

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра океанологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

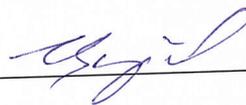
На тему: «Изменение температуры и солёности вод Кольского залива в
суточном и годовом приливно отливном цикле»

Исполнитель: Голдин Сергей Валентинович

Руководитель: к.б.н. Зуев Юрий Алексеевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой океанологии _____



«__» _____ 2016 г.

Санкт-Петербург

2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра океанологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

На тему: «Изменение температуры и солёности вод Кольского залива в
суточном и годовом приливно отливном цикле»

Исполнитель: Голдин Сергей Валентинович

Руководитель: к.б.н. Зуев Юрий Алексеевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой океанологии _____

«__» _____ 2016 г.

Санкт-Петербург

2016

Оглавление

Введение.....	3
Актуальность	3
Изученность вопроса	3
1. Физико-географическая характеристика Кольского залива.....	7
1.1 Описание района.....	7
1.2 Климатические условия	9
1.3 Температура воздуха	10
1.3.1 Ветер	11
1.3.2 Осадки	11
1.3.3 Современные изменения климата в районе Кольского залива	12
1.4 Гидрологические условия.....	14
1.4.1 Пресноводный баланс и речной сток.	14
1.4.2 Стратификация вод Кольского залива.	16
1.4.3 Температура воды.	29
1.4.4 Соленость	31
1.4.5 Плотность и устойчивость вод.....	32
1.4.6 Динамика вод.....	33
1.4.7 Прозрачность воды.....	34
1.4.8 Уровень моря	34
2. Материалы и методы	35
2.1 Район и сроки проведения исследований	35
2.2 Оценка гидрологических параметров среды.	37
2.3 Статистическая обработка данных.	39
3. Гидрологические условия прибрежных мелководий Кольского залива.....	40
3.1 Температура воды.....	40
3.2 Соленость	52
Заключение	59
Основные выводы	61
Литература	63

Введение

Актуальность

Кольский залив является крупнейшим заливом российской территории Баренцева моря, в прибрежной зоне которого расположены крупные города (Мурманск, Североморск, Полярный), обладающие портовыми зонами. Прибрежные мелководья Кольского залива сложно изучать стандартными океанологическими методами, поскольку большие суда сложно использовать на малых глубинах. Многие районы труднодоступны с берега из-за сложного рельефа залива фиордового типа. На данный момент акватория Кольского залива, особенно его прибрежная часть, активно используется населением (рыболовство, аквакультура, инфраструктура большого прибрежного города и пр.). Все эти факторы обуславливают актуальность исследования прибрежных мелководий. Исследование прибрежных мелководий включает в себя исследование биоты и абиотических компонентов окружающей среды. Важнейшими факторами обитания всего комплекса прибрежной жизни, является термохалинная структура Кольского залива. Кроме того г. Мурманск это крупнейший незамерзающий порт Севера европейской части России. Гидрологическая характеристика и, как следствие, ледовая обстановка, даже на прибрежных мелководьях, может оказывать значительное влияние на навигацию в Кольском заливе.

Данная работа направлена на восполнение недостающих знаний о термохалинной структуре вод прибрежных мелководий Кольского залива.

Изученность вопроса

В начале XVI века русские поморы освоили лов рыбы в районе Мурманского побережья. Это было крупным достижением в развитии и освоении Севера. Часто сюда приходили на рыбный промысел и норвежцы. Кольский залив - крупнейший залив фиордового типа - использовался ими и

как место для стоянок и как место, удобное для прибрежного рыболовства. Рыболовство в прибрежной зоне во многом зависело от сезонных и приливо-отливных циклов.

Первые сведения о заливе принадлежат перу путешественника Н. Озерецковского, исследователя Кольского полуострова в 1771-1772 гг. В книге, посвященной природе и населению российских северных окраин, он описал морской промысел в Кольском заливе [31]. Первые научные работы в Кольском заливе начались с гидрографического описания, выполненного Ф.П. Литке в 1823–1824 гг. [29].

