностью организмов со средой обитания.

3. Антропогенное воздействие приводит к нарушению природной сбалансированности экосистемы морей, к нарушению природных гидробиогеохимических циклов, и выражается в основном в интенсификации потоков вещества. Моря являются как бы интеграторами всех антропогенных изменений на водосборном бассейне, и поэтому, с геохимических позиций, моря и реки, являющиеся основными артериями транспортировки природных и антропогенных веществ с материка, следует рассматривать как единое целое. Процессы смешения речных вод с морскими происходят в эстуариях – губах.

А.Н. Пантюлин [Pantyulin, 2003, Пантюлин, 2004] Белое море рассматривает как иерархически структурированную эстуарную систему (в гидрологическом аспекте), заключающуюся во взаимодействии различных водных масс в эстуариях разного иерархического уровня. Такой подход позволяет подойти к систематизации разномасштабного многообразия эстуариев Белого моря. В масштабе Арктического бассейна Белое море – эстуарий фьордового типа с протяженной пороговой зоной в северной части и котловиной в южной. При изменении масштаба море представляет эстуарную систему из заливов – эстуариев (Кандалакшский, Онежский, Двинский), каждый из которых имеет свои особенности. Следующей ступенью в иерархической эстуарной системе Белого моря являются многочисленные губы Кандалакшского и Онежского заливов, в вершины которых, как правило, впадают реки. Собственно губы и являются классическими эстуариями, в которых происходят процессы смешения речных вод с морскими.

М.П. Максимова в работе [2001, 2005а,б, 2012а] также рассматривает Белое море как иерархически структурированную эстуарную систему - в гидрохимическом аспекте.

4. Биогеохимический цикл углерода и сопутствующих ему жизненно важных элементов (N, P и др.) наиболее ярко выражает функционирование экосистемы моря, а также ее нарушения, в том числе антропогенные, поскольку углерод является самым технофильным элементом. Антропогенное воздействие на экосистемы морей проявляется, прежде всего, в разбалансированности процессов синтеза и разложения органической материи в море, а также в разбалансированности потоков вещества и энергии (поступления и расхода) во взаимодействии со смежными системами. Углеродный цикл функционально связан с циклом биогенных элементов – азотом и фосфором, а также кислородным режимом. Органическое вещество – углеродный цикл определяет трофику моря и его биопродукционный потенциал.

5. Для оценки функционирования экосистемы моря в целом целесообразно применение расчетов баланса вещества и энергии, особенно элементов биотического цикла (C, N, P), являющихся результирующими как экзогенных, так и внутриводоемных процессов в море и позволяющих установить факторы, контролирующие функционирование экосистемы моря. Баланс органического вещества и биогенных элементов Белого моря впервые рассчитан автором [Максимова, 1961, 1973, 1978, 1983б, 1989б].

6. Разработана и предложена система интегральных показателей для комплексной оценки функционирования морских экосистем на гидро-биогеохимическом уровне и выполнены соответствующие расчеты для северных – Белого, Балтийского морей (соответственно с интенсивным водообменом и слабым) и южного – Каспийского [Максимова, 1995, 1998, 2004, 2011; Maksimova, 2003].

Анализ комплекса интегральных показателей позволил оценить как очень высокую геохимическую активность и слабую биохимическую активность функционирования экосистемы Белого моря. Например, годовое поступление биогенных элементов (БЭ) в море из смежных систем составляет более половины их содержания в объеме моря. При коэффициенте водообмена 0,54 коэффициенты обмена БЭ составляют: азота общего 0,77, фосфора общего 0,52, кремния 0,66. При этом коэффициенты обмена фитопланктона со средой обитания составляют всего 0,205 по азоту, 0,331 по фосфору и 0,521 по кремнию [Максимова, 2004].

Для сравнения в эвтрофированном Балтийском море, отличающемся высокой биохимической и относительно слабой геохимической активностью, коэффициенты обмена фитопланктона со средой обитания азотом и фосфором около 1,28, биогенных элементов со смежными системами: N – 0,175; P – 0,126, при коэффициенте водообмена 0,066 [Максимова, 2004].

Задачи дальнейших исследований

Для решения поставленной проблемы – функционирования экосистемы Белого моря, как единого целого, совершенно необходимо дальнейшее изучение функционирования экосистем многочисленных губ Белого моря и их межгодовой изменчивости под воздействием природных и антропогенных факторов, поскольку губы с впадающими в них реками играют важнейшую роль в формировании экосистемы моря и ее функционировании [Максимова, 2001, 2005а,б, 2012а, 2013а,б]. Очень важно изучение стока не только крупных и, в лучшем случае, средних, но и малых рек, так как и их воздействие на губы весьма значительно. Следует подчеркнуть, что только полноценные комплексные их исследования могут быть достаточно результативными: как минимум включающие органическое вещество (Сорг), продукционно-деструкционные процессы ОВ, все формы биогенных элементов, газовый режим (растворенный кислород, углекислота), Alk, рН, Eh; а также гидрологические характеристики (соленость, температуру воды, прозрачность, цветность), желательно растительные пигменты и фитопланктон. Для рек – также обязательно минерализацию, ионный состав и мутность, из гидрологических характеристик – объем стока. Лишь одно недостающее звено в комплексе может существенно снизить эффективность исследований.

Экосистемный подход к исследованию губ чрезвычайно важен и в практических целях (например, марикультура).

Совершенно необходимо изучение изменчивости функционирования экосистемы Белого моря под влиянием антропогенного воздействия [Максимова, 1987в,г, 1996, 2001, 2012б]. Отправной позицией могут быть материалы, характеризующие состояние экосистемы Белого моря 50-х годов, когда техногенный пресс еще не был масштабным, способным внести значимые изменения. Этот период можно условно отнести к «фоновому» [Максимова, 1959, 1961, 1978, 1989б, 1991а, 1996]. В то же время при этом следует принимать во внимание природные, прежде всего климатические флуктуации. Следует отметить, что период с 1950 по 1980 гг. характеризуется ВМО в качестве «нормального» климатического периода, который наиболее объективно характеризует состояние природной среды, включая: температуру воздуха, уровень и температуру воды, соленость, сроки замерзания и ледовитость Белого моря [Дементов, Зубакин, 1985]. Следовательно, сопоставление результатов исследований Белого моря 50-х и 80-х годов позволили оценить изменения в экосистеме моря за этот период и отнести их за счет возрастающего антропогенного воздействия.

Необходимо продолжить плановые системные исследования Белого моря, чтобы отследить последующие изменения в экосистеме моря.

Основные результаты

Что же мы имеем к настоящему времени для возможной оценки изменчивости экосистемы Белого моря, ее функционирования под влиянием антропогенного воздействия?

Море

Комплексные исследования Белого моря, выполненные в 1956 и 1982-1984 гг., охватившие все море с заливами единой сеткой станций в наиболее характерный для моря летний период (июль - август), практически укладываются в вышеупомянутый «нормальный» климатический период и, таким образом, позволяют сделать объективное заключение об изменчивости среды моря за четверть века. Результаты этих исследований, с привлечением материалов многолетних рядов типовых гидрохимических наблюдений Госкомгидромета (Архангельское УГМС), обобщены в монографической работе по гидрохимии Белого моря [Максимова, 1989б, 1991а], а также в [Maksimova, 2003]. Так установлено, что содержание органического углерода важнейшего показателя трофики экосистемы за указанный период возросло вследствие возрастающего антропогенного воздействия, по сравнению с фоновым периодом: в поверхностной водной массе (ПВМ) – на 40%, в промежуточной водной массе (ПрВМ) – на 20%, в глубинной водной массе (ГВМ) – около 10%. Содержание органического углерода в фоновый период (1956 г.) составляло (средневзвешенные величины мгСорг/л): ПВМ $3,40 \pm 0,34$, ПрВМ – $3,14 \pm 0,29$, ГВМ – $3,06 \pm 0,14$; в период интенсивного антропогенного воздействия соответственно: в ПВМ – $4,68 \pm 0,13$; ПрВМ – $3,85 \pm 0,14$; ГВМ – $3,32 \pm 0,14$. Увеличилось содержание биогенных элементов, а также изменилось соотношение минеральных форм азота – в процентном отношении увеличилась доля аммонийного азота, что также свидетельствует об антропогенном воздействии [Максимова, 1984а, 1989б, 1991а; Maksimova, 2003].

Реки

Комплексные исследования гидрохимии, включая Сев. Двину, Онегу и 46 малых и средних рек, впадающих в Белое море, проведенные в период 1961-1962 гг., по стоку рек близкому к среднемуголетнему, позволили достоверно охарактеризовать для этих рек «фоновый» период [Максимова, 1963а,б, 1967а,б, 1982, 1983, 1983а, 2007а]. Исследования включали: определения цветности, характеризующей содержание гуминовых веществ и, соответственно долю болотного питания рек, органического углерода, показателей деструкционных процессов (БПК),

органических и минеральных форм биогенных элементов, компонентов карбонатной системы, рН, растворенного кислорода, железа, минерализации, ионного состава, жесткости. На основе этих исследований разработана гидрохимическая классификация рек, впадающих в Белое море. К сожалению, подобные комплексные гидрохимические исследования практически всех малых и средних рек, впадающих в Белое море, в последующий период интенсивного антропогенного воздействия не проводились. Антропогенные изменения химизма речного стока можно отследить только для отдельных рек [Сабылина, Селиванова, 1985, 1989; Захарова, Савенко, 1993; Лозовик, 1998; Феоктистов, 2004; Лозовик, 2005 и др].

Губы

К сожалению до 1987 года системные комплексные исследования многочисленных губ Белого моря не проводилось. Для «фонового» периода имеются только далеко не полные сведения по отдельным губам.

В 1987 г. впервые были проведены системные комплексные исследования (включая сезонные наблюдения) ряда губ Кандалакшского и Онежского заливов на базе ВНИРО, а в последующем продолженные на базе СевПИПРО. Научный анализ в сравнительном аспекте материалов исследований позволил по комплексу морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик (с использованием математического аппарата – корреляционного, факторного анализа и др.) разработать классификацию губ и шхерных районов Кандалакшского и Онежского заливов. Очевидно, вышеупомянутые работы могут быть отправной точкой для последующих системных исследований Белого моря, которые позволили бы изучить современное состояние и функционирование экосистемы Белого моря и его подсистем, включая губы (а также рек, впадающих в море), и их изменчивость под воздействием природных и антропогенных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамова Г.Г., Соколова Н.Ю. К изучению литорали Белого моря. // Вестник МГУ. 1948. №2. С. 1-6.

Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И., Кирпичев К.Б. Экологические аспекты биохимических исследований акватории Белого моря. Тез. докл. VIII рег. конф. "Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря". Архангельск, 2001. С. 32-33.

Атлас научных основ рыбопромысловой карты Онежского залива Белого моря. Под ред. З.Г. Паленичко, В.М. Надежина. Ч.1. Изд. АН СССР. 1959. 54 с.

Бабков А.И. Гидрологическая характеристика Онежского залива Белого моря. Экосистемы Онежского залива Белого моря. Л. 1985. С. 3-10.

Бабков А.И. Океанологические исследования на Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР. // Гидробиологические и ихтиологические исследования на Белом море. Л., 1987. С. 23-29.

Бабков А.И., Буряков В.Ю. Некоторые особенности гидрологии на акватории губы Чупа (Белое море) в 1988г. // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.: Тез. докл. IV рег. конф.- Архангельск, 1990. С. 70-71.

Бабков А.И., Кулаковский Э.Е. К вопросу о роли водообмена при организации и эксплуатации мидиевых хозяйств на Белом море. // Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. Л., 1988. С. 22-26.

Барсанова Н.Г. Сравнение литоральной фауны Баренцева и Белого морей. Тр. ин-та океанол. АН СССР, 1958. Т. 1. С. 98-100.

Белая Т.И., Потапова Н.А. О связи продукционных показателей фито- и бактериопланктона Белого моря с концентрацией биогенных элементов Вестник МГУ. Сер. Биологическая. 1976. №1. С. 85-90.

Белая Т.И., Федоров В.Д. Исследование соотношения потребленных элементов развивающимся фитопланктоном Белого моря. Вестник МГУ. сер.6. Биология и почвоведение. 1970. Вып.1. С. 63-69.

Белая Т.Н., Федоров В.Д. Гидрологические и гидрохимические особенности Белого моря как условия, определяющие уровень его первичной продукции. Комплексные исследования природы океана. М. 1972. Вып.3. С. 184-211.

Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. (в двух частях). СПб. 1995. 250 с.

Бергер В.Я. Беломорская биологическая станция Зоологического института АН СССР. Гидробиологические и ихтиологические исследования на Белом море. Л. 1987. С. 4-22.

Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей, Т. 60 (68). СПб. Изд-во ЗИН РАН. 2007. 291 с.

Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. Исследования фауны морей. Т. 69 (77). СПб. ЗИН РАН. 2012. 377 С.

Бояринов П.М., Петров М.П. Динамика вод Соностровских проливов Белого моря в зимний период. Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. Л., 1988. С. 9-21.

Бруевич С.В. Гидрохимические исследования Белого моря. Тр. ИО АН СССР. Т. XLII. 1960. С.194-254.

Букалова В.И. Влияние опреснения на планктон Ковдского залива Белого моря. Тр. Воронежского ун-та. 1945. Т. 30. С. 43-44.

Вернадский В.И. Живое вещество в химии моря. Петроград, 1922. 37 с.

Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М. Наука 1967. 215 с.

Воронков П.П. Подсчет первичной продукции моря методом баланса питательных солей Тр. Н. И. учреждения ГМС СССР, 1941. Сер. 5, 2. С. 195-217.

Воронков П.П., Кречман Г.В. Сезонные изменения биомассы и физико-химических условий среды северо-восточной части Кандалакшского залива Белого моря. Тр. ГГИ. 1939. С. 119-141.

Воронков П.П., Мусина А.А. Солевой состав воды Белого моря. Тр. ГГИ.- 1939. Вып. 8. С. 52-64.

Галкина Л.А., Позднякова Л.Е., Цееб Т.Я. Губа Канда и ее обитатели. Океанология. 1963. Т.3. Вып.5. С. 898-906.

Гершанович Д.Е., А.М. Муромцев. Океанологические основы биологической продуктивности Мирового океана.- Л. Гидрометеиздат, 1982. 320 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л. Гидрометеиздат. 1991. 240 с.

Грицевская Г.Л. Итоги исследования рек Карельского побережья и некоторые данные о реках. Тр. ММБИ. 1965. вып.9 (13). С. 5-11.

Грицевская Г.Л. Гидрология рек Карельского и Поморского побережий Белого моря (1961-1964гг.). Изучение водных ресурсов. М., 1969. С. 30-31.

Гурвич Г.С. Распространение животных на литорали и sublиторали Бабьего моря. Работы Беломорск. метод. станции ГГИ. 1934. №2. С. 15-32.

Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования. Л., 1928. Вып. 7-8. 512 с.

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М. изд-во МГУ 1982. С. 67-69.

Долотов Ю.С., Виноградова Е.Л., Коваленко В.Н., Колибачук Н.А., Кухарев В.И., Лифшиц В.Х., Немова Н.Н., Петров М.П., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Садовникова И.В., Бакшеев С.А., Платонов А.В., Митрохов А.Н. О комплексном мониторинге динамики вод, осадков и рельефа, антропогенного загрязнения и условий существования биоты эстуариев Белого моря. Тез. докл. VIII рег. конф. "Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря". Архангельск. 2001. С. 9-13.

Захарова Е.А., Савенко В.С. Биогенные элементы в эстуариях малых рек Кандалакшского залива Белого моря. Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1993. №6. С.64 -67.

Зеленков В.М., Сорокин А.Л., Гнетнева Л.В., Чугайнова В.А., Ваниюхин Б.И., В.Н. Карпюк, В.Н., Несветов В.А., И.В. Мискевич И.В. Марихозайства Кандалакшского залива Белого моря. Мурманск, 1990. 121 с.

Иванов Н.О., Китаев С.П., Чеченков А.В. Особенности гидрофауны Канда-губы Белого моря. Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. Л. Зоол. ин-т АН СССР, 1983. С. 37-44.

Иванова С.С. Качественная и количественная характеристика бентоса Онежского залива Белого моря. Материалы по комплексному изучению Белого моря. М. Изд-во АН СССР, 1957. Т.1. С. 355-380.

Кабанова Ю.Г. О первичной продукции в Кандалакшском заливе Белого моря. // Донная флора и продукция краевых морей СССР. М. 1980. С. 118-124.

Катаева Т.К. Сезонная динамика видового состава и биомассы литоральной растительности губы Чупа Белого моря. 3 Всес. совещ. по мор. альгол.-макрофитобентосу. Севастополь. Тез. докл. Киев 1979. С. 63-64.

Книпович Н.М. Несколько слов относительно фауны Долгой губы Соловецкого острова и физико-географических ее условия. Вестн. Естествознания. 1893. №10. С. 44-57.

Кобленц-Мишке О.И., Ведерников В.И. Первичная продукция. Океанология. Биология океана. Т.2. Биологическая продуктивность океана. М. Наука. 1977. С. 183-209.

Кокин К.А., Кольцова Т.И., Хлебович Т.В. Состав и динамика фитопланктона Карельского побережья Белого моря. Ботанический журнал, 1970. Т. 55. №4. С. 499-509.

Коннов В.А., Максимова М.П., Несветова Г.И., Чугайнова В.А. Органические формы азота и фосфора в губах Белого моря. Океанология. 1993. Т. 33. № 2. С. 201–209.

Корсак М.Н. Первичная продукция в различных районах Белого моря. //Гидробиологический журнал. 1977. Т. 13. №4. С. 13-16.

Лихачева Н.Е. Некоторые гидрохимические условия и фитопланктонное сообщество эстуария реки Нильмы. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Тез. докл. IV рег. конф. Архангельск. 1990. С.51-52.

Лобза П.Г. Гидрохимические условия в районе Ньючи и в Сорокской губе в летний период. Материалы по комплексному изучению Белого моря. М-Л., 1963. Вып.2. С. 5-16.

Лозовик П.А. Притоки Белого моря. Химический состав воды Современное состояние водных объектов Карелии. По материалам мониторинга 1992-1997 гг. Петрозаводск. Изд-во КарНЦ РАН. 1998. С. 164-168.

Лозовик П.А., Басов М.И., Литвиненко А.В. Оценка поступления химических веществ в гидрографическую сеть с водосборной территории Карелии. Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 5. С. 584-588.

Луканин В.В., Наумов А.Д., Федяков В.В. Обоснование выбора мест для организации промысла и марикультуры съедобной мидии на Белом море. Биология моря. 1987, №3. С. 22-29.

Луканин В.В., Ошурков В.В., Бергер В.Я. О распределении и запасах мидии в Кандалакшском заливе Белого моря. Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. Л. 1983. С. 49-55.

Лукин Л.Р., Мискевич И.В. Гидрологические и гидрохимические показатели вод Унской губы. Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна. Мурманск. 1989. С. 177-183.

Максимова М.П. Органический углерод и окисляемость в водах Белого моря. Известия Карельского и Кольского филиалов АН СССР. 1959. № 1. С. 71-74.

Максимова М.П. Значение первичной продукции в балансе органического вещества в Белом море. Изд. Министерства Высшего образования БССР. Минск. 1961. С. 83-86.

Максимова М.П. Формирование химического состава воды в реках, впадающих в Белое море. Материалы XVII гидрохимического совещания. Новочеркасск. 1963а. С. 63-65.

Максимова М.П. Материалы по гидрохимической характеристике рек Карельского побережья Белого моря. Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. Вып. 1. М-Л. 1963б. С. 40-49.

Максимова М.П. Ионный и органический сток и соотношение главных ионов в реках Карельского побережья Белого моря. Гидробиологические исследования на Карельском побережье Белого моря. Тр. ББС ЗИН АН СССР. Т. 7(15). Л. Наука. 1967а. С. 9-14.

Максимова М.П. Сток биогенных элементов с речными водами Карельского побережья в Белое море. Гидробиологические исследования на Карельском побережье Белого моря. Тр. ББС ЗИН АН СССР. Т. 7 (15). Л. Наука. 1967 б. С. 15-20.

Максимова М.П. Расчеты скоростей регенерации азота и фосфора в водах Индийского океана. Океанология. 1972. Т.12. Вып. 6. С. 1003-1009.

Максимова М.П. Особенности баланса органического вещества в водах северных и южных материковых морей Советского Союза. Труды ВНИРО. Т. 80 «Бонитет Мирового океана». Вып. 3. М. 1973. С. 7-17.

Максимова М.П. Обеспеченность фитопланктона биогенными элементами и эффективность их использования в водах Индийского океана. Первичная продуктивность. Тр. ВНИРО. 1976. Т. 112. Вып. 1. С. 72-86.

Максимова М.П. Минеральное питание и проблема обеспеченности фитопланктона питательными солями. М. Изд. ВНИРО. 1977 а. 39 с.

Максимова М.П. Критерии оценки обеспеченности фитопланктона питательными солями. Тр. ВНИРО. 1977 б. Т.119. В. 3. С. 6-15.

Максимова М.П. Содержание биогенных элементов и баланс азота, фосфора, кремния в Белом море. Океанология. 1978. XVIII. Вып.1. С. 58-63.

Максимова М.П. Критерии антропогенного эвтрофирования речного стока и расчет антропогенной составляющей биогенного стока рек. Водные ресурсы. 1979, № 1. С. 35-40.

Максимова М.П. Комплексное исследование взаимосвязей гидрохимических характеристик и классификация рек, впадающих в Белое море. Повышение продуктивности и рациональное использование биоресурсов Белого моря. Л. 1982. С. 16-17.

Максимова М.П. Сравнительная гидрохимическая характеристика рек Терского, Кандалакшского, Карельского, Поморского, Лямецкого побережий Белого моря. Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. Л. Наука. 1983а. С. 18-30.

Максимова М.П. Исследования баланса биогенных элементов внутриматериковых морей, как условий формирования химической основы биопродуктивности. Монография. Депонированная рукопись ВИНТИ 1983б. № 461, рх-Д 83. 140 стр.

Максимова М.П. Изменение характеристик органического вещества в Белом море за 26-летний период (1956-1982 гг.). В Кн. «Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов». Ленинград. 1984а. С. 121-122.

Максимова М.П. Продукция и деструкция органического вещества в Белом море. В Кн. «Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов». Ленинград. 1984б.

Максимова М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек. Водные ресурсы. 1985а. №3. С. 71-75.

Максимова М.П. Применение метода главных компонент в экосистемных исследованиях Белого моря. Водные ресурсы. 1985б, №3. С. 106-111.

Максимова М.П. Деструкция органического вещества в Белом море. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 1985в. С. 59-61.

Максимова М.П. Гидрохимическая типизация водных масс Белого моря. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 1985г. С. 54-55.

Максимова М.П. Воздействие техногенного геохимического давления на внутриматериковые моря. Водные ресурсы. 1986а. №5. С. 159-164.

Максимова М.П. Органическое вещество в северных морях (формирование, продукционно-деструкционные процессы, баланс). Пятый съезд Всесоюзного гидробиологического общества. Часть I. Тольятти. 1986б. С. 19-21.

Максимова М.П. Изменения гидрохимического режима Белого моря под влиянием природных и антропогенных факторов. //Физика и химия океана. Гидрохимия и проблемы загрязнения океанов и морей. III съезд советских океанологов. Л: Гидрометеиздат. 1987в. С.139-140.

Максимова М.П. Изменения режима органического вещества Белого моря под влиянием антропогенного воздействия. В Кн.: Изучение процессов формирования химического состава природных вод в условиях антропогенного воздействия. Часть I. Ленинград. Гидрометеиздат. 1987г. С. 102-103.

Максимова М.П. Круговорот углерода и сопутствующих элементов в Белом море. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Кн. I. Кандалакша. 1987а. С. 96-99.

Максимова М.П. Проблемы, основные направления, методология и результаты гидрохимических исследований Белого моря. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Кн. I. Кандалакша. 1987б. С. 47-54.

Максимова М.П. Многолетние флуктуации растворенного кислорода в Белом море как основа прогноза первичной продуктивности. В Кн.: Материалы Всесоюзной конференции по рациональному использованию биологических ресурсов окраинных и внутренних морей СССР. Пяру. 1989а. С. 75-76.

Максимова М.П. Гидрохимия Белого моря. Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. Москва. 1989б. 475 с.

Максимова М.П. Гидрохимия Белого моря. Автореферат на соискание ученой степени доктора географических наук. Москва. 1990. 51 с.

Максимова М.П. Гидрохимия Белого моря (62 карты). Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том II. Белое море, Вып. 2, часть I. Л. Гидрометеиздат. 1991а. С. 8-152.

Максимова М.П. Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря. Гидрохимия (21 карта). Аннотированный атлас. Мурманск. 1991б. С. 79-116.

Максимова М.П. Система интегральных показателей биогеохимической активности и функционирования морских экосистем. Современные проблемы комплексного исследования морей (Проект «Моря»). Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Государственный океанографический институт. 1995.

Максимова М.П. Специфика антропогенного воздействия на экосистемы морей. Методология проблемы. Водные ресурсы. 1996. Т. 23, №5. С. 583-588.

Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей. Москва. Депонированная рукопись. ВИНТИ РАН. 12. 02. 1998. № 408 – В1998. Табл. 20. 148 стр.

Максимова М.П. Экосистема Белого моря и проблемы связанные с ее изучением. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 2001. С. 14-18.

Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей. Кн. «Новые идеи в океанологии». М. Наука. 2004. С. 168-189.

Максимова М.П. Эстуарная иерархическая система Белого моря (гидрохимический аспект). Геология морей и океанов. Материалы XVI Международной школы по морской геологии. Т. 1. Москва. 2005 а. С. 85-86.

Максимова М.П. Эстуарная иерархическая система Белого моря. Депонирована ВИНТИ. 29.12. 2005б. № 1758 - В. 2005 б. 46 с.

Максимова М.П. Качество воды малых рек водосбора Белого моря. Гидрохимия. Кн.: Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Российская Академия наук, Карельский научный центр Института водных проблем Севера. Петрозаводск. 2007а. С. 74-104.

Максимова М.П. Типизация водных экосистем Севера по гидрохимическим показателям. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря Материалы X международной конференции. Архангельск. 2007б. 50-54 с.

Максимова М.П. Интегральная оценка функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне. Проблематика. Методология и методика. Материалы XIX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Геология морей и океанов. Том. IV. Москва. Российская Академия Наук. ГЕОС. 2011. С. 100-104.

Максимова М.П. Эстуарная иерархическая система Белого моря. Препринт доклада. Карельский научный центр РАН Российской академии Наук. Институт водных проблем Севера. Петрозаводск. 2012а. 46 с.

Максимова М.П. Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря. Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2012б. № 2. С. 89-96.

Максимова М.П. Сравнительное экосистемное мореведение – новое направление в океанологии. Материалы XX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Геология морей и океанов. Том. III. Москва. Российская Академия Наук. ГЕОС. 2013а. С. 50-53.

Максимова М.П. Океанология – наука системная парадигма, концепция, методология и методика интегральной оценки функционирования морских экосистем как единого целого). Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки». 2013б. №3. С. 118-128.

Максимова М.П., Бондаренко А.И. Хлорофилл в водах Белого моря. Океанология. Т. XXV. Вып. 2. С. 1985. С. 813-818.

Максимова М.П., Владимирский С.С. Органический углерод в водах Белого моря. Океанология. 1988. Т. 28. № 5. С. 753-758.

Максимова М.П., Владимирский С.С. Органический углерод и особенности формирования органического вещества в губах Белого моря. // Океанология. 1990. Т. 30. Вып. 1. С. 61-69.

Максимова М.П., Зубаревич В.Л. Свободная углекислота в водах Белого моря. В Кн.: Повышение продуктивности и рациональное использование биоресурсов Белого моря. Ленинград. 1982. С. 13-14.

Максимова М.П., Зубаревич В.Л. Парциальное давление углекислоты в Белом море и ее обмен с атмосферой, $p\text{CO}_2$ - индикатор водных масс. Кн.: Второй Всесоюзный съезд океанологов. Вып. 3. Физика и химия океана. Севастополь. 1982. С. 54-58.

Максимова М.П., Леонова Е.М., Гоголицин В.А. Растворимые пигменты в водах Белого моря. Проблемы изучения, Рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 1985. С. 135-137.

Методы гидрохимических исследований океана. М. Наука. 1978. 271с.

Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М. ВНИРО. 1988. 119 с.

Методы исследования органического вещества в океане. М. «Наука» 1980.

Мусина А.А. Характер сезонного колебания органического фосфора в водах Кандалакшского залива Белого моря. // *Вопр. химии моря*. Тр. Гос. гидрол. Ин-та. 1941. Сер. 5. Вып. 2. — С. 10-16.

Надежин В.М. Гидрологический режим Белого моря и его значение в распределении основных промысловых рыб // *Тр. ПИНРО.-1967.- Вып.9.- С. 122-150.*

Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М: Наука. 1977. — 234 с.

Несветова Г.И. Предварительные данные о гидрохимическом режиме вод в районе мидиевых хозяйств Сонострова Белого моря. // *Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море.* — Л, 1988. — С. 27-32.

Никуличева Е.Н. Гидрохимическая характеристика губы Чупа Белого моря по материалам стационарных наблюдений за 1964 г. Шестая СУСПБР. Петрозаводск. 1966. С. 153-154.

Паленичко З.Г. Итоги комплексных исследований в Онежском заливе Белого моря. // *Материалы по комплексному изучению Белого моря.* - М.: изд-во АН СССР. — 1957.- т.1. — С. 7-14.

Паленичко З.Г., Тимакова М.Н. Гидробиологическая характеристика губы Кузокоцкая Поморского побережья Белого моря. // *Материалы по комплексному изучению Белого моря.* — М.: изд-во АН СССР, 1957. — т. 1. — С. 381-390.

Пантюлин А.Н. Некоторые особенности структуры Белого моря. Сб. «Биология Белого моря». Тр. Беломорской биологической станции. Т. 4. ИЗД. МГУ. 1974. С. 7-13.

Пантюлин А.Н. Гидрологические и экологические особенности Белого моря. Сер. География, общество, окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Изд-во «Городец». 2004. С.265-282.

Парсонс Т.Р., Такахашаи М., Харгрейв Б. Биологическая океанография. М.: Легкая и пищевая промышленность 1982. 432 с.

Погребов В.Б., Сказка М.В., Шамарин А.Ю. Статистический анализ гидролого-гидрохимических характеристик губы Чупа Белого моря в летний период. // *Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.* Тез. докл. IV рег. конф. Архангельск. 1990. — С. 81-83.

Раймонт Дж. Планктон и продуктивность океана. — М., 1983. — 568 с.
Романкевич Е.А., А.А.Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: “Наука”, 2001. — 301 с.

Руководство по методам химического анализа морской воды. Гидрометеоиздат. 1977.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. — Л.: Гидрометеоиздат. 1980. — 191 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1983. 239 с.

Сабылина А.В., Селиванова Е.А. Сравнительная характеристика стока растворенных веществ некоторых рек Поморского и Карельского побережий Белого моря. //Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна. Петрозаводск: Изд-во КарФ АН СССР. 1985. С. 16-19.

Сабылина А.В., Селиванова Е.А. Химический состав и качество вод р. Кеми //Современный режим природных вод бассейна р. Кеми. Петрозаводск: Изд-во КарФ АН СССР. 1989. — С. 165-180.

Савоськин Ю. М. Основные черты гидрологического режима Онежского залива. // Сессия ученого совета по проблеме “Теоретические основы рационального использования, воспроизводства и повышения рыбных и нерыбных ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии”: Тез. докл.- Петрозаводск, 1964. — С. 4-6.

Сапожников В.В., Гусарова А.Н., Лукашев Ю.Ф. Определение нитратов в морской воде. // Химия морей и океанов. М.: Наука, 1973. — С. 115-123.

Семенова Н.Л., Никитина Е.П. Приуроченность донного населения кустовой части Кандалакшского залива (Белое море) к факторам среды. // Биологические ресурсы Белого моря.: Тр. ББС МГУ. — М.: изд-во МГУ, 1990. — С. 17-29.

Соколова Е.В. Кислородный режим восточной части Кандалакшского залива. // Тр. ГГИ. — 1939. — Вып. 8. — С 103-118.

Тимонов В.В. Главные особенности гидрологического режима Белого моря. // Памяти Ю.М. Шокальского. — М-Л., 1950. — Т. 2. — С. 206-235.

Трофимов А.В., Голубчик Я.Л. Предвесенний гидрологический режим Белого моря. // Тр. ГОИН, 1947. Вып. 1 (13). С. 132-154.

Федоров В.Д., Белая Т.И., Максимов В.Н. Потребление биогенных элементов фитопланктонным сообществом в зависимости от их концентрации в водоеме и условий освещения. //Изв. АН СССР. Сер. биологическая. 1970. № 3. С. 398-414.

Федоров В.Д., Корсак М.Н., Бобров Ю.А. Некоторые итоги изучения первичной продукции фитопланктона Белого моря. // Гидробиологиче-

ский журнал. – 1974. – Т. 10. – № 5. – С. 9-14.

Федоров В.Д., Бобров Ю.А. Сезонные изменения некоторых показателей продуктивности фитопланктона Белого моря. //Изв. АН СССР. Сер. биологическая. 1977. №1. С. 104-112.

Феоктистов В.М. Химический состав вод и вынос растворенных веществ водами рек Карельского побережья в Белое море. //Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 6. С. 683-690.

Черновская Е.Н. Гидрохимические и Гидрологические условия на литорали Восточного Мурмана и Белого моря. М. Изд. АН СССР. 1956. 114 с.

Чугайнова В.А. Влияние погодных условий на перераспределение биогенных элементов в некоторых губах Кандалакшского залива. Тез. докл. 4 регион. конф. Архангельск. 1990. С 85-86.

Чугайнова В.А. Гидрологическая и гидрохимическая оценка северных районов Онежского залива, перспективных для размещения марикультур. Тез. докл. 5 регион. конф. Петрозаводск. 1992. С. 86-88.

Чугайнова В.А. Океанологические основы развития марикультуры водорослей на Белом море. XI Всероссийская конференция по промышленной океанологии. Тез. докл. М. ВНИРО. 1999. С.56-57.

Чугайнова В.А., Коренников С.П. Экологические условия марикультуры беломорской ламинарии сахаристой. //Гидробиологический журнал. 1995. Т. 31. № 1. С. 57-61.

Чудинова Ю.А. Распределение содержания растворенного кислорода, рН и фосфатов в губе Палкина Белого моря (по результатам экспедиционных исследований). //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. С-Пб.1995. С. 50-51.

Хайлов К.М. Прогноз обобщенных функциональных параметров в группах озер, подверженных эвтрофированию. //Экологический прогноз. М. 1986. С. 3-12.

Grasshoff K. Zur Bestimmung ran Nitrat in Meer- und Trink-Wasser. Kieler Meeresforsch. -1964.- Bd. 20.- №1.- P.156-166.

Maksimova M.P. Ecosystematic Hydrochemistry of the White Sea. Oceanology. Vol 43. Suppl. 1. 2003. P. 32-62. МАИК. «НАУКА/INTERPERIODICA». PUBLISHING

Morris A.W., Riley J.P. The determination of nitrate in sea water// Analyt. Chim. Acta. - 1963.- Vol.29.- 272 p.

Pantyulin A. N. Hydrological System of White Sea. //Oceanology. Vol. 43. Suppl. 1. 2003. P. 1-14. МАИК. «НАУКА/ INTERPERIODICA» PUBLISHING.

Strickland I. D. H., Parsons T.R. A practical handbook of sea water analysis // Fish. Res. Bd. Can. Ottawa. Bvull.-1968.- №177. P. 203.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Течения

Таблица 1.1.

**Максимальные скорости поверхностных течений
в прибрежных районах Кандалакшского залива, июнь 1989 г.**

Район	Скорости течений, м/сек	
	прилив	отлив
Падан	0,17	0,30
Пильская	0,13	0,32
Лов	-	0,21 (0,40)
Колвица	-	0,30 (0,50)
Палкина	0,12	0,17
Белая	0,13	0,24
Княжая	0,24	0,64 (0,80)
Кузокоцкая	0,10 – 0,20	0,30
Оборина Салма	-	0,30
Никольская	0,10	0,20

Таблица 1.2.

Скорости течений в районах Онежского залива (м/с)

Гориз. м	гб. Троицкая	гб. Кирилловская	гб. Пушлахта	о-ва Кузова	о-ва Боршовцы
0	0,05-0,20	0,06-0,08	0,06-0,17	1,05	0,10-0,30
5	0,05-0,10			0,90	
10	0,05-0,06			0,50	

2. Температурный режим

Таблица 2.1

Статистические характеристики температуры (°С) слоя воды 0-10 м в губах Кандалакшского залива в летний период (1988-1990 гг.)

Район	Средняя	Ошибка средней	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Падан	12,58	2,89	9,55	14,45	8,10	15,40
Пильская	13,08	2,79	10,68	13,80	3,19	16,81
Лов	11,23	3,08	10,60	12,30	6,53	15,10
Колвица	11,35	5,76	15,13	8,95	1,90	12,35
Палкина	10,11	2,15	7,33	9,61	4,50	15,20
Белая	10,71	3,32	13,24	12,30	5,42	14,70
Княжая	9,48	3,08	10,54	10,50	1,50	13,80
Ковда	12,77	2,15	6,14	14,03	8,10	15,70
Кузокоцкая	11,75	3,65	19,62	13,94	0,60	16,81
Медвежья	13,54	4,54	32,82	12,84	9,20	17,00
Оборина Салма	10,87	3,52	18,51	12,20	1,80	15,10
Никольская	9,81	3,90	18,51	11,00	1,50	15,20
Соностровская	11,72	3,13	14,43	12,10	1,00	18,40

Таблица 2.2

Статистические характеристики температуры (°С) воды губ Онежского залива в летний период (1986-1990 гг.)

Район	Средняя	Ошибка средней	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Кемская	9,87	0,56	0,71	9,54	9,31	12,24
Сорокская	11,44	1,00	1,36	11,44	9,64	12,67
Сумская	11,37	0,49	0,43	11,16	10,70	12,66
Колежма	11,57	0,05	0,00	11,56	11,50	11,68
Троицкая	8,53	3,12	15,57	9,35	3,50	18,20
Печаковская Салма	8,86	3,04	14,85	9,60	3,90	12,50
Кемские шхеры	10,45	0,91	3,37	10,40	3,70	13,20
Боршовцы	14,79	1,83	8,93	14,95	3,90	23,90

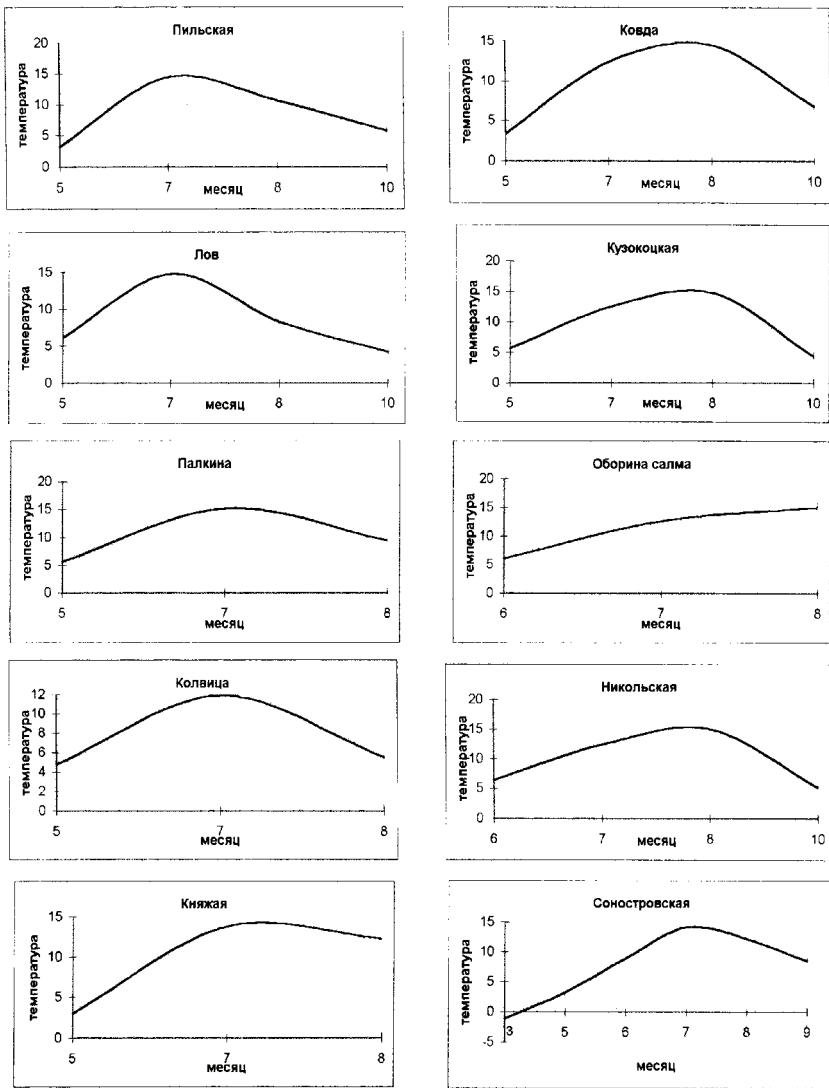


Рис. 2.1. Сезонная динамика температуры воды в бухах Канда拉克шского залива в 1990 г.