В 1898 г под управлением Книповича состоялась первая научно-промысловая экспедиция, посвящённая изучению совокупности физико-географических условий обитания промысловых видов рыб [26].

В начале двадцатого века в связи с переносом Мурманской биологической станции Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей с Соловецкого архипелага Белого моря в Екатерининскую гавань Кольского залива начинаются регулярные гидрографические и фаунистические исследования. За время существования МБС был проведен обширный комплекс гидрологических исследований, а также проведено изучение климата и фауны Кольского залива.

В 1903–1911 годах К.М. Дерюгиным была проведена первая бентосная съемка залива, целью которой было описание распределения донных сообществ и структуры фауны залива. Монография «Фауна Кольского залива и условия ее существования» [16] и в наше время не утратила актуальности. В ней дано детальное описание среды обитания донных беспозвоночных.

В 1979 году было проведено обследование центральной части Кольского залива Полярным научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии им. К.М. Дерюгина. В сетку выполненных станций были включены участки, исследованные в начале века К.М. Дерюгиным.

В 1980-90 гг. объем наблюдений был сильно сокращен из-за неблагоприятной экономической обстановки в стране.

В последние годы, расположенные в г. Мурманске крупные научно-исследовательские институты ММБИ РАН и ПИНРО, а также отделения РосГидромета продолжают ежегодные мониторинговые исследования в Кольском заливе, по результатам которых периодически публикуются ежегодники и монографии [27,28].

Существует огромное количество океанологических исследований включающих изменения температуры и солености в приливном цикле в заливах всего мира [6, 3]. Конечной целью таких исследований может быть последующее строительство гидротехнических сооружений [8]. Однако наибольшее количество таких исследований проводилось с целью оценки влияния изменяющихся факторов среды на гидробионтов или гидробиологические процессы [2, 5, 4].

Цель и задачи исследования.

Цель данной работы заключается в описании диапазона изменений, сезонного и суточного хода температуры и солености воды и выявлении экстремумов этих значений в верхней части сублиторали Кольского залива.

В задачи работы входило:

1. описать диапазон сезонной динамики температуры и солености верхней сублиторали Кольского залива;
2. исследовать диапазон динамики температуры и солености воды верхней сублиторали Кольского залива в течение приливо-отливного цикла;
3. выявить экстремумы абиотических условий влияющих на гидробионтов верхней сублиторали Кольского залива.

1. Физико-географическая характеристика Кольского залива

1.1 Описание района

Кольский залив расположен на 69° с.ш. и 33° в.д. на юге Баренцева моря. Это крупнейший залив фьордового типа на российском побережье Баренцева моря. Побережье Кольского залива является районом размещения крупнейшего в регионе порта, административного, делового и научного центра. Этот район обладает уникальными климатическими и гидрологическими условиями, богатой историей политического и хозяйственного развития Европейского Севера.

Береговая линия залива, главным образом, ее южная часть, подверглась значительному изменению в результате хозяйственного освоения, в том числе дноуглубительных работ, сооружения причальных линий, прокладки подводных коммуникаций.

По морфометрическим параметрам в акватории залива выделяют три части: северное, среднее и южное колена (рис. 1.1). Это подразделение широко используется в научной и практической деятельности, но не утверждено в географической номенклатуре. Со стороны Баренцева моря границей Кольского залива является линия, соединяющая северную оконечность острова Торос и мыса Летинский. Северное и среднее колена отделены друг от друга границей, проходящей от мыса Лас до мыса Чирковый, среднее и южное – от мыса Мишуков до мыса Пинагорий (см. рис. 1.1). Южная оконечность залива (Кольская узость) – это место впадения в залив реки Тулома, где ее русло сужается примерно до ста метров. Узость расположена в координатах: $68^{\circ} 52.9'$ с.ш., $33^{\circ} 00.6'$ в.д. Устьевой участок реки Тулома от плотины Нижне-Тулумской гидроэлектростанции до Кольской узости, протяженностью 11 км, нередко рассматривают в качестве продолжения Кольского залива, поскольку он имеет

ряд особенностей (приливно-отливные колебания уровня проникновения морских вод, наличие осушек).