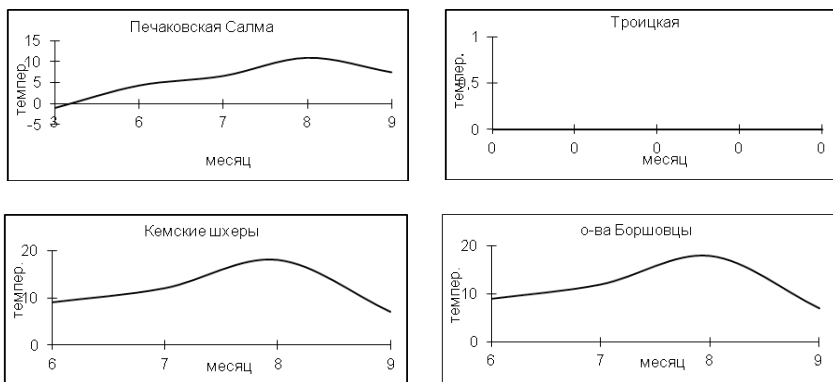


Рис. 2.2. Сезонная динамика температуры воды (°С) в районах Онежского залива (1987-1990 гг.).

3. Соленость

Таблица 3.1

Статистические характеристики солености (‰) слоя воды 0-10 м в губах Кандалакшского залива в летний период (1988-1990 гг.)

Район	Средняя	Среднее отклон.	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Падан	24,99	1,28	2,48	25,47	22,00	28,70
Пильская	23,61	1,33	2,67	24,00	20,37	25,96
Лов	25,69	1,04	1,65	26,00	23,90	27,80
Колвица	25,09	1,94	5,63	25,50	19,70	27,70
Палкина	23,56	0,80	0,98	23,22	21,60	25,20
Белая	22,21	2,23	7,71	23,00	16,70	25,40
Княжая	19,20	6,63	56,93	23,00	6,50	26,50
Ковда	24,00	0,70	0,70	24,00	22,50	26,30
Кузокоцкая	26,09	0,37	0,25	26,00	24,40	27,40
Медвежья	26,49	0,53	0,29	13,19	25,80	27,00
Оборина Салма	24,73	3,04	32,75	26,10	17,9	27,30
Никольская	26,39	0,64	0,68	26,60	24,20	27,70
Соностровская	24,45	1,78	5,77	25,10	17,00	27,40

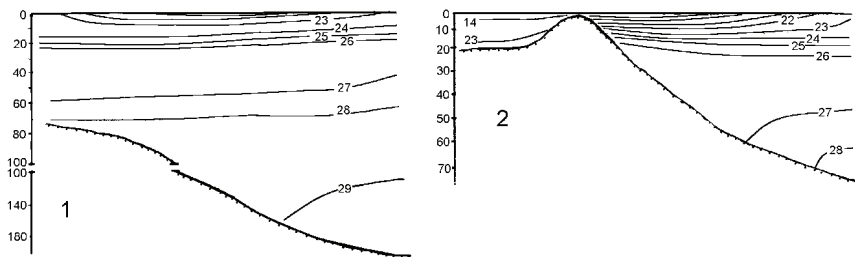


Рис. 3.1. Вертикальное распределение солёности (‰) в Великой Салме (1) и Чупе (2) в августе 1987 г.

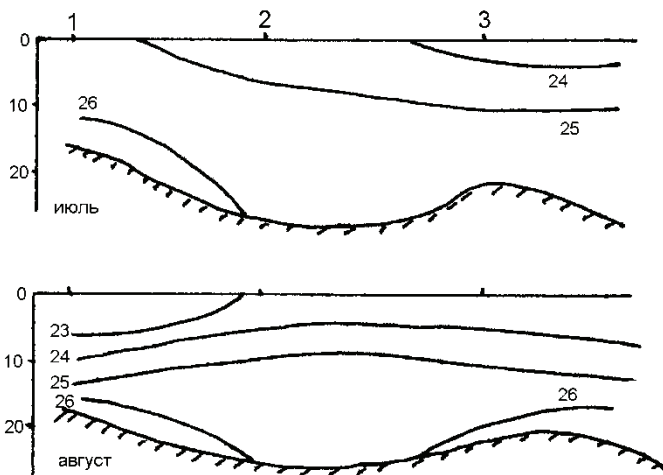


Рис. 3.2. Вертикальное распределение солёности в губе Пильской в 1989 г.

Таблица 3.2

Величины солёности в губе Княжой, 1989 год

Горизонт, м	май	июль	август
0	10,4	6,5	8,7
5	27,2	20,6	24,5
10	28,5	24,6	26,5
20	28,8	27,2	27,2

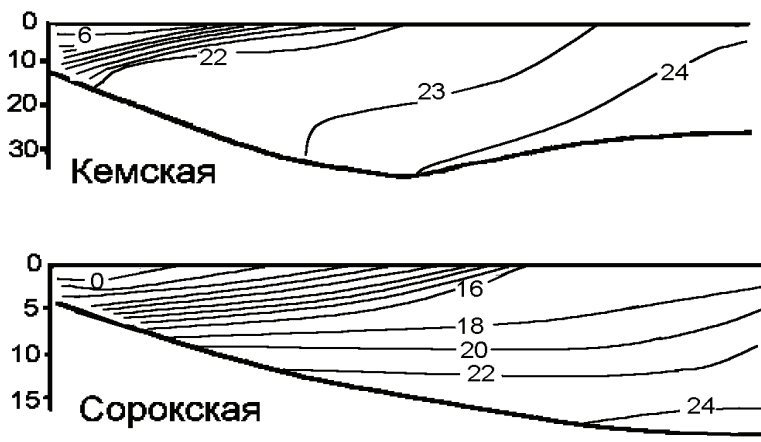


Рис. 3.3. Вертикальное распределение солености (‰) в губах Кемская и Сорокская в августе 1987 г.

Таблица 3.3

**Статистические характеристики солености воды (‰)
губ Онежского залива в летний период (1986-1990 гг.)**

Район	Средняя	Среднее отклон.	Дисперсия	Медиана	Миним. значение	Максим. значение
Кемская	20,72	3,33	27,93	22,85	5,00	23,60
Сорокская	20,26	7,68	17,24	17,80	0	24,50
Сумская	18,92	0,77	1,02	19,20	17,00	19,70
Колежда	22,34	0,39	0,23	22,30	21,70	22,80
Троицкая	27,31	0,92	1,19	27,39	23,53	29,45
Печаковская Салма	27,09	0,22	0,12	27,00	27,00	28,50
Кемские шхеры	26,08	0,18	0,04	26,00	26,00	26,50
Боршовцы	25,09	0,27	0,13	25,00	25,00	26,10

Часть II.

МАРИКУЛЬТУРА

ВВЕДЕНИЕ

Государственную политику в области пополнения сырьевой базы естественных и искусственных водоемов видами ценных промысловых рыб и коммерческого выращивания товарной продукции призвана решать аквакультура.

Аквакультура – система приемов и методов разведения, культивирования и выращивания водных организмов для получения продукции, используемой в пищевых, технических и медицинских целях, а также для пополнения промысловых запасов водных биологических ресурсов, сохранения их биологического разнообразия и рекреации в естественных водоемах.

Сфера ответственности по научным исследованиям в области аквакультуры является государственной функцией Федерального агентства по рыболовству (Росрыболовство). Область научных исследований отраслевых НИИ в рамках деятельности Росрыболовства по направлению «Аквакультура» определена как «Научное обеспечение мероприятий по сохранению, восстановлению и увеличению запасов водных биологических ресурсов морей и внутренних водоемов России, а также товарной аквакультуры».

С целью устойчивого развития российской аквакультуры разработаны «Стратегия развития аквакультуры России» (2006, 2007), федеральная целевая программа «Повышение эффективности использования и развития ресурсного потенциала рыбохозяйственного комплекса в 2009-2013 гг.», где на поддержку этого направления запланировано более 1 млрд. руб. Первой задачей «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года» является – восстановление и сохранение ресурсно-сырьевой базы рыболовства, развитие искусственного воспроизводства и аквакультуры. Сегодня практически завершена подготовка федерального Закона РФ «Об аквакультуре», принятие которого во многом будет способствовать развитию этого вида деятельности.

Ещё в 1981 г. в результате выполнения работ по проекту «Белое море», утвержденному ГКНТ СССР, было показано, что марикультура – наи-

более эффективный путь восстановления и увеличения промыслового потенциала Белого моря. На сегодняшний день перспективными для культивирования, развития пастбищной марикультуры и акклиматизации являются ламинария, мидия, форель, беломорская сельдь, зубатка, треска, кумжа, сиг. Уникальный нерестово-выростной потенциал рек, впадающих в Белое море, может обеспечить существенное увеличение численности атлантического лосося – семги. Эта ценнейшая рыба относится к объектам федеральной собственности, поэтому необходимо возродить ранее существовавшую программу «Атлантический лосось» на федеральном уровне, как часть национального проекта «Аквакультура» [Алексеев и др., 2007]. В случае промедления семга может разделить печальную судьбу каспийских и азовских осетровых. Регистрируемые сегодня уловы семги значительно ниже тех, что были еще сравнительно недавно. Акклиматизация горбуши уже сегодня приносит местным жителям ощутимый доход, а пастбищная марикультура других дальневосточных лососей может обеспечить новые источники пищевых ресурсов.

В нашей стране годом зарождения марикультуры считается 1971-й. В этом году в Керчи состоялось первое Всесоюзное совещание по марикультуре. Советские исследователи уже к середине пятидесятых годов в несомненно сложнейшей и самой важной области марикультуры – восполнении запасов наиболее интенсивно эксплуатируемых видов рыб – во многом опередили своих зарубежных коллег.

Россия располагает крупнейшим в мире водным фондом внутренних водоемов и прибрежных акваторий морей, использование, которого носит комплексный многоотраслевой характер. Ведение рыбохозяйственной деятельности на водоемах является важнейшим направлением эксплуатации биологических ресурсов, формируемых под воздействием природно-климатических и антропогенных факторов [Макоедов, Кожемяко, 2007].

К сожалению, на данный момент в России марикультура развивается крайне слабо, что обусловлено рядом причин. Основными факторами, сдерживающими развитие марикультуры в нашей стране, являются:

1. Отсутствие законодательства, учитывающего в полной мере специфику функционирования марикультуры;
2. Слабо развитая рыночная инфраструктура и отсутствие маркетинговой информации состояния российского и международного рынков продукции марикультуры;
3. Высокая степень износа основных производственных фондов;
4. Прекращение разработок биотехнологий;

5. Дефицит инвестиционных ресурсов из-за низкой инвестиционной привлекательности существующих рыбоводных хозяйств.

Исходя из общемировых тенденций и современного состояния аквакультуры в нашей стране, можно прогнозировать к 2020 году производство гидробионтов в аквакультуре на уровне – 410 тыс. т, что в 4 раза больше, чем в настоящее время.

ГЛАВА 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БЕЛОМОРСКИХ ГИДРОБИОНТОВ

Белое море бедно по качественному составу флоры и фауны: видовое разнообразие его населения составляет лишь 50-70 % от числа видов в соседних участках Баренцева моря [Бабков, Голиков, 1984].

В целях повышения биопродуктивности моря и поисков дополнительных источников ресурсов для получения продуктов питания и сырья для промышленности интенсивно развивается марикультура таких ценных объектов, как водоросли [Возжинская, Блинова, 1971; Возжинская, 1986; Коренников, 1990], мидии [Кулаковский, Кунин, 1983; Аквакультура..., 1983; Кулаковский и др., 2003] и рыбы [Иванченко, 1983; Иванченко, 1975; Душкина и др., 1981; Зеленков, Иванченко, 1987 и др.].

Создание промышленных марихозяйств прямо или косвенно влияет практически на все стороны жизнедеятельности биоты данной акватории и смежных районов моря. Одним из негативных аспектов влияния марикультуры на экосистему является значительное и не всегда благоприятное перераспределение потоков вещества в пространстве. Примером может служить размещение плантаций в верхних слоях воды, что может вести к перегрузке занимаемого биотопа [Силкин, Хайлов, 1988]. Степень и характер такого влияния обуславливает, в конечном счете, масштабность, эффективность и целесообразность марикультуры.

В Северном филиале ПИНРО в 80 - 90-х гг. прошлого века проводились широкомасштабные исследования прибрежных районов Белого моря в целях размещения в них марихозяйств различной направленности. Выбор места размещения промышленных марихозяйств определялся, прежде всего, наличием соответствующих условий для оптимального развития гидробионтов. Работа проводилась в три этапа:

1. На основе литературных материалов и карт распределения ламинариевых водорослей и мидий были обозначены районы их возможного культивирования. Проанализированы морфометрические характеристики районов (очертания берегов, рельеф дна, глубины), климатические условия (преобладающие ветра, волновое и ледовое воздействие), имеющиеся гидрологические и гидрохимические данные по выбранным районам.

2. Экспедиционный этап. В течение ряда лет проводились сезонные наблюдения над гидрохимическим и гидрологическим режимом при-

брежных районов Белого моря. Исследовались как районы с имеющимися зарослями водорослей и мидиевыми банками, так и прилегающие к ним акватории, а также районы, перспективные для размещения садковых комплексов.

3. На основе анализа полученных материалов были разработаны критерии, по которым оценивались прибрежные районы с точки зрения размещения в них марихозяйств разной направленности.

1.1. Культивирование водорослей

В условиях продолжающегося ухудшения состояния природных сырьевых ресурсов беломорских ламинариевых водорослей в местах многолетнего пресса промысла на естественные заросли, внедрение в практику и расширение промышленной марикультуры является одним из путей успешного решения обеспечения сырьем промышленности, так и все более обостряющихся экологических проблем.

Как показывает международная практика, культивирование водорослей имеет высокую рентабельность и обладает рядом преимуществ:

1. Марикультура водорослей позволяет концентрировать сырье вблизи баз переработки в необходимых для промышленности объемах.

2. Увеличение марихозяйств может идти при стабильном или даже уменьшающемся давлении промысла на естественные заросли, что обеспечит решение проблемы охраны биоценозов водорослей.

3. При искусственном разведении имеется больше возможностей для улучшения качества выращиваемого сырья.

4. Выращивание водорослей на плантациях позволит рациональнее использовать водную толщу при размещении хозяйств на разных глубинах.

Исследования, связанные с искусственным выращиванием ламинарии в Белом и Баренцевом морях, были начаты в 1975 г. Эксперименты показали, что в условиях Севера имеется реальная возможность организации марихозяйств ламинарии и есть основания считать, что в Белом море культивирование ламинарии весьма перспективно.

Лабораторией морских водорослей СевПИПРО на основании научных разработок, выполненных специалистами лаборатории в 1990-2005 гг. с использованием материалов, изложенных в НИР «Временная инструкция по выращиванию ламинарии сахаристой на Белом море в двухгодичном цикле самозасеваемого выростных субстратов» [Коренников, 1992] была подготовлена и издана «Инструкция по биотехнологии

культивирования ламинарии сахаристой на установках горизонтального типа в двухлетнем цикле выращивания в Белом море» (2007), которая явилась конечным результатом культивирования данного вида водорослей в двухгодичном цикле в районе Соловецких островов.

На Белом море в 70-х годах были заложены первые опытные плантации для выращивания ламинарии сахаристой (*Laminaria sacharina*) в проливе Печаковская Салма, а с 80-х годов ее культивирование велось в опытно-промышленных масштабах: исследовались рост и развитие водорослей, выявлялись оптимальные условия для создания их массовых зарослей и культивирования. Опыты по выращиванию проводились также в губе Троицкой и Ковде.

Главными особенностями условий среды в прибрежной зоне Белого моря являются длительный световой день в вегетационный период, невысокая в большинстве районов температура (12-15°C) и соленость (за пределами предустьевых районов рек 23-25 ‰) воды, низкая прозрачность (иногда 3-5 м), частая повторяемость штормов в теплую половину года и длительный, до полугода, ледостав (береговой припай), сочетающийся осенью и весной у открытых побережий моря с интенсивным его торошением, а также сильные приливо-отливные течения [Чугайнова, Коренников, 1995].

По исследованиям различных районов выяснено, что наилучшие возможности для марикультуры ламинарии по размерам площадей и природным условиям имеют губы Карельского берега Кандалакшского залива. Они сравнительно глубоководны, с хорошо выраженной стратификацией вод, незначительным речным стоком. Слой эффективного фотосинтеза простирается здесь до 10-20 м. Однако, по сравнению с другими районами моря, данный слой в летний период обеднен питательными солями. Высокая прозрачность вод позволяет осуществлять зимовку субстратов с культивируемой ламинарией на глубинах до 8 м и более.

Онежский залив также является благоприятным по условиям среды районом возможной марикультуры ламинарии сахаристой. Прибрежная зона мелководна, восточное побережье его в основном открытого типа. Здесь увеличивается по сравнению с Кандалакшским заливом воздействие речного стока, в результате снижается прозрачность прибрежных вод, а обеспеченность их питательными солями возрастает. Толщина фотического слоя составляет менее 5 м. Наиболее благоприятна для марикультуры ламинарии северная часть Онежского залива: острова Соловецкие, Кемские шхеры. Воды здесь характеризуются пониженной температурой и повышенной соленостью, более интенсивным водооб-

меном, по сравнению с губами западного побережья Онежского залива. Скорости течений между островами достигают 0,3-0,5 м/с, в районе Кузовов - до 1 м/с. Это одно из самых холодных мест Белого моря. Среднедекадная температура воды поверхностного слоя даже в июле - августе не превышала 12°C.

Гидрохимические условия различных районов Белого моря, перспективных для организаций марихозяйств, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Гидрохимические показатели вод в районах
Кандалакшского и Онежского заливов в летний период.**

Гориз м	Темпера- тура, °С	Соленость, ‰	Кислород, % насыщ.	Биогенные элементы, мкг-ат/л		
				NO ₂	NO ₃	PO ₄
гб. Ковда (Кандалакшский залив)						
0	<u>3,8-14,5</u>	<u>22,5-25,0</u>	<u>94-105</u>	<u>0-0,03</u>	<u>0,14-4,40</u>	<u>0-0,49</u>
	12,4	22,8	100	0,01	0,29	0,07
5	<u>4,5-14,5</u>	<u>22,7-26,0</u>	<u>92-105</u>	<u>0-0,02</u>	<u>0,16-6,02</u>	<u>0-0,56</u>
	12,3	23,1	98	0,01	1,51	0,03
10	<u>4,4-13,2</u>	<u>24,0-26,0</u>	<u>91-104</u>	<u>0,01-0,02</u>	<u>0,07-9,01</u>	<u>0,07-1,77</u>
	9,5	24,2	92	0,01	2,11	0,21
20	<u>2,5-5,8</u>	<u>26,5-27,2</u>	<u>83-91</u>	<u>0,05-0,25</u>	<u>2,08-8,10</u>	<u>0,56-2,73</u>
	4,8	26,7	85	0,1	6,53	0,71
пр. Печакловская Салма (север Онежского залива)						
0	<u>9,3-11,1</u>	<u>27,0-28,0</u>	<u>100-110</u>	<u>0-0,10</u>	<u>0,50-5,90</u>	<u>0,06-0,53</u>
	9,9	27,3	103	0,05	2,40	0,36
5	<u>9,3-10,7</u>	<u>27,0-28,0</u>	<u>99-115</u>	<u>0-0,12</u>	<u>0,73-5,27</u>	<u>0,28-0,71</u>
	9,9	27,3	103	0,05	3,11	0,37
10	<u>9,0-10,3</u>	<u>27,0-28,3</u>	<u>99-105</u>	<u>0,01-0,12</u>	<u>1,57-6,28</u>	<u>0,56-1,10</u>
	9,5	27,3	100	0,07	3,15	0,63
о-ва Боршовцы (юг Онежского залива)						
0	<u>6,5-16,6</u>	<u>25,0-26,0</u>	<u>84-107</u>	<u>0,06-0,22</u>	<u>0,06-4,14</u>	<u>0,06-0,77</u>
	13,5	25,1	97	0,11	1,50	0,36
5	<u>6,6-16,5</u>	<u>25,0-25,8</u>	<u>84-100</u>	<u>0-0,22</u>	<u>0,06-6,06</u>	<u>0,21-0,77</u>
	14	25,1	93	0,15	2,03	0,41

Примечание: над чертой – пределы изменчивости, под чертой – средние значения.

Таблица отражает показатели водной среды с июня по август. Наиболее высокая температура и соленость, а так же минимальные значения концентрации биогенных элементов и насыщенности кислородом

наблюдались, как правило, в августе. С наступлением осени и охлаждением вод происходило накопление биогенных элементов до значений, близким к предвесенним.

Общеизвестно, что одним из важнейших элементов экосистемы Белого моря является динамика его вод, которая зависит от морфологии побережий и рельефа дна и оказывает воздействие на биологическую продуктивность. В таблице 2 показаны сравнительные величины скоростей течений в местах культивирования и естественного произрастания ламинарии.

Отмеченные в таблице 2 скорости движения воды 0,7-0,8 м/сек имеют характер приливных поверхностных течений, как правило, в небольших по ширине и глубине проливах.

Таблица 2

Скорость течений в местах культивирования и естественного произрастания ламинарии сахаристой (м/сек).

Горизонт	губа Ковда		пр. Печаковская Салма		Губа Троицкая	
	природные заросли	плантация	природные заросли	плантация	природные заросли	плантация
0	0,20-0,30	0,70-0,75	0,20-0,30	0,20-0,25	0,30-0,80	0,40-0,50
5	0,29-0,30	0,30	-	-	0,10-0,30	0,20-0,30
10	0,15-0,17	0,10	0,05	0,05	-	0,05

Гидролого-гидрохимические исследования в районе Печаковской Салмы проводились в ходе разработки биотехнологии выращивания беломорской ламинарии с 90-х годов прошлого столетия. В течение всего периода исследований регулярно измерялись скорости и направления течений. Гидрологические работы, выполненные на площадках с природными зарослями ламинарии, а также в районе размещения плантации показали, что течения представляют собой циклический процесс с полусуточным периодом. Таким образом, очевидно, что эти течения – результат приливных явлений. Поверхностные течения всегда более устойчивы, чем придонные. Это связано с процессами донного трения и вихреобразования. Влияние волнения сильно ослабляется тем фактором, что, в основном, акватории закрыты островами.

Станции располагались, как правило, на одной линии по направлению течения и ими охватывались как акватория плантации, так и близлежащие воды. В девяностые годы исследования, в основном, проводились на плантации, установленной в 1990 году и занимающей площадь

около 1 га (рисунки 1, 2). Измерения скорости и направления течений на плантации производились на глубине 4 метра. Как и следовало ожидать, в этом районе наблюдается реверсивное приливо-отливное течение, направленность которого несколько сбита, скорее всего, береговой линией острова Парусный. Максимальные скорости – 0,16 м/с – достигаются в период прилива при направлении 135°-180°, минимумы - при отливе при направлении 30°-60°. Максимальная скорость течений на глубине 0,5 м составляла 0,23 м/с на приливе в восточной части плантации [Чугайнова, 2005].

В течение последующих лет регулярно проводились измерения скоростей течений на акватории пр. Печаковская Салма: в местах расположения плантаций (ст. 1, 3), в проливах между Сенными лудами (ст. 5), о. Б. Заяцким и о. Парусный (ст. 6), южнее о. Парусный (ст. 7), на перекате (ст. 2) (таблица 3).

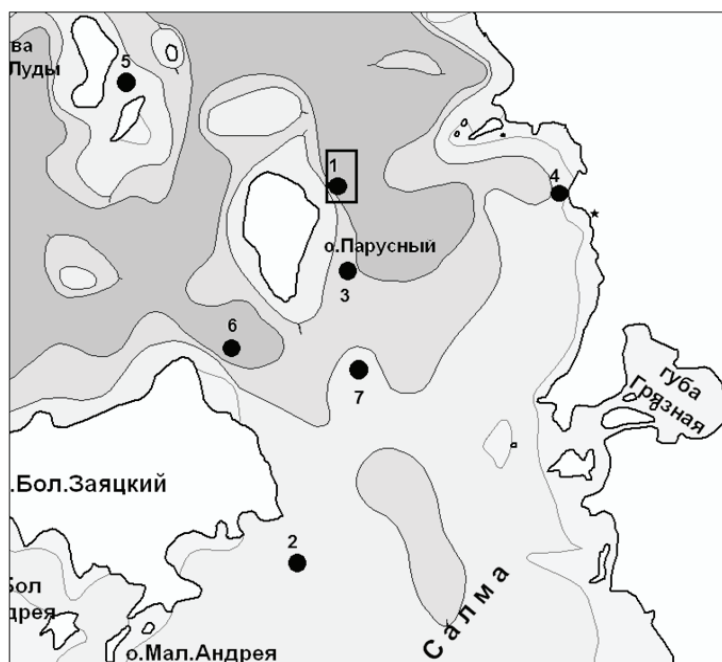


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в пр. Печаковская Салма (прямоугольником обозначено место расположения плантации).



Рис. 2. Внешний вид плантационной установки хребтинного типа в летнем положении (фото лаборатории морских водорослей СевПИПРО)

Таблица 3

Скорости течений воды на станциях отбора проб в пр. Печаковская Салма

№ ст.	Скорость течения, м/сек	
	на поверхности	у дна
1	0,16-0,23	0,07
2	0,50	0,30-0,40
3	0,25-0,30	0,10
4	0,07	0,03

Все районы массового произрастания природной ламинарии в целом пригодны и для организации марихозяйств.

Отдельные районы Кандалакшского залива наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к подбору акваторий для марикультуры по параметрам внешней среды. Многочисленные обширные по площади губы залива в основном защищены от воздействия сильных штормов и вместе с тем обладают течениями достаточной интенсивности для

жизнедеятельности ламинарии. Помимо губы Ковда благоприятные условия среды для выращивания ламинарии имеются в губах Чупа, Никольская, Медвежья, Кузокоцкая и в Соностровской Салме.

Прозрачность воды в большинстве рекомендованных для марикультуры губ и у открытых побережий Кандалакшского залива равна или превышает 8 м. Достаточно большая прозрачность позволяет использовать способ вертикального крепления на плантациях выростных субстратов с культивируемой ламинарией (аналогично биотехнологии выращивания ламинарии японской на Дальнем Востоке). Многолетние испытания данного способа крепления субстратов (капроновых веревок) с развивающейся ламинарией (1975–1985 гг.) в Онежском заливе не давали устойчивых конечных результатов - массовых количеств рассады и товарной ламинарии (прибрежье, о. Парусный, пр. Печаковская Салма). Как было выяснено позднее, субстраты в течение полугода находились на глубинах 5–9 м, где недостаток света лимитировал успешное прохождение плантационной ламинарией начальных стадий развития. Кроме того, как отмечено ранее, на горизонте расположения плантации (пр. Печаковская Салма) наблюдалась низкая интенсивность движения воды, что также ограничивает развитие ламинарии. Отметим, что естественные заросли ламинарии сахаристой в Онежском заливе в массовых количествах простираются в сублиторали только до 4–6 м. Наибольшие успехи были достигнуты при выращивании ламинарии в Печаковской Салме на установках «хребтинного» типа (рисунок 3). Урожай с 1 га плантации в разные годы составлял от 10 до 70 тонн.

В опытной марикультуре ламинарии сахаристой в последний период учтена и еще одна особенность Белого моря. Приливное течение из Баренцева моря формирует в Белом море систему вдольбереговых прибрежных течений с направлением движения против часовой стрелки. В августе–сентябре в воде имеется достаточное количество репродуктивного материала, продуцируемого природными зарослями. Это позволило перейти в основном от искусственного засева субстратов спорами ламинарии к их самозасеву непосредственно в море. В большинстве случаев плотность самозасева не уступает искусственному засеву субстратов.

В настоящее время в ряде районов Белого моря заросли природной ламинарии по тем или иным причинам отсутствуют. Исследования, проведенные в районах произрастания водорослей, показали, что пригодность таких акваторий для целей марикультуры должна определяться следующими параметрам среды:



*Рис. 3. Участок хребтины водорослей Laminaria saccharina в двухлетнем цикле выращивания в пр. Печаковская Салма (Соловецкие острова)
(фото лаборатории морских водорослей СевПИПРО).*

- интенсивный рост плантационной ламинарии обеспечивается при скорости выше 0,2 м/сек, акватории с интенсивностью течений более 0,7 м/сек благоприятны для роста ламинарии, но сложны для монтажа и обслуживания плантаций;

- соленость не менее 23‰;

- длительный прогрев воды в горизонте выращивания ламинарии не должен превышать 20°C;

- степень развития марихозийств должна исключать появление заболеваний плантационной ламинарии (позеленение, поселение пластин в чрезмерно загущенных посадках и др.), а также отрицательное воздействие плантаций на развитие местных природных гидробионтов.

С учетом полученных в последние годы данных об условиях культивирования беломорской ламинарии сахаристой, для организации марихозийств пригодна большая часть прибрежной зоны Белого моря с глубинами до 20-25 м. Исключение составляют Мезенский залив, восточное побережье Двинского залива (Зимний берег) и предустьевые акватории беломорских рек – из-за сильного опреснения вод. Небольшая прозрачность воды и открытость ветрам большинства районов Онежского залива также не позволяет разместить в них опытные плантации. Охват марикультурой ряда открытых прибрежных участков (Летний берег Двинского залива и др.) с применением заглубляемых на зиму планта-

ционных устройств не относится к первоочередным задачам. Здесь требуется применение плантаций повышенной штормоустойчивости, само же обслуживание их повлечет значительное удорожание получаемого плантационного сырья. На ближайшую перспективу основными районами развития марикультуры ламинарии сахаристой могут стать побережья Кандалакшского и Онежского заливов, которые практически все пригодны для размещения марихозяйств. Исключение составляют:

- устьевые участки рек из-за сильного опреснения - менее 23 ‰;
- акватории со скоростями течений менее 0,1 м/сек;
- районы с прозрачностью воды менее 4 м (обеспечивающей достаточную освещенность субстратов в осенне-весенний период).

Учитывая эти факторы можно сказать, что наиболее благоприятными для организации марихозяйств по выращиванию ламинарии сахаристой являются шхерные районы Кандалакшского и северная часть Онежского залива (Соловецкие острова, Кемские шхеры). Кроме того, эти районы хорошо снабжены репродуктивным материалом, продуцируемым природными зарослями ламинарии.

Для восстановления прибрежных экосистем, нарушенных промыслом, и увеличения запасов ламинариевых потребуется проводить целый комплекс мелиоративных мероприятий. Одним из таких мероприятий может служить рекультивация, под которой в промышленной морской альгологии понимается внесение твердого субстрата в разреженные заросли водорослей [Пронина, Ковальчук, 1995; Михайлова, 1998].

Метод придонного выращивания ламинарии на камнях начал прорабатываться в Северном отделении ПИНРО в 1970-е годы В. Н. Макаровым [Искусственное..., 1975]. В дальнейшем, в процессе разработки этого метода исследовался не только каменистый субстрат. В многочисленных экспериментах для донного выращивания проверялись также и искусственные субстраты – капроновые канаты, изношенные автопокрышки [Коренников, Каплицин, 1987]. В результате ряда причин экологического, технического и экономического свойства выбор пал все-таки на субстрат природного происхождения – каменистый.

Таким образом, рекультивация является способом повышения биопродуктивности прибрежных районов и ее можно рассматривать как донную марикультуру. По аналогии с традиционными способами марикультуры (например, выращиванием водорослей в толще воды на веревочных субстратах), рекультивация требует затрат для размещения субстратов в море. Однако при ней отпадает необходимость ежегодной чистки и замены изношенных материалов, отработки специальных способов добычи сырья. Для сбора водорослей применяются те же ору-

дия и способы, которые используются при промысле в естественных зарослях.

Кроме того, достоинством рекультивации выступает возможность выращивания не только промыслового вида, но и воссоздание природной среды обитания и всех звеньев нарушенных биоценозов. Перспектива быстрого формирования богатых растительностью акваторий свидетельствует об огромном экологическом значении рекультивации, которая может проводиться в качестве компенсационных мероприятий по восстановлению нарушенных донных биоценозов. Новая растительность сдерживает сильные течения, укрепляя, тем самым, мягкий грунт, обогащает прибрежные воды кислородом, способствует поддержанию гидрохимического режима на оптимальном уровне, позволяет расширить места нагула различных видов рыб.

Проводить рекультивационные мероприятия необходимо, прежде всего, в районах, где ведется многолетний промысел водорослей и особенно выражены тенденции к ухудшению состояния водорослевых сообществ, т.е. сокращается плотность зарослей, снижаются биомассы, уменьшается глубина распространения водорослей и др. Из четырех заливов Белого моря для этого пригоден преимущественно Онежский залив. В его пределах наиболее подходят прибрежные акватории крупных островов, некоторые участки Онежского и Поморского берегов [Результаты..., 1994].

Следует подчеркнуть, что при соблюдении рекомендаций дополнительные ресурсы водорослей, формирующиеся в результате рекультивации, расположены в удобных для промысла местах, а значит — легкодоступны.

Лумбовский залив (Мурманская область) остается пока неохваченным промыслом. Мезенский залив, побережье Зимнего берега в Двинском заливе, а также приустьевые акватории беломорских рек из-за высокой степени опреснения вод не пригодны для массового развития ламинариевых водорослей. Побережье Летнего берега (Двинский залив) имеет невысокую степень пригодности в основном из-за широкого распространения и интенсивного перемещения в прибрежной зоне песчаных грунтов. Побережье Кандалакшского залива по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам вполне пригодно для увеличения площадей природных зарослей, но из-за значительного уклона дна подходящие для этих целей площади здесь, в большинстве случаев, невелики.

Проблема рекультивации сложна. Во-первых, несомненно, себестоимость работ довольно высокая. Во-вторых, существует множество непредвиденных обстоятельств при попытке получить в природных

условиях стабильный урожай. Полностью контролировать получение урожая в природе практически нереально (или очень трудно), т.к. все природные факторы предусмотреть невозможно. Какой-либо незначительный момент, который никак не проявлял себя в многочисленных экспериментальных исследованиях, может вырасти в большую проблему при определенном стечении обстоятельств, т.е. при возникновении уникальной комбинации факторов. Таких комбинаций в природе может быть великое множество. Если в процессе традиционной марикультуры можно быстро реагировать на изменение среды (изменить условия выращивания, (заглубить, поднять поводцы), почистить, заменить на новые, заменить один тип субстрата на другой), то при рекультивации адекватная реакция на изменение внешних условий невозможна. Поэтому, на первый взгляд, возникает риск неоправданных затрат.

Тем не менее, создание вблизи заготовительных участков, в удобных для промысла местах, новых зарослей, которые, рано или поздно, сольются с естественными сообществами, а значит увеличат общий запас водорослей, уже говорит в пользу рекультивации. Метод рекультивации помогает решить проблему повышения биопродуктивности перспективных для промысла участков Белого моря, воссоздавая естественную среду обитания многочисленных гидробионтов. Это свидетельствует об огромном экологическом значении рекультивации ламинариевых сообществ [Михайлова, 2007].

Во-первых, рекультивация может проводиться в качестве компенсационных мероприятий по восстановлению донных биоценозов, нарушенных в результате проведения подводных гидротехнических работ или применения опасных для биоценозов орудий промысла (например, драг). Рекультивация на глубинах 2-4 м позволяет не только увеличить запасы ламинарии, но и способствует восстановлению популяций другого важного промыслового объекта — красной водоросли анфельции (*Ahnfeltia plicata*), запасы которой с середины прошлого столетия были значительно подорваны.

Во-вторых, в местах с активной литодинамикой новая растительность сдерживает движение мягких грунтов. Она также может служить естественным волнорезом на участках, где наблюдается разрушительное действие прибоя и сильных течений.

В-третьих, сообщества водорослей осуществляют процесс самоочистки водоема и способствуют поддержанию гидрохимического режима на оптимальном уровне. Общеизвестно, например, что ламинариевые обладают способностью активно поглощать радионуклиды, тяжелые металлы, нефтяные углеводороды.

В-четвертых, новые прибрежные водорослевые сообщества позволяют расширить места нагула различных видов рыб и, таким образом, увеличить кормовую базу многих ценных гидробионтов. Это значительно повышает рыбохозяйственную ценность всего беломорского бассейна.

Возвращаясь к проблеме в целом, можно утверждать, что в условиях усиливающегося техногенного воздействия грамотное проведение рекультивации может оказаться не только весьма действенным способом улучшения экологической обстановки Белого моря, но и иметь реальные коммерческие перспективы [Михайлова, 2007].

1.2. Культивирование мидий

Одним из наиболее продуктивных и ценных в пищевом и медицинском отношении объектов культивирования является моллюск мидия (*Mytilus edulis*). Относительная простота биотехнологии выращивания этого моллюска и высокая экономическая эффективность мидиевых плантаций обеспечивается, прежде всего, короткой пищевой цепью моллюсков и, как следствие, высокой их продуктивностью.

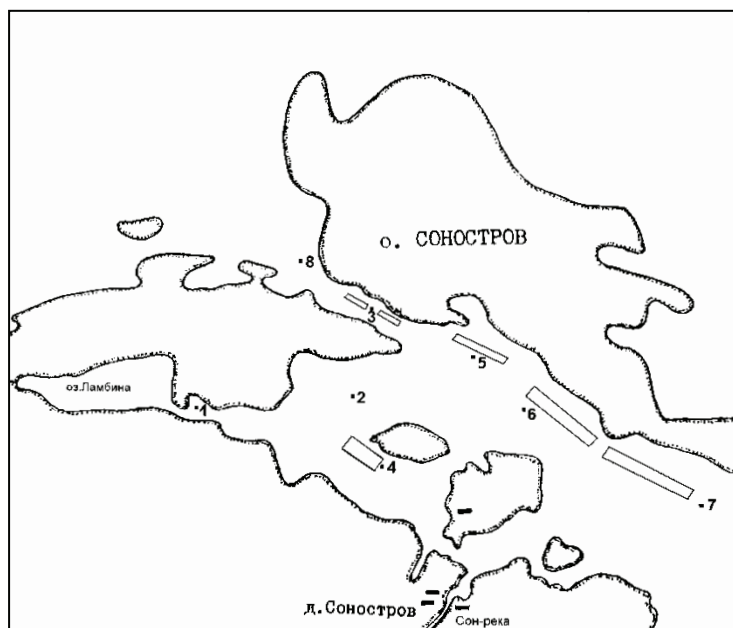
Наиболее благоприятные для развития мидиевых биоценозов районы характеризуются интенсивными гидродинамическими процессами, жесткими грунтами, достаточно чистой водой и слабой прибойностью. Этим условиям отвечают районы Кандалакшского, Карельского и Поморского берегов. Массовые поселения мидий были обнаружены в губах Падан, Пильская, Лов. Особенно многочисленны сублиторальные мидиевые поселения в кутовой части Кандалакшского залива, у островов в губе Ковда, Великий, Соносторов. Все они расположены в проливах и приурочены к верхней сублиторали, многие обнаружены в эстуарных районах [Луканин и др., 1983]. В Онежском заливе мидии обитают почти на всей площади дна, но их поселения разрежены и настоящих банок с высокими биомассами животных здесь почти нет, кроме того, раковины почти всех половозрелых моллюсков обильно обрастают, в основном рачками рода *Balanus* [Луканин и др., 1987]. Таким образом, в исследованных нами районах моря мидиевые плантации могут быть размещены на значительной акватории.

Научные основы культивирования мидий в Белом море разработаны Беломорской биологической станцией Зоологического института РАН в губе Чупа [Кулаковский и др., 1983; Экология..., 1985], а в 1985 году в районе Сонострова Беломорской базой гослова были установлены первые опытные плантации. И в настоящее время это хозяйство осталось

единственным по выращиванию мидий на Белом море. Оно принадлежит ООО «Северная мидия», г. Санкт-Петербург [Биологические..., 2012].

С 1985 по 1992 гг. были созданы 32 участка мидиевых хозяйств общей площадью около 70 га [Максимович, Сухотин, 2000; Биологические..., 2012].

Наши исследования по проблеме культивирования мидий проводились на акватории Сонострова (рисунок 4), а также в близлежащих районах - губах Никольской, Медвежьей, пр. Оборина Салма.



Условные обозначения: ● - станции, □ - плоты-коллекторы.

Рис. 4. Схема размещения станций отбора проб в губе Соностровская (1988-1993 гг.).

Акватория Соностровской губы расчленена островами на две части: пролив Соностровская Салма и внутреннюю часть, ограниченную с северо-запада и юго-запада материковым берегом, а с юго-востока и северо-востока двумя небольшими островами. В юго-западную часть Соностровской губы впадает порожистая Сон-река. В восточной части губа соединяется с озером Ламбина площадью около 19 га и глубиной 7-8 м. Во время прилива в озеро заходит морская вода, поэтому оно со-

лоноватое: от 2-3 ‰ на поверхности до 24-25 ‰ на глубине 5-7 м. Во время таяния льда и усиления материкового стока водная масса может распресняться до глубины 4 м. Под воздействием стока с этого озера, которое аккумулирует в себе сток с расположенной неподалеку обширной системы Поповых озер, крайняя восточная часть губы (площадью 1,5 га) весной и осенью распресняется до 13-15 ‰. Эти периоды продолжаются по 3-4 недели. Поскольку Соностровская губа имеет преимущественно глубины от 12 до 30 м, а объем стока невелик, то его влияние на гидрохимический режим незначительно (соленость воды почти повсеместно составляет 24-26 ‰). Сток Сон – реки также не играет заметной роли, так как направлен в основном в открытое море. Скорости течений на акватории губы изменяются в широких пределах (таблица 4).

Таблица 4

Скорости течений в районе Сонострова (по Бояринову, Петрову, 1988)

№ станции	Горизонт, м	Скорость течения, м/с
2	2-6	0,08
3	4	0,52
6	2-8	0,22-0,36
4	2-7	0,01

Исследования гидрологического режима проводилось в период ледостава, когда воды акватории не были подвержены влиянию ветра и, следовательно, обмен с морем наименьший. Динамика вод в этот период определяется приливной волной, приходящей из Бассейна Белого моря. Стоковые течения, вызванные впадением рек, очень слабы и применявшимся измерителем течений не могли быть зафиксированы. В период открытой водной поверхности водообмен увеличивается вследствие развития ветровых течений [Бояринов, Петров, 1988]. Как видно из таблицы наибольшие скорости течений наблюдались в проливе, отделяющем о. Соностров от материка. Скорости течений, измеренные в местах размещения плотов-коллекторов с культивируемыми мидиями в губе Чупа составляли 0,03-0,04 м/с в придонном горизонте и 0,10-0,25 м/с в поверхностном горизонте (Бабков и др., 1985).

Кроме солености и течений большую роль в развитии гидробионтов играет и температура воды, которая в районе Сонострова изменялась в течение года в широком диапазоне – от -1,5°C зимой до 15-18°C летом (в литоральной и сублиторальной зонах до 20°C и выше). Немаловажную роль играет также и характер грунта, количество детрита и фитоплан-

ктона, являющимися основными компонентами питания моллюсков [Экология..., 1985].

Состояние фитопланктона можно проследить по содержанию биогенных элементов и величинам первичной продукции, которая составляла в этом районе в среднем 170 мг С/м²/день, что почти не отличается от других районов Кандалакшского залива. Зато содержание органических форм азота и фосфора было намного выше.

Сопоставляя наши данные с данными других авторов [Хлебович, 1968; Голиков, Смирнова, 1974; Моллюски..., 1987] можно предварительно определить пригодность той или иной акватории для размещения марихозяйств по выращиванию мидий, которые должны отвечать следующим требованиям:

- расположение акватории должно быть таким, чтобы таяние льда проходило на месте, без его подвижек;
- скорости течений в пределах 0,10-0,60 м/с;
- температура воды в пределах -1,5 - 20,0°С;
- соленость воды 5-30 ‰;
- глубины не менее 10 м;
- в тканях моллюсков должны отсутствовать паразиты и микробы.

Исходя из вышеуказанных требований к марихозяйствам по культивированию мидий, можно сказать, что почти все обследованные районы пригодны для ее выращивания. Исключение составляют губы, подверженные сильному антропогенному воздействию (Кемская, Сорокская), так как мидии являются фильтраторами и выращивание их в загрязненных районах приведет к невозможности их использования в качестве продуктов питания или в медицинских целях.

1.3. Культивирование рыб

В XX в. произошли резкое падение добычи основных промысловых объектов Белого моря, прежде всего сельди, семги и других рыб. Это, в свою очередь, привело к ухудшению экономической ситуации и явилось одной из причин оттока населения из прибрежных районов моря и постепенного вымирания многих некогда богатых и процветавших поморских деревень. Было необходимо разобраться в причинах депрессии промыслов и наметить мероприятия, позволяющие выйти из создавшегося положения, значительно повысив уровень добычи рыб, водорослей и других объектов. Среди проделанных работ особо важны научные и научно-практические разработки по интродукции новых промысловых

видов (горбуша), улучшению процессов естественного воспроизводства и разработке биотехники марикультуры рыб, водорослей, моллюсков и других обитателей Белого моря [Житний, 2005].

Основу промысла в Белом море всегда составляла сельдь. Ее вылов в XVIII в. достигал 32-35 тыс. т, а в наши дни не превышает 500-800 т в год [Житний, 2005]. Сельдь была основной промысловой рыбой Белого моря до середины 60-х годов. Интенсивный промысел в последующие годы существенно подорвал ее запасы. Кроме того, в 1959-1961 гг. на Белом море, как и в районах ее обитания у побережья Западной Европы, погибла морская трава зостера, на которую сельдь откладывала икру. Эксперты обсуждали две возможные причины ее гибели: или грибковое заболевание, или естественные колебания численности. Сейчас заросли зостеры восстанавливаются, но в середине 60-х существование сельди, оставшейся без естественных нерестилищ, оказалось под угрозой. Постоянно обсыхающая во время отлива водоросль фукус, на которую сельдь пыталась откладывать икру, оказалась плохим заменителем зостеры. Именно в это время и появилась идея заменить исчезнувшую зостеру искусственными нерестилищами из мелкочаеистой капроновой дели.

Такие работы проводились группой научных сотрудников Беломорской биологической станции Зоологического института РАН под руководством О.Ф. Иванченко с начала 70-х гг., а также исследователями из ПИНРО [Иванченко, 1975; Душкина и др., 1981; Зеленков, Иванченко, 1987; Иванченко, Похилюк, 1995]. Методологическая база была всесторонне разработана и успешно воплощена в многочисленных научно-производственных экспериментах, выполненных в ряде районов Белого моря (Палкина губа, губа Чупа). Изучались разные типы субстратов: старая неводная дель, еловый лапник, капроновая дель, которая оказалась наиболее удобной в работе. Искусственные нерестилища из капроновой дели, установленные под лед в местах весеннего подхода сельди, покрывались слоем икры, в дальнейшем успешно развивавшейся. При этом выклев личинок превышал 90% [Лукин, 1987; Иванченко, Похилюк, 1995].

Искусственные нерестилища были изготовлены в ПИНРО и представляли собой стенку капронового сетного полотна длиной около 20 м, посаженного по всей длине по верхнему и нижнему краям на капроновые веревки. Сверху к нему привязывались веревки, снизу – грузы. Такое нерестилище не превышало 1,5-2 м в высоту, и его легко можно было ставить со льда и по открытой воде в нужном месте. В 1978 г. в Палкиной губе подо льдом было установлено 55 таких нерестилищ общей протяженностью в 15 км. Эти цифры отражают масштаб проделанной иссле-

дователями работы. В дальнейшем из-за сложной ледовой обстановки работы в Палкиной губе прекратились и возобновились уже в губе Чупа Кандалакшского залива [Белое море, 1995].

Следующим этапом усовершенствования технологии сбора икры стало применение ловушек-нерестилищ, сменивших стену капроновой дели, впервые установленных в 1982 г. в Кандалакшском заливе Белого моря. При этом делью огораживается значительный участок, внутри которого расставляются нерестилища. Таким образом, икрой покрываются и нерестилища, и сети загородки. После этого важно вовремя извлечь субстрат с икрой из ловушки и поместить его в море за ее пределами. Важно следить, чтобы слой икры не был слишком плотным, что приводит к ее гибели. Отнерестившуюся рыбу можно использовать в промысловых целях.

Внедрение этих разработок в течение ряда лет успешно осуществлялось совместными усилиями исследователей Зоологического института и рыбаков рыбзавода поселка Чупа в Кандалакшском заливе Белого моря с участием коллег из ПИНРО и ПО «Карелрыбпром», «Севрыба», Беломорской базы Гослова. Масштаб работ постепенно увеличивался, ставилось все больше нерестилищ, технология продолжала совершенствоваться, а выклев личинок сельди при благоприятных условиях составлял до 95%. В 1985 г., объединенными усилиями ученых и производственников удалось перейти от экспериментального к производственному уровню марикультуры сельди. В 1985 г. рыбаками Чупинского завода было установлено 97 искусственных нерестилищ. Из-за задержки заводом сроков выполнения работ часть сельди ко времени выставления нерестилищ уже отнерестилась, и икра была отложена лишь на 31 нерестилище. Средний выклев личинок на них составляла 95%, на естественных нерестилищах он не превышал 25%.

По экономическим причинам в начале 90-х гг. промышленное развитие марикультуры сельди приостановилось. Хотелось бы надеяться на продолжение этой перспективной деятельности, способствующей увеличению численности важного промыслового объекта.

Форель, культивируемая в наших северных морях с 1980-х гг., — один из наиболее важных и перспективных объектов марикультуры, так как в силу особенностей роста этот вид быстро достигает товарного размера.

С начала 1980-х гг. исследователи из ПИНРО (Мурманск, Архангельск) обследовали прибрежные районы Белого моря, с учетом особенностей гидрологии, рельефа дна и др. показателей и выбирали участки, пригодные для садкового выращивания форели. Научно-производственные эксперименты по культивированию форели в этих районах

дали обнадеживающие результаты. При этом в садки помещалась годовалая молодь форели весом 80-100 г, выращенная в теплой воде на рыбноводных заводах (чаще всего — с завода «Имандра»). Сроки культивирования варьировали в разные годы и в разных участках от 75 до 125 дней. Весовой прирост также варьировал от 160 до 2800%, в зависимости от конкретных условий и кормов [Житний, 2005].

В 1995-1997 гг. сходный эксперимент по культивированию форели был предпринят совместными усилиями российских (Петрозаводский университет) и норвежских (Акваплан-Нива, Тромсе) исследователей. 5 из 14 исследованных участков Кандалакшского залива были рекомендованы для культивирования форели. Учитывались умеренный нагрев воды с оптимальной температурой 9-14°C, отсутствие перемешивания и быстрых течений, низкое содержание органики.

Первый эксперимент был осуществлен в Кривозерской бухте губы Чупа Кандалакшского залива. 3 тыс. смолтов весом около 200 г выращивались около 3,5 мес. в садке объемом 500 м³. Полученные результаты превзошли самые смелые ожидания. Средний вес форели в конце периода культивации составлял 1,350 кг, и средний весовой прирост составлял 1,136 кг, что более чем вдвое превышало ожидаемый - 500 г.

Важным условием успешности садкового культивирования следует считать доступность селективного материала и его адаптированность к специфическим условиям культивирования, чтобы обеспечить максимальную реализацию ростовых возможностей рыб. К сожалению, работы в направлении формирования маточных стад ведутся явно недостаточно. Не проводятся работы по получению однополого потомства (самок) форели — камлоопс, хотя технологии управления гормональной сменой пола у рыб успешно разработаны в России. С 1994 г. посадочный материал форели камлоопс поставляет в Мурманскую область финская фирма «Арктик Салмон» [Воробьева и др., 2001; Похилюк, 2001]. Вместе с тем, выращивание однополой форели крайне перспективно, так как она значительно превосходит прочие формы по скорости роста [Воробьева и др., 2001]. По материалам исследователей из ПИНРО Н.К. Воробьевой и М.А. Лазаревой, культивировавших форель в Палкиной губе Белого моря (рисунок 5) в 1995-1996 гг., максимальный весовой прирост наблюдался у камлоопса. Так, в августе средний весовой прирост на одну особь составлял для камлоопса 20,9 г/сут., тогда как для обычной разнополой форели из карельского и мурманского рыбопитомников он составлял 12,1 и 9,4 г/сут. соответственно. Очевидно, при товарном выращивании форели в Белом и Баренцевом морях следует ориентироваться именно на камлоопса.



Рис. 5. Садковое хозяйство в Палкиной губе Кандалакшского залива

Эксперименты по выращиванию радужной форели проводились сотрудниками СевПИПРО в 1988-1997 гг. в ряде районов Белого моря: губах Унская и Сухое море Двинского залива, на акватории Соловецкого архипелага.

Для товарного выращивания форели в Унской губе у Заяцкой косы в 1988-1990 гг. посадочный материал доставлялся вертолетом с Солзенского рыбоводного завода. Этот участок подвержен сильным суточным колебаниям температуры и солености воды, которые составляли здесь 4-7°C и 3-5‰. За 90 суток выращивания средняя масса форели увеличилась со 100 до 460 г при сравнительно низком кормовом коэффициенте [Кулида и др., 1998].

В 1992 и 1996 гг. были проведены эксперименты по выращиванию форели в кутовой части Унской губы на участке Костарихино. Рыбоводно-биологические показатели товарного выращивания форели на этом участке в 1996 г. были выше, чем в 1992 г., у Заяцкой косы Унской губы, в Сухом море, в прибрежной зоне Соловецкого архипелага. Большую роль в хорошем росте форели в 1996 г. сыграло использование финских гранулированных кормов, которые, по сравнению с отечественными, дают хороший рыбоводный эффект [Кулида и др., 1998].

В 1997 г. работы по получению товарной радужной форели были продолжены в Унской губе на участке Маймено, который по ряду гидролого-гидрохимических показателей отличается лучшими условиями, чем Заяцкая коса и Костарихино. Как показал опыт выращивания сеголетков форели в условиях Унской губы при использовании современных кормов и соблюдении рыбоводных нормативов, товарную форель массой более 300 г можно получить из мальков массой 8-10 г за один вегета-

ционный период. Это позволяет значительно повысить рентабельность хозяйства [Кулида и др., 1998].

Использование для выращивания крупных годовиков радужной форели (средняя масса 440 г) на сравнительно открытых акваториях, к которым относится губа Сухое море, расположенная в 30 км от Архангельска, показало, что встречающиеся при этом ограничения (резко выраженные колебания температуры воды, повышенная мутность, а также раннее созревание рыбы) не позволяют вести работы экономически эффективно.

Главной задачей исследований на акватории Печаковской Салмы было определение эффективности функционирования комплексного фореле-водорослевого хозяйства. Вблизи водорослевых плантаций был установлен садок с форелью. За 75 суток выращивания при экстремально низкой температуре воды (около 9°C) были достигнуты относительно неплохие рыбоводно-биологические показатели. Положительным фактором выращивания рыбы на акватории Соловецких островов является отсутствие выраженных колебаний гидрохимических и гидрологических показателей воды. Однако существенно более низкая, чем необходимо для радужной форели, температура воды не позволяет использовать для культивирования этот вид. Большие перспективы имеет выращивание здесь относительно холодолюбивых видов лососевых рыб, таких как семга или арктический голец [Кулида и др., 1998].

Накопленный опыт свидетельствует о том, что выращивание радужной форели в Онежском и Двинском заливах Белого моря возможно при соблюдении следующих условий [Кулида и др., 1998; Воробьева и др., 2001]:

- использование акваторий обеспечивающих поступление тепла в количестве не менее 1200 градусодней при суточных колебаниях температуры и солености не более 25-30 %;

- использование полноценного посадочного материала адаптированного к местным климатическим условиям;

- строгое соблюдение биотехнологических нормативов.

В свете современного подхода к развитию марикультуры, требующего рационального и безопасного использования акватории, представляет интерес обсуждение научно-практической разработки ПИПРО по интенсификации производства гидробионтов на единице площади и защите акватории от биогенного загрязнения биологическим методом. Предлагалась организация бикультурного марихозяйства «форель – мидия» [Воробьева, Лазарева, 2005; Лазарева, Альтов, 2007].

Исследования проводили на садковом рыбоводном комплексе, установленном в губе Палкина в районе с глубиной 7-10 м в течение 2001-2004 гг. Производительность экспериментального бикультурного мари-

хозяйства составляла 10-15 т/год товарной форели массой 0,15-2,5 кг и 1-2 т/год мидии-сырца. В работе использованы биотехника товарного выращивания форели садковым способом ПИНРО [Альтов, 2002; Воробьева, 2002], методы культивирования и проведения биологического анализа мидий, разработанные ЗИН РАН [Кулаковский, 2000]. Предварительные расчеты показали, что рентабельность аквакультурного хозяйства «форель – мидия» сопоставима с рентабельностью промысла – 30 %. Выход форели может составить 30-50 кг/м³, годовая продукция мидии-сырца на площади поверхности в 1 га – до 200 т [Лазарева, Альтов, 2007].

Работы по бикультуре проводились и сотрудниками МГУ на Беломорской биологической станции (ББС МГУ). Теоретически и экспериментально обоснованы принципы создания зубатко-мидиевых пастбищных хозяйств [Новиков, 1998].

В целом, организация бикультурных марихозяйств по производству рыб и моллюсков-фильтраторов позволит не только рационально использовать акваторию, но и интенсифицировать производство рыб на единице площади безопасно для окружающей среды.

Современные запасы и уловы семги в бассейне Белого моря находятся на низком уровне из-за нерационального промысла, перекрытия рек, захламления нерестилищ, браконьерства и др. Для восстановления запасов этого ценнейшего промыслового объекта необходимо принять ряд срочных мер, на чем неоднократно настаивали научные работники и рыбобоводы, выдвигавшие конкретные предложения [Алексеев и др., 2006].

На Белом море работы по воспроизводству атлантического лосося осуществляются с начала тридцатых годов прошлого столетия на рыбобоводных заводах (р/з): Умбский (основан в 1932 г.), Кандалакшский (введен в эксплуатацию в марте 1958 г.), Князегубский (был запущен в эксплуатацию в 1955 г.), Солзенский (1985 г.), Онежский (1933 г.). Создание лососеводных заводов было связано с наметившимися негативными тенденциями в естественном воспроизводстве семги, началом работ по вселению дальневосточных лососей, а также в целях компенсации ущерба, нанесенного гидростроительством [Алексеев и др., 2007]. Рыбобоводные заводы осуществляют инкубацию икры, подращивание и выпуск молоди семги в реки. Однако многолетние мероприятия по искусственному воспроизводству семги не дают ощутимых производственных результатов.

Наряду с вышеперечисленными культивируемыми видами рыб разработаны и успешно апробированы технологии искусственного воспроизводства трески, зубатки [Новиков, 1998], кумжи [Кулида и др., 2001; Кулида, Зеленков, 2001], сиговых [Альтов и др., 2007].

Отдельного обсуждения заслуживает вопрос интродукции дальневосточных лососей. Решение о начале работ по акклиматизации в Белом море дальневосточных лососей было принято Минрыбпромом СССР ещё в 1956 г. [Алексеев и др., 2006]. Массовые перевозки икры кеты, затем горбуши осуществлялись преимущественно из южных частей естественного ареала этих видов, природные условия которых значительно отличаются от беломорских. В 1985 г. была завезена икра из Магаданской области. В течение ряда лет наблюдались устойчивые подходы горбуши, несмотря на отсутствие подпитки из нативного ареала. В отдельные годы учтенные уловы достигали 900 т [Яковенко, 1995]. Но, несмотря на хорошие показатели уловов горбуши, анализ имеющихся данных показывает, что многолетняя работа по акклиматизации горбуши не закончилась натурализацией вида в новом ареале и поддержание её численности возможно только за счет постоянного заводского воспроизводства [Зубченко и др., 2004].

Организация и развитие марикультуры перечисленных объектов (сельдь, радужная форель, мидии и ламинарии) являются лишь частью мероприятий по повышению промыслового потенциала Белого моря. Сюда же можно отнести акклиматизацию горбуши, разработку технологии культивирования зубатки и некоторых других обитателей Белого моря. Эти работы требуют комплексного подхода, заключающегося не только в финансировании, но и в подготовке кадров, создании специального оборудования, налаживании переработки и сбыта получаемой продукции и др.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ МАРИКУЛЬТУРЫ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

Экспансия марикультуры в прибрежные зоны морей требует решения сложных вопросов, связанных, например, с отчуждением части акваторий под выростные устройства (наподобие сельскохозяйственных угодий). На аквакультуру, как и на природные экосистемы, влияет состояние водоемов. Без сохранения чистоты вод нельзя рассчитывать на ее большие масштабы. Аквакультура может оказывать на окружающую среду негативное влияние метаболитами выращиваемых гидробионтов на ограниченных территориях [FAO, 2002].

При промышленных масштабах развития аквакультура возникнет еще одна проблема – ее взаимоотношения с природными экосистемами. В этом направлении идет интенсивное накопление фактов [Report..., 1997], однако они находятся на уровне экологических наблюдений.

Размещение аквакультурных хозяйств вблизи берегов, особенно на укрепленных конструкциях, когда плотность гидробионтов в тысячи раз более высокая, чем в природных морских условиях, способствует “аккумуляции” негативных явлений, связанных с антропогенной деятельностью.

Марикультура, как компонент прибрежных экосистем, подвергается тем же воздействиям окружающей среды, что и природные популяции. В то же время она способствует увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Водоемы, которые изначально оценивались в каких-то одних диапазонах параметров, приобретают иные признаки под влиянием антропогенных факторов. Данные, прежде всего по гидрохимическому и биопродукционному состоянию водоемов, отнюдь не являются постоянными величинами, и трудно предсказать, какова будет амплитуда их колебаний в ближайшее время в условиях наращивания объемов марикультуры.

Одной из наиболее актуальных проблем развития хозяйств по выращиванию гидробионтов является достоверная оценка их негативного воздействия на морские биоценозы.

При наблюдении воздействия на окружающую среду плантации по выращиванию водорослей было отмечено, что если в течение весны-лета количество всех форм биогенных элементов на плантации и в прилегающих районах было практически одинаковым, то в осенний период непосредственно на плантации количество общего азота и фосфора на

15-20% превышало таковое на соседних станциях. Наличие большой биомассы водорослей в поверхностном слое воды на плантации понижает и прозрачность воды, которая в летний период составляла 5 м, что на 1 метр меньше, чем на соседних станциях. Но, несмотря на это, воздействие плантации можно считать незначительным.

Работы по изучению воздействия аквахозяйств на морские биоценозы проводились в местах их размещения с 80-х годов прошлого столетия [Галкина и др., 1982; Переладов, 1987; Чивилев, Миничев, 1992 и др.]. Наблюдения за изменениями, происходящими в бентосных сообществах при органическом загрязнении, связанным с марикультурой мидий, и оценку процессов восстановления после снятия нагрузки осуществляли в губах Никольская и Осечкова Кандалакшского залива Белого моря в период с 1990 по 2001 гг. (рисунок 6). Количество органических веществ, производимых искусственными мидиевыми поселениями, и соответственно, поступающих в дальнейшем в окружающие экосистемы, как было показано различными авторами [Максимович и др., 1993; Кулаковский, 2000] напрямую зависит от общей биомассы мидий.

При исследовании воздействия марикультуры мидий на сообщества макрозообентоса в Никольской губе были оценены динамика и объемы поступления взвешенных органических веществ (ВОВ), продуцируемых мидиевыми хозяйствами, в акваторию. Показано, что более 70% ВОВ осаждаются в непосредственной близости от участка марикультуры, где происходит их интенсивная минерализация и частичное захоронение. При благоприятном кислородном режиме реакция макрозообентоса на поступление дополнительных ВОВ выражается в резком увеличении общей биомассы и численности, и преобладании собирающих детритофагов. При поступлении ВОВ в количествах вызывающих дефицит кислорода наблюдается полная элиминация сообщества макрозообентоса, за исключением нескольких видов-оппортунистов. После снятия нагрузки деградировавшие сообщества в течение 2-3 лет восстанавливают основные характеристики (численность, биомассу, видовое разнообразие). Дальнейшее восстановление до первоначального облика происходит значительно медленнее, более 10 лет. Во многом это связано с изменившимися физико-химическими характеристиками донных осадков (гранулометрический состав, содержание органических веществ, наличие свободного кислорода) [Иванов и др., 2005].

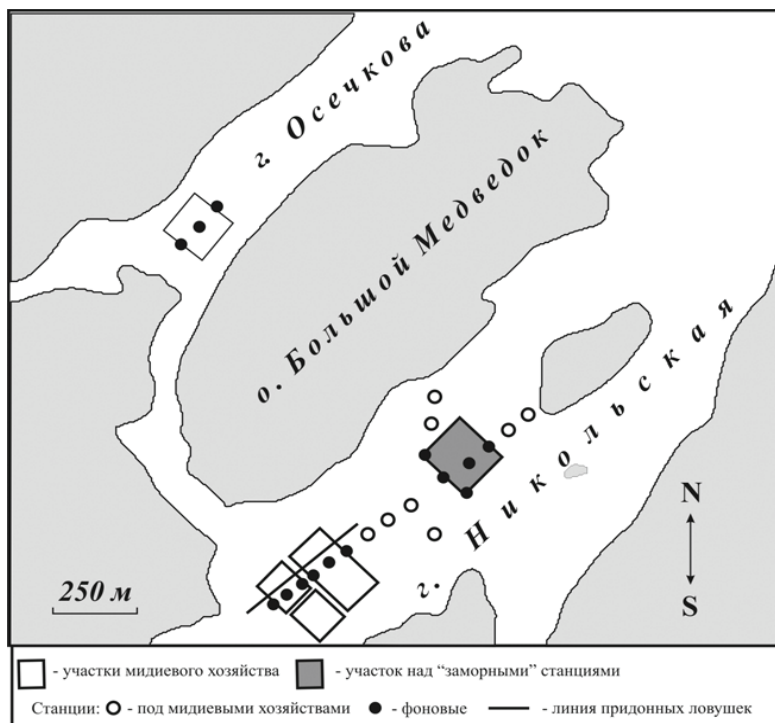


Рис. 6. Карта-схема районов исследований (по Иванов и др., 2005).

Однако по нашим данным, на акватории Соностровской губы за три летних сезона (1988-1990 гг.) заметных изменений гидрохимических факторов не было обнаружено. Стабильность гидрохимических характеристик на акватории Сонострова вероятно связана с тем, что основная масса плотов-коллекторов была выставлена по оси максимальных течений, а так же, возможно, из-за того, что, достигнув определенного состояния, за которым могла последовать деградация экосистемы, коллекторы с мидиями были убраны.

В 1989 г. в Соностровской губе были помещены садки с форелью и семгой. Пока объемы и сроки выращивания были небольшие, заметного влияния на экосистему губы они не оказывали. Но с увеличением количества рыбы в садках и увеличением их массы в июле 1990 г., когда повысилась температура воды и интенсивность продукционно - деструкционных процессов была максимальной, на ст. 1 (в месте размещения садков) количество валового азота и фосфора увеличилось, по сравне-

нию с другими станциями в 2-5 раз (таблица 5), что могло негативно отразиться как на донных биоценозах, так и на всей экосистеме в целом.

Таблица 5

**Содержание валового азота и фосфора в водах губы
Соностровской в июле 1990 г.**

№ ст.	Горизонт м	Биогенные элементы, мкг-ат/л			
		N _{вал.}	N-NO ₃	P _{вал.}	P-PO ₄
1	0	32,0	0,63	0,86	0,16
	5	72,1	0,53	3,10	0,13
2	0	14,1	0,01	0,52	0,06
	5	8,0	0,01	1,20	0,04
	10	19,0	0,01	1,20	0,17
3	0	17,2	0,16	0,98	0,04
	10	13,3	0,38	0,72	0,03
6	0	39,0	0,13	1,34	0,13
	10	13,5	0,30	0,96	0,12
	15	14,2	0,41	0,96	0,21
7	0	28,0	0,16	0,78	0,11
	10	16,3	0,96	0,86	0,13
	25	30,0	4,95	1,78	0,71

В августе 1990 г. повышенные концентрации N_{вал.} и P_{вал.} были обнаружены и на ст. 2. Осенью садки с рыбой были убраны и уже в мае 1991 г. количество N_{вал.} и P_{вал.} не отличалось от такового на других станциях.

Как мы видим, марихозайство является мощным источником органического вещества и не может не влиять на окружающую среду.

Многие биотехнологические операции, выполняемые на аквафермах, однозначно приводят к внесению в водную среду продуктов метаболизма культивируемых гидробионтов (фекалии, псевдофекалии и экскреции), а также остатков несъеденного корма. В целом, реципиентом растворимых отходов акваферм является водная толща, а нерастворимые остатки накапливаются в донных отложениях.

Увеличивающееся поступление растворимых азота и фосфора может привести к гипернитрификации – сверхобогачению биогенными элементами гидроэкосистем, сопряженных с аквафермой. В конечном итоге это вызывает их эвтрофикацию – повышение уровня первичного продуцирования. Имеются случаи «цветения» фитопланктона в местах расположения садковых хозяйств. В местах интенсивной аквакультуры

ного производства азотная и фосфорная нагрузка и накопление органических веществ могут пагубно сказаться на окружающей среде [Neylog и др., 2000; Beveridge, 2004].

Наибольшие количества твердых отходов (преимущественно в виде органического углерода и азота) оседает на дно в непосредственной близости от садков. Перенасыщение бентической экосистемы органическими остатками вызывает резкое возрастание потребления кислорода донными осадками. Как следствие, возможно ускорение процессов реминерализации органического азота, снижение биомассы макробентоса и изменение видового состава донных сообществ. В экстремальных случаях наблюдается формирование под садками безжизненных бескислородных зон, в которых концентрируются двуокись углерода, метан и сероводород.

Имеются указания на обнаруженные локальные эффекты кислородного дефицита в водной толще непосредственно на аквафермах, обусловленного интенсивным дыханием объектов выращивания в садках.

Существенную нагрузку на водные экосистемы оказывают активные химические вещества, вносимые в воду с различными целями в процессе культивирования гидробионтов: медицинские препараты, средства дезинфекции, анестетики, биоциды, гормоны, стимуляторы роста, средства отпугивания хищников и паразитов и др. Опасность в данном случае представляет накопление долгоживущих соединений в тканях культивируемых организмов, их потенциальная токсичность для некультивируемых гидробионтов, а также стимулирование повышения сопротивляемости антибиотикам микробиальных водных сообществ.

Высокая концентрация культивируемых объектов в районах акваферм приводит к резкому повышению угрозы инфекционных и стрессовых заболеваний гидробионтов.

Перечисленные виды негативных воздействий акваферм на сопряженные экосистемы не позволяет рассматривать аквакультуру как «экологически безопасный» или «экологически чистый» вид антропогенной деятельности на морском побережье. Показательны данные, полученные многими авторами для морских садковых хозяйств по выращиванию лососевых. Типичная норвежская ферма с годовой продукцией 200 т лосося и отлаженной системой контроля и технологии питания поставляет в год в окружающую среду порядка 2 т фосфора, 18 т азота и потребляет около 100 т кислорода в виде БПК₅. В шотландских водах ферма, культивирующая 50 т лосося в год с использованием 100 т корма, загрязняет среду, производя 19,4 т органического углерода, 2,2 т органического азота и 4 т растворимых нитратов. По-видимому, до 76% углерода и до

76% азота, скармливаемых лососевым рыбам при их выращивании в садках, поступает в водную среду, где их дальнейшая судьба будет зависеть преимущественно от особенностей гидрологического режима акватории [http://gunstringer.ru/t_akvakultura].

Особенности распределения бентосных сообществ в районе садковых ферм, как правило, таковы. Непосредственно под садками макробентос отсутствует вовсе («абиотическая зона»), В радиусе порядка 30 м от садков бентос представлен «оппортунистическими» видами, толерантными к органическому (нетоксическому) загрязнению («зона оппортунистов»). На Белом море в «зоне оппортунистов» встречается, например, полихета *Capitella capitata*. На удалении от 30 до 100 м композиция бентоса постепенно восстанавливается («зона восстановления»). Аналогичная картина наблюдается в местах сброса стоков из береговых тэнков, предназначенных для культивирования лососевых рыб на берегу.

Очевидно, правильный расчет возможной нагрузки от аквафермы (садка) на прибрежную морскую экосистему является важнейшей задачей. В настоящее время существует много методов количественного описания процессов переноса биогенных загрязняющих элементов [http://gunstringer.ru/t_akvakultura].

Богатый опыт изучения последствий размещения в береговой зоне марихозяйств накоплен в Европейских странах, в частности в Норвегии. Аквакультурное производство в Европе, в основном, осуществляется в сельских местностях с низкой плотностью населения. В этих регионах наблюдается увеличение аквакультурного производства. Хотя снижение кормового коэффициента в значительной степени уменьшило влияние каждого рыбоводного садка на окружающую среду, общая нагрузка органических веществ увеличилась. В результате, Европейская Комиссия издала ряд директив, направленных на снижение негативных влияний аквакультуры. Недавно принятое Распоряжение по водной структуре (Water Framework Directive) также направлено на снижение сброса органики в прибрежные воды, если установлено, что акватории не могут достичь хорошего экологического статуса по причине отходов, попадающих в воду из рыбоводного хозяйства [Садковая аквакультура..., 2010].

Отрицательные последствия, связанные с эвтрофикацией, могут быть ликвидированы. Исследования показывают, что места, в которые попало избыточное количество органического материала и в которых наблюдаются высоко анаэробные донные отложения, могут восстановиться до практически естественного уровня после реабилитационного периода, составляющего 3-5 лет. Длительность реабилитационного периода зависит от местных топографических условий [Holm и Dalen, 2003]. Olsen

и др. [2005] приводят доводы, что органику следует рассматривать как ресурсы, а не как токсины для морских экосистем, где осуществляется аквакультурная деятельность. Также аргументируется, что допустимо использовать механизм размывания дисперсных отходов, поскольку они не содержат токсических компонентов. При скорости течения 15 см/сек. Вода на участке меняется около 100 раз в день. Для поддержания уровня органических и неорганических веществ в толще воды ниже критической нагрузки, обычно, необходимо, чтобы обмен воды осуществлялся 2-3 раза. Хозяйства, располагающиеся в местах с высокой динамикой, будут, как правило, характеризоваться пространственной нагрузкой неорганических веществ, так как естественный фон из года в год меняется. В Норвегии разработана система экологического мониторинга рыбноводных ферм в отношении накопления органических веществ. Система имеет название МОМ - норвежская аббревиатура переводится как Моделирование - Рыбоводное хозяйство - Мониторинг. Эта модель включает программу моделирования и мониторинга.

На местах, где коэффициент использования акватории высокий, необходимо проводить более частные и более всесторонние исследования. При более низких коэффициентах использования требования к исследованиям менее строгие. Новая система моделирования и мониторинга рыбных ферм (МОМ) обеспечила правительству и отрасли хороший базис для подбора оптимальных объемов производства и разгрузки потенциальной емкости экологической системы в каждой отдельной местности [Holm и Dalen, 2003].

Таким образом, интенсификация работ по промышленному культивированию любого объекта требует тщательного исследования различных сторон взаимоотношения массовых, искусственно создаваемых поселений объекта культивирования и окружающей среды. Это вытекает из основного условия марикультуры - её экологической безопасности. Данное положение особенно актуально для Белого моря, принадлежащего к арктическим морям (Бабков и др., 1998). Следовательно, чтобы устранить негативное воздействие марихозяйства на окружающую среду, необходим постоянный контроль над ее состоянием непосредственно на марихозяйстве, а также в близлежащих районах. Одной из мер для уменьшения отрицательного воздействия марихозяйства на экосистему может оказаться использование эффекта поликультуры [Макаров, 1987; Кулаковский, 1990; Рассадина, 1990]. Но этот вопрос на сегодняшний день остается не разработанным.

ГЛАВА 3. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАРИКУЛЬТУРЫ НА БЕЛОМ МОРЕ

История исследований в области марикультуры водорослей, беспозвоночных и рыб в Белом море насчитывает более 30 лет и к настоящему времени уже имеется большой задел в разработке как методических подходов к развитию марикультуры различных гидробионтов, так и биотехнологий их выращивания. СевПИНРО выполнены крупномасштабные комплексные исследования губ Кандалакшского и Онежского заливов Белого моря, располагающих наибольшими площадями акваторий и в той или иной степени соответствующих требованиям марикультуры. Оценены площади акваторий, температурный и ледовый режимы, течения, гидрохимические характеристики, социальная и производственная инфраструктура близлежащих населённых пунктов, коммуникации. В общей сложности обследовано 75000 га акватории Белого моря [Марихозяйства..., 1990; Зеленков, 2005].

В масштабах моря выделен ряд крупных систем губ, обладающих всеми необходимыми условиями для развития марикультуры различных гидробионтов. В Кандалакшском заливе таких систем губ четыре – губа Чупа с Керетским архипелагом, губы Кузокоцкая, Ковда, Лов, Пильская, Падан. В Онежском заливе к наиболее удобным участкам относятся Соловецкие острова, Кемские и Сумские шхеры.

Рассмотрим возможности размещения марихозяйств отдельно по исследованным районам. Одной из особенностей побережья Белого моря является малая степень его обжитости, поэтому размещение хозяйств целесообразно рассматривать на основе выделения более или менее обособленных природно-территориальных комплексов. Так на южном берегу Кольского полуострова расположены губы Лов, Пильская и Падан, которые административно относятся к поселку Умба. Существенно, что здесь же располагаются рыбопроизводный и рыбоперерабатывающий заводы. Несмотря на благоприятные природные условия, эти губы относятся к губам ковшевого типа и разведение гидробионтов в них ограничено необходимостью охраны их донных биоценозов. Но в их устьевых частях возможно размещение садковых модулей и мидиевых марихозяйств (рисунок 7).

Губа Колвица по своим гидролого-гидрохимическим характеристикам пригодна для выращивания водорослей, мидий, рыб (рисунок 8). Однако успешное культивирование водорослей и мидий здесь невоз-

можно без разрешения проблемы защиты носителей от повреждения движущимися льдами. Губа вполне благоприятна для выращивания лососевых рыб. Экологически наиболее целесообразно выращивание в губе различных объектов в поликультуре.

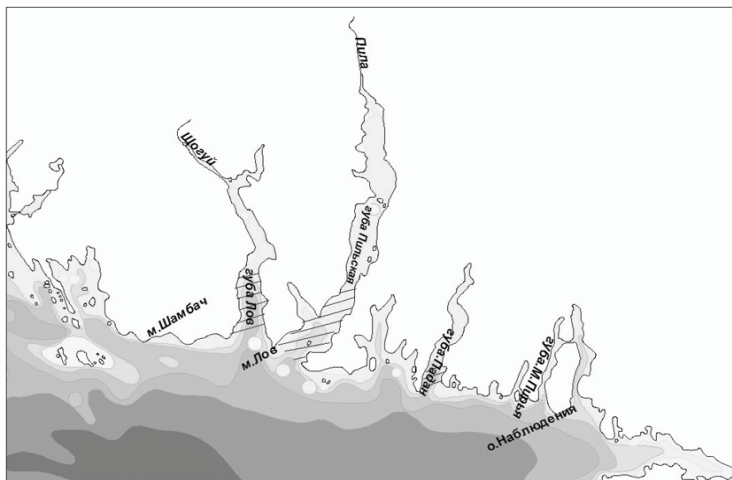


Рис. 7. Схема потенциального размещения марихозыиств разной направленности в губах Лов, Пильская, Падан

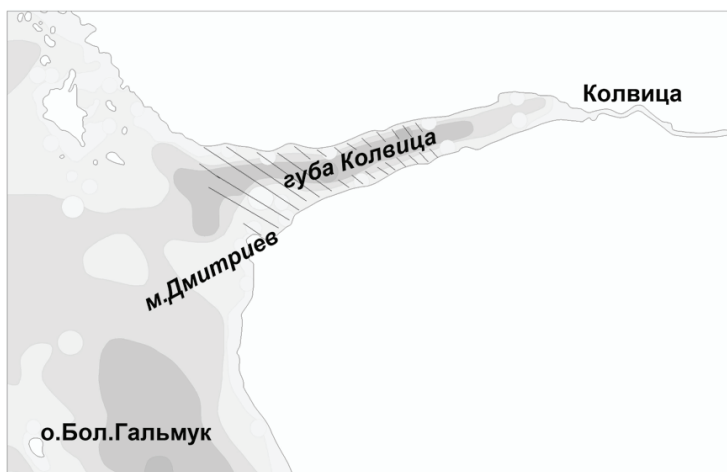


Рис. 8. Схема потенциального размещения марихозыиств разной направленности в губе Колвица

Одной из наиболее удобных районов Белого моря для выращивания рыб является Палкина губа. Практически на всей её акватории с глубинами выше 10 м можно установить садковые модули (рисунок 9).



Рис. 9. Схема потенциального размещения марихозяйств разной направленности в губе Палкина

На Карельском берегу расположены губы с достаточно хорошими условиями для воспроизводства в них лососевых рыб и мидий. Небольшие губы Воронья и Белая с хорошим водообменом, оптимальными скоростями течений, благоприятным температурным режимом очень удобны для выращивания рыб. В трех км от губы Белой находится гб. Княжая. На берегах губы расположены д. Княжая и п. Зеленоборский. Имеется рыбоводный завод, специализирующийся на пастбищном выращивании семги. На побережье губы возможно создание мощностей по производству молоди рыб для морских садковых хозяйств на основе сбросных теплых вод Княжегубской ГЭС. Размещение садков возможно вдоль берегов губы, исключая кутовую часть (рисунок 10).

В губе Ковда имеются хорошие условия для выращивания как лососевых рыб, так и мидий, и водорослей. Особенно благоприятны условия в губе Старцева. На её акватории можно разместить до 20 га ламинариевых или мидийных плантаций. Зоной преимущественного товарного рыбоводства могут быть Ковдинские рейды (рисунок 11).



Рис. 10. Схема потенциального размещения марихозийств разной направленности в губах Вороньей, Белой, Княжой



Рис. 11. Схема потенциального размещения марихозийств разной направленности в губе Ковда

Обширные акватории пригодные для целей марикультуры располагаются в пределах 40 км от устья губы Чупа. Одна из них – Кузокоцкая губа, которая пригодна для выращивания рыб и мидий (рисунок 12). В небольшой Медвежьей губе можно выращивать рыб.

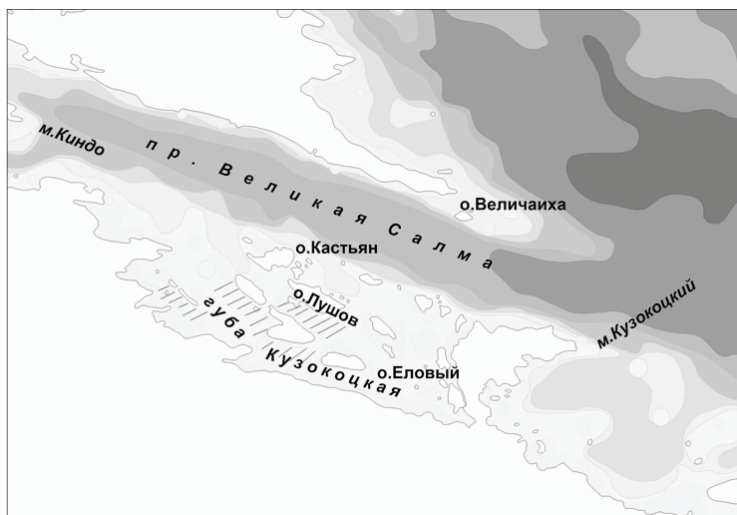


Рис. 12. Схема потенциального размещения марихозияств разной направленности в Кузокоцкой губе

Наиболее удобна для установки мидиевых носителей и садковых комплексов средняя часть губы Чупа – от о. Ярославль до м. Попов Наволок (рисунок 13). Благоприятны для выращивания мидий Никольская и Соностровская губы, в которых уже располагались, а в районе Сонострова до нашего времени функционирует хозяйство по выращиванию мидий. Также перспективны для выращивания мидий проливы Керетского архипелага (рисунок 14).

Кемские шхеры – обширный по площади район, включающий более 80 островов, в котором можно выделить несколько более или менее обособленных групп островов: Кузова, Коловары, Тапаруха – Корожный – Избной и другие. Проливы между островами отличаются высокой гидродинамикой и удобны для выращивания объектов марикультуры, по крайней мере в весенне-осенний период. Кемские шхеры с их стабильной температурой и соленостью, высоким содержанием кислорода могут считаться одними из лучших на Белом море районов для товарного выращивания семги (рисунок 15).

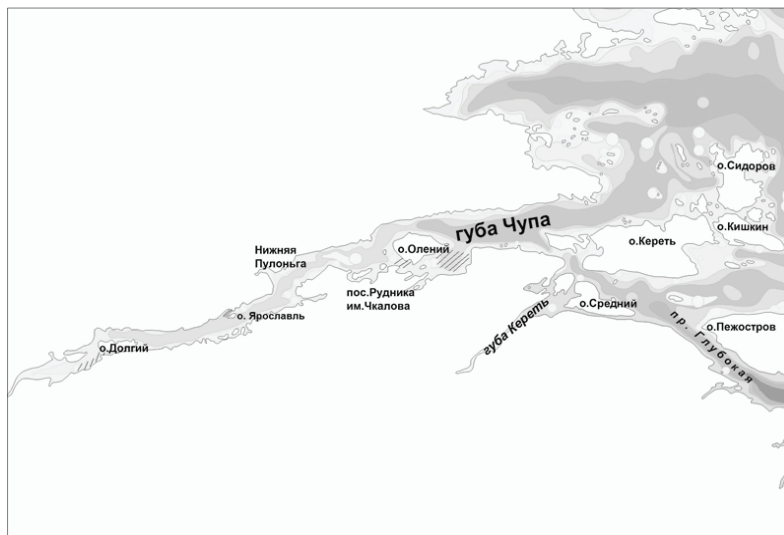


Рис. 13. Схема потенциального размещения марихозийст разной направленности в губе Чупа



Рис. 14. Схема потенциального размещения марихозийст разной направленности в Керетском архипелаге



Рис. 15. Схема потенциального размещения марихозяйств разной направленности в Кемских шхерах.

В районе Соловков в течение ряда лет успешно выращивалась ламинария сахаристая на плантации хребтинного типа. Большими возможностями для выращивания ламинарии обладают акватории островов Жужмуи (Малый и Большой), Боршовцы, о. Жижгин. Лабораторией морских водорослей СевПИПРО разработаны биотехнологии выращивания и рекультивации промысловых видов водорослей (Методические рекомендации..., 2007; Инструкция..., 2007). В Печаковской Салме Большого Соловецкого острова проводились опыты по выращиванию лососевых рыб. Однако, несмотря на благоприятные условия для развития марикультуры, перспективы её должны быть увязаны с интересами историко-архитектурного и природного музея-заповедника.

В губах Бассейна Белого моря – Поньгома и Гридина – вполне возможно выращивание лососевых рыб. Тем более, что в Поньгоме работниками колхоза «Беломорский рыбак» уже проводилось выращивание радужной форели. Но её выращивание столкнулось с рядом организационных трудностей и в настоящее время прекращено.

Губы Поморского берега Онежского залива – Сумская, Колежма – в силу их мелководности и большой распресненности не пригодны для выращивания каких-либо гидробионтов.

Положительные результаты дали опыты выращивания форели и кумжи в различных участках Унской губы Двинского залива Белого моря в 1988, 1992 и 1996 гг. За короткий промежуток времени выход товарной продукции оказался выше, чем при выращивании в других районах Белого моря. По результатам исследований была разработана биотехнология выращивания рыб в данном районе Белого моря, даны рекомендации по размещению марихозийств на акватории губы (рисунок 16).

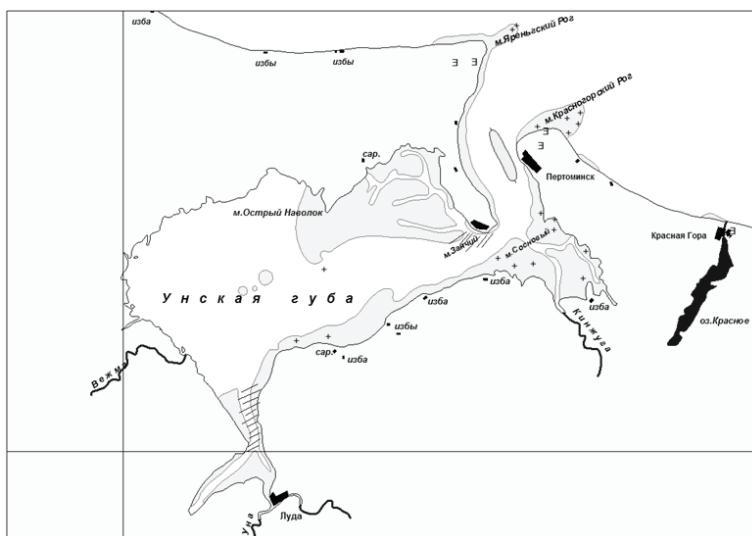


Рис. 16. Схема размещения опытных марихозийств в Унской губе

В целом возможности развития марикультуры в Белом море достаточно велики, чтобы сформировать крупное направление. Закрытые от штормового воздействия губы Кандалакшского залива и шхерные районы в Западной Соловецкой Салме позволяют выращивать здесь без отрицательных последствий для окружающей среды около 18,6 тыс. т рыб, 7,7 тыс. т мидий, как минимум 6,9 тыс. т морских водорослей, причем объемы их выращивания могут сдерживаться только условиями среды [Зеленков, 2005].

По сравнению с другими внутренними морями России, Белое море характеризуется низкими уровнями загрязнения, что дает возможность получать высококачественную продукцию.

К сложностям или ограничениям в освоении региона следует отнести:

- неразвитость производственной базы, социальной инфраструктуры, коммуникаций;
- недостаток рабочей силы;
- недостаток мощностей по выращиванию посадочного материала лососевых рыб для морских садковых хозяйств;
- недостаток мощностей по переработке продукции марикультуры.

Несмотря на это, в настоящее время имеются весьма отчетливые признаки изменения отношения к марикультуре, в том числе и беспозвоночных, и водорослей. Это связано с тем, что стала очевидной ценность продукции из этих объектов, на неё появился и устойчиво растет спрос. Большую роль здесь сыграли разработки институтов рыбной отрасли, других ведомств, которые позволили создать технологии получения широкого ассортимента продукции из морских водорослей и беспозвоночных, других нетрадиционных объектов.

По своим гидролого-гидрохимическим характеристикам почти все исследованные нами прибрежные районы Кандалакшского и Онежского заливов в той или иной степени пригодны для размещения марихозяйств разной направленности.

Особенности прибалтийских территорий, где имеет место очаговый характер размещения производительных сил, слабое развитие транспортной сети и энергоснабжения, вспомогательных и обслуживающих отраслей, производственной и социальной инфраструктуры делают в настоящее время практически недоступными для использования в целях развития марикультуры очень многие районы побережья Белого моря, обладающими для этого благоприятными природными условиями.

Таким образом, развитие различных направлений марикультуры по совокупности природных и социальных факторов, на данном этапе реально лишь в районах Карельского берега, где уже имеются или имелись марихозяйства в губах Палкиной, Княжой, Чупа. Фьордовые губы Кандалакшского берега и мелководные и шхерные районы Онежского залива, обладающие большими потенциальными возможностями, могут быть использованы в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные в 1985-2010 гг. исследования прибрежных районов Белого моря кроме научного имеют и существенное прикладное значение. Эти исследования позволили оценить воздействие марикультуры на водную среду на примере существующих марихозяйств, разработать критерии оценки прибрежных районов с точки зрения размещения в них марихозяйств разной направленности, а также установить районы прибрежной зоны пригодные для размещения марихозяйств.

Особое внимание следует уделить культивированию водорослей в Белом море. Создание опытно-промышленных плантаций по выращиванию сахаристой ламинарии показало, что ламинариевые хозяйства в условиях севера могут быть рентабельными и урожайность составлять до 70 тонн/га. Ни в какой другой стране мира ламинария сахаристая не культивируется, так как все зарубежные водорослеводческие хозяйства располагаются в южных широтах, где эта водоросль не произрастает.

Наиболее благоприятными для организации марихозяйств по выращиванию ламинарии сахаристой являются губы Кандалакшского (Ковда, Кузокоцкая, Медвежья, Никольская, Соностровская Салма) и северная часть Онежского залива (Соловецкие острова, Кемские шхеры).

Одним из наиболее перспективных объектов культивирования на Белом море является двустворчатый моллюск мидия. Именно беломорская мидия обладает уникальным набором микроэлементов и биологически активных веществ, содержит все незаменимые аминокислоты и витамины. В предыдущие годы были разработаны промышленные биотехнологии выращивания мидий, включающие в себя также элементы обслуживания мидиевых плантаций, сбора, переработки и реализации товарной продукции. На опытных плантациях выращивалось за 3-4 летний цикл до 300 тонн мидий товарного размера с 1 га. Карельское побережье Белого моря изобилует многочисленными бухтами, акватории которых пригодны для размещения промышленных мидиевых хозяйств, за исключением губ, подверженных сильному антропогенному воздействию (Кемская, Сорокская), так как мидии являются фильтраторами и выращивание их в загрязненных районах приведет к невозможности их использования в качестве продуктов питания или в медицинских целях.

Суровые природные условия Белого моря исключают возможность крупномасштабного выращивания в морских садках морского лосося-семги, как это делают в согретых атлантическими водами фьордах западного побережья Норвегии. Поэтому основное внимание уделялось разработкам научно обоснованных мер по сохранению и увеличению

природных популяций семги. Предполагается, что реализация этих мер позволит вдвое увеличить численность (и уловы) семги.

Для условий Белого моря созданы технологии и успешно начато выращивание в морских садках из посадочного материала в односезонном цикле радужной и других форелей. Были разработаны проекты создания форелевых ферм с объемами выращивания 5 и 10 тыс. т рыбы в год. По утверждению специалистов, качество мяса форели, выращенной в морской воде, выше, чем в пресной. Были предложены проекты создания маточных стад для получения посадочного материала. Сегодня сохранилось несколько форелевых хозяйств, главным образом, в Кандалакшском заливе. Выращивание лососевых рыб в Белом море возможно практически во всех исследованных районах.

Были разработаны и испытаны эффективные способы размножения беломорской сельди за счет применения искусственных нерестилищ. Выживаемость отложенной там икры оказалась выше, чем на естественных (последние подвергаются осушке и вымораживанию, истиранию движущимися льдами).

Любая плантация марикультуры не является по своим параметрам функционирования нейтральным фактором, а воздействует на экосистему акватории, на которой она расположена. Другое дело, какова направленность этого воздействия. Вполне очевидно, что определяющим здесь является общая биомасса растений или животных на единицу площади акватории. Следовательно, необходим расчет нагрузок на акватории любого хозяйства марикультуры, чтоб найти оптимум, при котором получается товарная продукция в нужном количестве и в то же время не возникает отрицательных последствий для экосистемы. Одним из выходов из этой ситуации могут стать поликультурные хозяйства. Но в любом случае успешное выращивание гидробионтов возможно лишь при условии проведения жесткого мониторинга в системе марихозяйств.

Проведенные исследования в прибрежной зоне Белого моря в целях размещения объектов марикультуры говорят о его огромном экономическом потенциале. Для рационального использования ресурсов Белого моря необходима комплексная долговременная программа, включающая в себя научную и производственную части. Научная часть должна представлять собой не только комплекс исследований по состоянию биосферы этого региона, но и, пожалуй, самое главное, предложить бизнесу и производству инновационные направления использования даров Белого моря. Для реализации этой программы могут быть получены средства из федерального бюджета, а также привлечены средства бюджетов Мурманской, Архангельской областей, Республики Карелия и

инвесторов. Для реализации проекта должен быть создан единый центр, способный взять на себя координацию научных и производственных вопросов, каким был в своё время проект «Белое море».

ЛИТЕРАТУРА

Аквакультура мидии на Белом море /Э.Е. Кулаковский, Б.Л. Кунин, Т.Г. Львова, О.Л. Саранчова, А.И. Бабков //Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. Л., 1983. – С. 56–62.

Алексеев А.П., Бергер В.Я., Никоноров С.И. Перспективные направления развития марикультуры на Белом море. Повышение эффективности использования водных биологических ресурсов. Первая Международная научно-практическая конференция: Материалы конференции. – М.: Изд-во ВНИРО, 2006. – С. 95–98 с.

Алексеев А.П., Бергер В.Я., Никоноров С.И. Марикультура на Белом море: итоги и перспективы. //Рыбное хозяйство. №3, 2007. – С. 84–88.

Алексеев А.П., Никоноров С.И., Бергер В.Я., Алимов А.Ф., Зеленков В.М. Роль и место Белого моря в направлении «Поддержка развития аквакультуры» национального проекта «Развитие АПК» (опыт работ в рамках государственного научно-прикладного проекта «Белое море») //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Материалы X Межд. конф. (г. Архангельск, 18–20 сентября 2007 г.).- Архангельск, 2007. - С. 248–252.

Альтов А.В. Особенности биотехники садкового культивирования радужной форели в прибрежных водах Белого моря / Автореф. дисс.... канд. биол. наук.- Петрозаводск, 2002. – 26 с.

Альтов А.В., Воробьева Н.К., Лазарева М.А. Нельма (*Stenodus Leucichthys Nelma*. Pall.) – перспективный объект в аквакультуре Заполярья //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Материалы. X Межд. конф. (г. Архангельск, 18–20 сентября 2007 г.).- Архангельск, 2007. - С. 258–252.

Бабков А.И., Голиков А.Н. Гидробиокомплексы Белого моря. – Л., 1984. – 103 с.

Бабков А.И., Кулаковский Э.Е., Кунин Б.Л. Гидрологический режим некоторых районов губы Чупа Белого моря в связи с их использованием для марикультуры мидий. //Экологические исследования перспективных объектов марикультуры в Белом море.- Л., 1985.- С. 4–8.

Бабков А.И., Галкина В.Н., Кулаковский Э.Е., Ляхин Ю.И., Башмачников И.Л., Фукс В.Р. Изучение водообмена акваторий размещения промышленных мидиевых хозяйств на Белом море. //Гидрология Белого моря.- С-Пб, 1998.- С. 68–84.

Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования.- СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1, 2. 500 с.

Биологические ресурсы Белого моря: изучение и использование. Исследования фауны морей. Т 69 (77).- СПб: ЗИН РАН. 2012. 377 С.

Бояринов П.М., Петров М.П. Динамика вод Соноостровских проливов

Белого моря в зимний период // Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море.- Л., 1988. – С. 9-21.

Возжинская В.Б. Донные макрофиты Белого моря. – М.: Наука, 1986. – 191 с.

Возжинская В.Б., Блинова Е.И. Морские макрофиты и растительные ресурсы океана // Основы биологической продуктивности океана и ее использование.- М.: Наука, 1971.- С. 137-171.

Воробьева Н.К. Инструкция по товарному выращиванию форели в прибрежных водах Белого моря.- Мурманск: ПИНРО, 2002. 17 с.

Воробьева Н.К., Лазарева М.А. О биккультуре радужной форели и мидии съедобной в прибрежных водах Белого моря // IV Междунар. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера».- Вологда, 2005. Ч. 1. С. 88-90.

Воробьева Н.К., Пестрикова Л.И., Лазарева М.А. Особенности культивирования форели в Мурманской области // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VIII Межд. конф. (г. Беломорск, Р. Карелия, 16-18 апреля 2001 г.).- Архангельск, 2001. - С. 203-205.

Галкина В.Н., Кулаковский Э.Е., Кунин Б.Л. Влияние аквакультуры мидий в Белом море на окружающую среду // Океанология, 1982. Т. 22. № 2. С. 321-324.

Голиков А.Н., Смирнова Н.Ф. Устойчивость некоторых видов брюхоногих и двустворчатых моллюсков губы Чупа (Белое море) к экстремальным воздействиям в связи с проблемой эволюции резистентности. В сб.: Сезонные явления в жизни Белого и Баренцева морей. Исследования фауны морей.- т. XIII (XXI).-1974.-Изд-во “Наука” Л.- 307-319 с.

Душкина Л.А., Зеленков В.М., Иванченко О.Ф., Логинова Г.М. Искусственные нерестилища как способ повышения численности личинок малопозвонковой сельди *Clupea pallasii* Val. (на примере сельди Белого моря) // Труды ПИНРО, 1981. Вып. 45. С. 45-55.

Житный Б.Г. Пути повышения продуктивности Белого моря // Рыбное хозяйство, 2005. № 3. С. 53-56.

Зеленков В.М., Иванченко О.Ф. Основные направления производственных испытаний способов интенсификации воспроизводства беломорской сельди // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.- Кандалакша, 1987. Ч. 2. С. 380-383.

Зеленков В.М. Перспективы развития марикультуры в Белом море и переработка ее продукции // Материалы Второй международной научно-практической конференции «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки» Архангельск 5-7 октября 2005 г. - М.: Изд-во ВНИРО, 2005.- С. 145-148.

Зубченко А.В., Веселов А.Е., Колужный С.М. Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*): проблемы акклиматизации на европейском севере России. Петрозаводск - Мурманск: Фолиум, 2004. 82 с.

Иванов М.В., Чивилев С.М., Банкин Е.П. Режим реабилитации сообщества бентоса в акваториях марикультуры беломорских мидий // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. - Петрозаводск, 2005. - С. 128-132.

Иванченко О.Ф. Искусственное разведение и выращивание беломорской сельди // Биология беломорской сельди. - Л.: ЗИН РАН, 1975. С. 276-293.

Иванченко О.Ф. Основы марикультуры сельди на Белом море. - Л.: Наука, 1983. - С. 118-124.

Иванченко О.Ф., Похилюк В.В. Марикультура беломорской сельди // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. - СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 2. С. 200-206.

Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии сахаристой на установках горизонтального типа в двухлетнем цикле выращивания в Белом море. - Архангельск, 2007. - 59 с.

Коренников С.П. Временная инструкция для заготовителей водорослей: Рукопись, 1992 / СевПИПРО.

Коренников С.П., Каплицин А.Ю. Первые итоги применения изношенных автопокрышек для выращивания ламинарии в Белом море // Искусственные рифы для рыбного хозяйства: Тез. докл. Всес. конф. (г. Москва, 2-4 декабря 1987 г.). - М., 1987. - С. 32-34.

Коренников С.П. Новые подходы к марикультуре ламинарии сахаристой в Белом море // Проблемы изуч., рац. использ. и охраны природ. ресурсов Белого моря: Тез. докл. IV регион. конф. - Архангельск, 1990. - С. 211-213.

Кулаковский Э.Е. Экосистемный подход к проблеме марикультуры мидий на Белом море // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.: Тез. докл. IV регион. конф. - Архангельск, 1990. - С.213-215.

Кулаковский Э.Е. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море. - СПб.: ЗИН РАН, 2000. 168 с.

Кулаковский Э.Е., Житний В.Г., Газдиева С.В. Культивирование мидий на Карельском побережье Белого моря. - Петрозаводск, 2003. - 160 с.

Кулаковский Э.Е., Кунин Б.Л. Теоретические основы культивирования мидий в Белом море. - Л.: Наука, 1983. 36 с.

Кулида С.В., Зеленков В.М., Ермаков С.В., Тимофеев В.И. Выращивание сеголетков форели в солоноватых водах Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VII Межд. конф. (г. Архангельск, сентябрь 1998 г.). - СПб., 1998. - С. 208-210.

Кулида С.В., Зеленков В.М., Тимофеев В.И. Опыт выращивания заводской беломорской кумжи в различных условиях // Проблемы изучения,

рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VIII Межд. конф. (г. Беломорск, р. Карелия, 16-18 апреля 2001 г.).- Архангельск, 2001. – С. 207-209.

Кулида С.В., Зеленков В.М. Результаты подрашивания молоди кумжи в губах Белого моря //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VIII Межд. конф. (г. Беломорск, р. Карелия, 16-18 апреля 2001 г.). – Архангельск, 2001. – С. 209-211.

Лазарева М.А., Альтов А.В. Экологически безопасный способ получения продукции аквакультуры Белого моря //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Материалы. X Межд. конф. (г. Архангельск, 18-20 сентября 2007 г.).- Архангельск, 2007. – С. 269-271.

Луканин В.В., Наумов А.Д., Федяков В.В. Обоснование выбора мест для организации промысла и марикультуры съедобной мидии на Белом море // Биология моря. – 1987. – №3. – С. 22-29.

Луканин В.В., Ошурков В.В., Бергер В.Я. О распределении и запасах мидии в Кандалакшском заливе Белого моря //Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. – Л: ЗИН АН СССР, 1983. – С. 49-55.

Лукин Р. Л. Об интенсификации воспроизводства сельди и организации стационарных комплексных наблюдений в основных районах ее нереста в Белом море // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. – Кандалакша, 1987. Ч. 2. – С. 332-335.

Макаров В.Н. Искусственное разведение ламинарии (отчет о командировке по изучению опыта искусственного разведения ламинарии на р/к “Валентин”) / Макаров В.Н. – Архангельск: СевПИПРО, 1975. – 63 с.

Макаров В.Н. Рост беломорской ламинарии сахаристой в условиях бикультуры – ламинария – мидия //Промысловые водоросли и их использование. – М.: ВНИРО, 1987. – С. 10-15.

Макоедов А. Н. Основы рыбохозяйственной политики России / А. Н. Макоедов, О. Н. Кожемяко.- М.: Национальные рыбные ресурсы, 2007. – 480 с.

Максимович Н.В., Герасимова А.В., Кунина Т.А. Продукционные свойства поселений *Masoma balthica* L. в губе Чупа (Белое море). II. Продукция. //Вестник ЛГУ, 1993. Сер. 3, Вып. 1 (№ 3). – С. 3-11.

Максимович Н.В., Сухотин А.А. Структура и динамика поселений культивируемых мидий в Белом море //Изучение опыта промышленного выращивания мидий в Белом море.- СПб.: Изд. СПбГУ, 2000. Вып. 46. – С. 109-124.

Марихозяйства Кандалакшского залива Белого моря / В.М. Зеленков, А.Л. Сорокин, Л.В. Гнетнева, В.А. Чугайнова, Б.И. Ванюхин, В.Н. Карпюк, В.А. Несветов, И.В. Мискевич. – Мурманск, 1990. – 121 с.

Методические рекомендации по рекультивации разреженных ламинариевых сообществ Белого моря. – Архангельск, 2007. – 40 с.

Методическое руководство по рекультивации морских ландшафтов в прибрежной части Белого моря в Архангельской области и республике Карелия: Рукопись /СевПИНРО; руководитель О.А. Пронина; отв. исполнители Т.А. Михайлова, А.Н. Бреусенко, Н.А. Парухин. – Архангельск, 1998. – 32 с.

Михайлова Т.А. Рекультивация, как способ восстановления и увеличения сырьевой базы ламинариевых водорослей в Белом море //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VII Межд. конф. (г. Архангельск, сентябрь 1998 г.). – СПб., 1998. – С. 221-222.

Михайлова Т.А. Результаты исследований по проблеме рекультивации ламинариевых сообществ Белого моря // Материалы отчетной сессии Северного отделения ПИНРО по итогам научно-исследовательских работ 2001-2002 гг. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – С. 311-325.

Михайлова Т.А. Методические рекомендации по рекультивации разреженных ламинариевых сообществ Белого моря.- Архангельск, 2007. – 40 с.

Моллюски Белого моря. / Определители по фауне СССР/. – Л.: Наука, 1987. – 324 с.

Новиков Г.Г. О направлениях работ Беломорской биологической станции //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VII Межд. конф. (г. Архангельск, сентябрь 1998 г.). – СПб., 1998. – С. 271-275.

Переладов М.В. Динамика формирования биоценозов моллюсков в районе размещения мидийного хозяйства. //Моллюски. Результаты и перспективы их исследований. – Л., 1987. – С. 423-425.

Похилюк В.В. Опытное выращивание горбуши в Белом море //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. VIII Межд. конф. (г. Беломорск, Карелия, 16-18 апреля 2001 г.). – Архангельск, 2001. – С. 214-215.

Пронина О.А., Ковальчук Н.А. Возможность мелиорации зарослей *Laminaria* в местах ее промысла на Белом море //Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского севера: Тез. докл. Межд. конф. (г. Петрозаводск, 19-23 ноября 1995 г.). – Петрозаводск, 1995. – С. 109-110.

Рассадина И.И. Проблемы повышения экономической эффективности хозяйств марикультуры. //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.: Тез. докл. IV рег. конф. – Архангельск, 1990. – С. 220-221.

Результаты изучения процессов восстановления ламинариевых водорослей на искусственных субстратах: Отчет о НИР /СевПИНРО; руководитель О.А. Пронина. – Архангельск, 1994. – 40 с.

Садковая аквакультура. Региональные обзоры и всемирное обозрение. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству 498.- Рим, 2010. – 274 с.

Силкин В.А., Хайлов К.М. Биоэкологические механизмы управления в аквакультуре.- Л.: Наука, 1988. 230 с.

Хлебович В.В. Выживаемость беломорской мидии в условиях длительно-го опреснения и высыхания. В сб.: Моллюски и их роль в экосистемах.- М.-Л., 1968. - 45-46 с.

Чивилев С.М., Миничев Ю.С. Влияние навесного мидиевого хозяйства на бентосное сообщество. //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.: Тез. докл. V регион. конф.- Петрозаводск, 1992. – С. 49-50.

Чугайнова В.А. Результаты мониторинговых наблюдений в районе размещения плантации по выращиванию водорослей в Белом море. //Материалы 2-ой международной конференции «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». – М.: Изд-во: ВНИРО. – 2005. – С.169-172.

Чугайнова В.А., Коренников С.П. Экологические условия марикультуры беломорской ламинарии сахаристой //Гидробиологический журнал, т. 31, №1, 1995. – С 57-61.

Экология и перспективы культивирования мидии в Белом море /В.Я. Бергер, Э.Е. Кулаковский, Б.Л. Кунин, В.В. Луканин, В.В.Ошурков. //Исследования мидии Белого моря.- Л.- 1985.- С. 98-114.

Яковенко М.Я. Горбуша как объект рыболовства в беломорском бассейне //Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря.- СПб.: ЗИН РАН, 1995. С. 35-38.

Beveridge, M. 2004. Cage Aquaculture. Third Edition. Blackwell Publishing. London. 376 pp.

FAO year book. Fishery statistics. Aquaculture production/Annuaire FAO. – 2002. – Vol. 90/2. –178 pp.

Holm, M. и Dalen, M. 2003. The environmental status of Norwegian aquaculture. Bellona Report No. 7, Осло, PDC Tangen. 89 pp.

Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H. и Troell, M. 2000. Effect of aquaculture on the world fish supplies. Nature 405: 1017-1023.

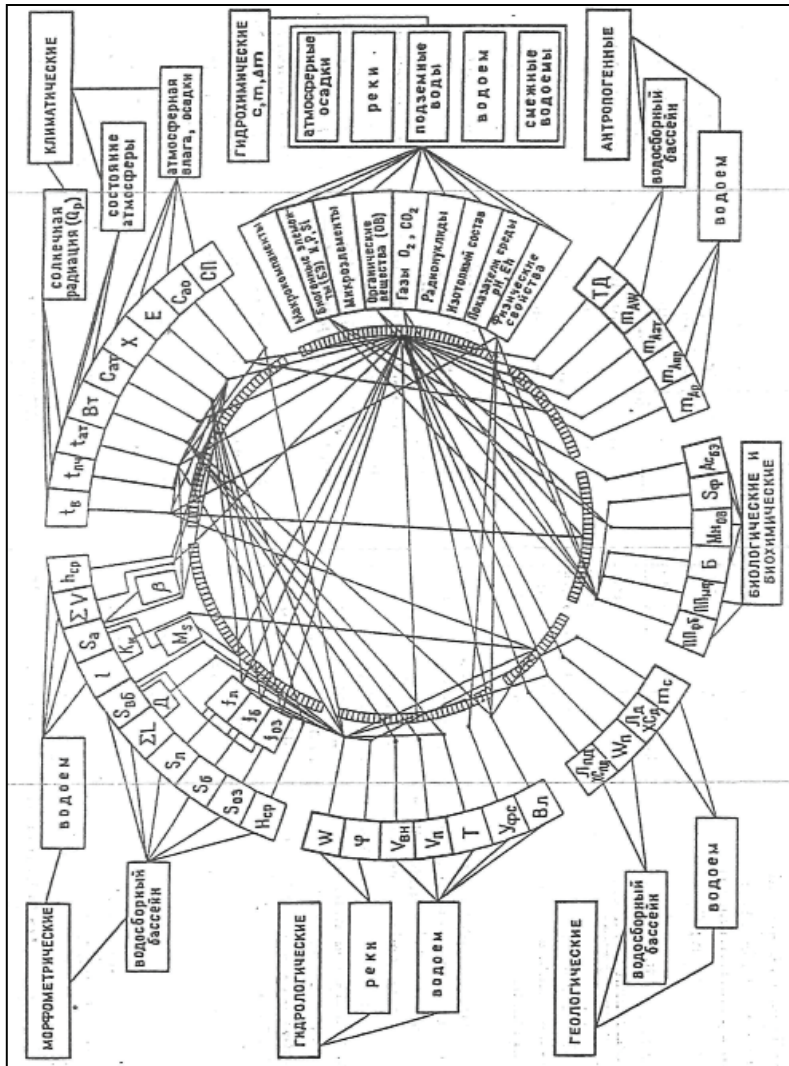
Olsen, Y., Slagstad, D. и Vadstein, O. 2005. Assimilative carrying capacity: contribution and impacts on the pelagic system. В В. Howell и R. Flos, (ред.). Lessons from the past to optimise the future, сс. 50-52. Oostende, Бельгия, Европейское общество аквакультуры (EAS), Special Publication No. 35.

Report of the Working Group on “Environmental Interaction of Mariculture”, 1997 // ICES, Weymoth, UK, 35 p.

http://gunstringer.ru/t_akvakultura

ПРИЛОЖЕНИЕ

Схема взаимосвязей факторов и параметров, влияющих на функционирование экосистем водоемов



¹ Ссылки на схему обязательны: Максимова М.П. Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – № 3. 2013. С. 118–128.

Условные обозначения:

1. Морфометрические характеристики

- 1.1. Площадь водосборного бассейна $S_{вб}$ (км^2).
- 1.2. Средняя высота водосбора $H_{ср}$ (м).
- 1.3. Коэффициенты лесистости $f_{л}$, заболоченности $f_{б}$, озерности $f_{оз}$, равные отношению площадей лесов $S_{л}$ болот $S_{б}$ и озер $S_{оз}$ к $S_{вб}$.
- 1.4. Густота речной сети $D = \sum L / S_{вб}$ (м^{-1}).
- 1.5. Площадь акватории $S_{вз}$ (км^2).
- 1.6. Извилистость береговой линии $K_{и} = l / (2\pi S_{а})^{0.5}$, где l – длина береговой линии (км) к длине окружности круга, имеющего площадь, равную $S_{в}$.
- 1.7. Объем водной массы водоема $\sum V$ (км^3).
- 1.8. Средняя глубина водоема $h_{ср}$ (м) и батиметрическая кривая.
- 1.9. Показатель удельной поверхности водоема $\beta = S_{в} / \sum V$ (км^{-1}).
- 1.10. Удельный водосбор (фактор окружения среды) $M_{с} = S_{а} / S_{вз}$.

2. Климатические характеристики

- 2.1. Количество атмосферных осадков на водосборе X (мм).
- 2.2. Испарение E (мм).
- 2.3. Химический состав атмосферных осадков $C_{ао}$, воздуха $C_{ат}$.
- 2.4. Температурный режим атмосферы $t_{ат}$, почв – $t_{пч}$ и поверхностных вод $t_{в}$.
- 2.5. Состояние и продолжительность снежного покрова (СП).
- 2.6. Скорость и направление ветра (Вт)
- 2.7. Количество солнечной радиации ($Q_{р}$).

3. Гидрологические характеристики

- 3.1. Объем речного стока в водоем за год ΔW ($\text{км}^3/\text{год}$).
- 3.2. Норма стока W_0 – среднее значение за многолетний период
- 3.3. Модульный коэффициент $k = W_i / W_0$
- 3.4. Степень зарегулированности речного стока f .
- 3.5. Поступление воды из смежного водоема с компенсационным течением $V_{вн}$ (км^3).
- 3.6. Вынос воды в смежный водоем со стоковым течением V , (км^3).
- 3.7. Коэффициент водообмена со смежными морями:
 $\alpha_{в} = \Delta V / \sum V$ (год^{-1}), где ΔV ($\text{км}^3/\text{год}$) – объем воды, поступающий в водоем за год
- 3.8. Показатель условного водообмена $K_{в} = V_{вн} / \sum V$ (год^{-1}), где $V_{вн}$ – объем стока из водоема за год. Обратное соотношение $\sum \Delta / V_{вн}$ – период водообмена.
- 3.9. Структура и скорость течений T м /сек.

3.10. Устойчивость вод фотического слоя (Y_{ϕ}) – функция от градиентов плотности

3.11. Волнение моря (Вл) в баллах

3.12. Объем подземного стока в водоем за год $\Delta W_{\text{п}}$ (км³/год).

4. Гидрохимические характеристики

4.1. Концентрация компонентов в воде C (мг/л; мкг/л).

4.2. Суммарная масса компонентов в водоеме m (т).

4.3. Приход / расход компонентов Δ (т/год).

Группы компонентов: макрокомпоненты; биогенные элементы (БЭ): валовые БЭ_в, растворенные БЭ_р, взвешенные БЭ_{вз}, минеральные и органические; микроэлементы, в том числе тяжелые металлы; органические вещества ОВ. аллохтонные ОВ_{ал}, автохтонные ОВ_{ав}. суммарная характеристика $C_{\text{орг}}$, функциональные и групповые характеристики, индивидуальные вещества; растворенные газы, радиоактивные элементы естественные и техногенные, изотопный состав, рН, Eh, свободные радикалы.

4.4. Физические характеристики: температура, цветность, мутность, коэффициент светопоглощения, плотность, электропроводность и др.

5. Геологические характеристики

5.1. Литолого-петрографический (ЛП_{пл}) и химический (ХП_{пл}) состав пород и почв водосборного бассейна.

5.2. Подземный сток $W_{\text{п}}$ (км³) в реки и моря.

5.3. Химический состав подземных вод, разгружающихся непосредственно в моря ($X_{\text{пв}}$)

5.4. Литология ($L_{\text{д}}$) и химический состав ($X_{\text{д}}$) донных отложений.

6. Биологические и биохимические характеристики

6.1. Первичная продукция фитопланктона (ПП_ф) мг $C_{\text{орг}}$ /м² в год. Или мг $C_{\text{орг}}$ /м³ в год. Или тонн/м² в год.

6.2. Первичная продукция макрофитов (ПП_{мф}) (в тех же единицах).

6.3. Бактериальная первичная продукция (ПП_б).

6.4. Биомасса (Б) в единице объема воды, или на единицу площади, или в водоеме в целом.

6.5. Ассимиляция биогенных элементов фитопланктоном ($AC_{\text{бс}}$) в день или год.

6.6. Минерализация (бактериальная деструкция) органического вещества ($MN_{\text{ов}}$) тонн в год.

6.7. Площадь совокупной поверхности фитопланктона $S_{\text{ф}}$ км².

7. Антропологические характеристики

7.1. Техногенное геохимическое давление ТД – количество вещества,

выводящегося из техногенных потоков в природные в пределах водосборного бассейна.

- 7.2. Антропогенный химический сток $m_{ав}$ (тонн в год) — количество вещества антропогенного генезиса, поступающее в водоем с речным стоком.
- 7.3. Атмосферное (воздушное) загрязнение акватории $m_{ат}$ — количество вещества антропогенного генезиса, поступающее непосредственно на акваторию из атмосферы.
- 7.4. Загрязнение акватории $m_{Апр}$ — антропогенного генезиса, поступающее непосредственно в водоем с сточными водами при разработке морских месторождений полезных ископаемых, при захоронении отходов в моря и т.д.
- 7.5. Органическое вещество, изымающееся морским промыслом рыбы и другие организмы $m_{Ар}$ (тонн в год).

Научное издание

Мира Петровна Максимова,
Валентина Анатольевна Чугайнова

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ
И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ.
МАРИКУЛЬТУРА

Монография

Корректурa авторская

Подписано в печать: 17.03.2014 г.
Бумага офсетная. Гарнитура «NewtonС».
Печать офсетная. Формат бумаги 60/84^{1/16}.
Усл. п.л. 12,5, уч.-изд. 17.
Тираж 1000 экз. Заказ № 26.

Изготовлено в ИИУ МГОУ.
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10-а.