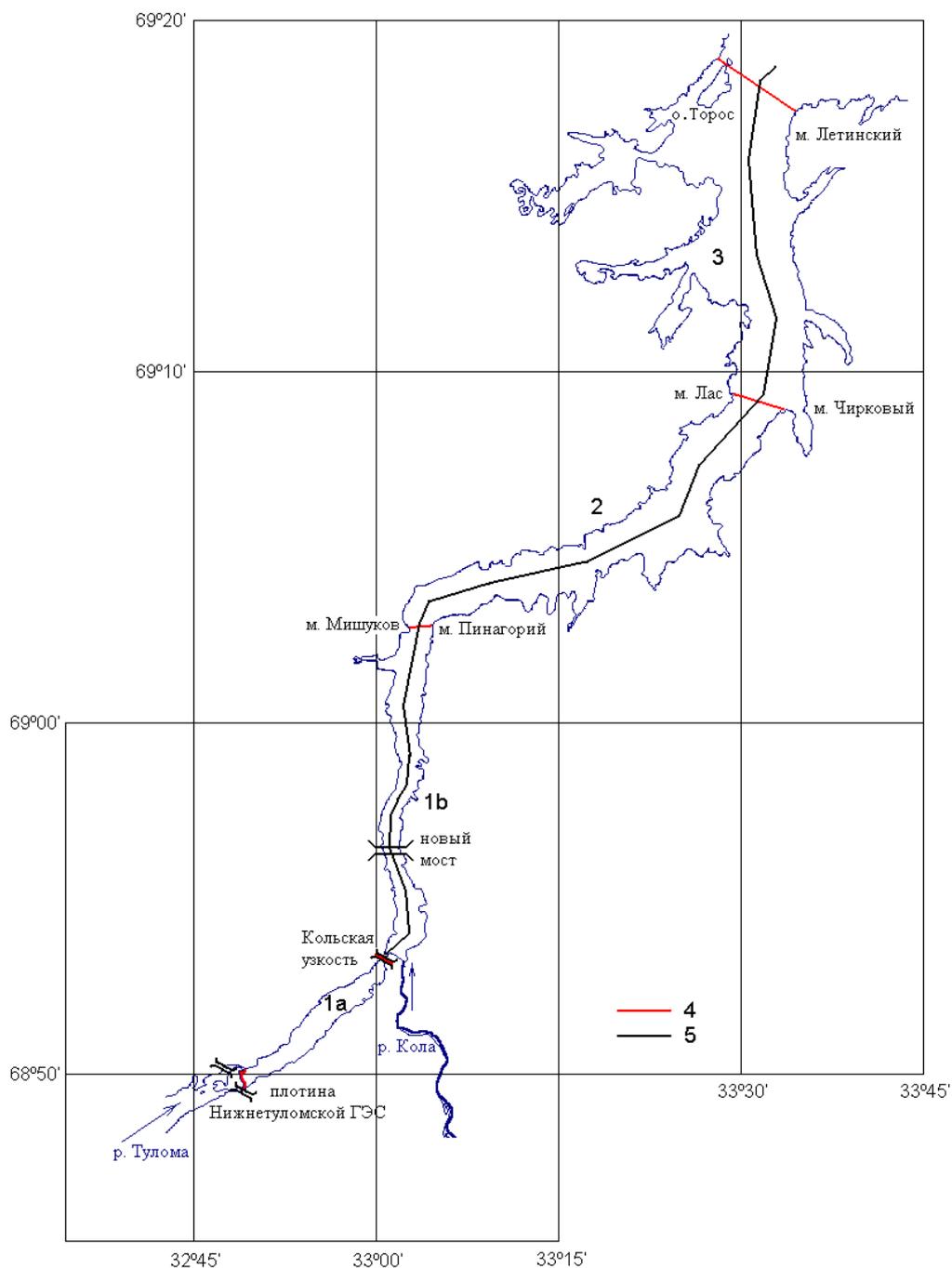


Рисунок 1.1 – Карта-схема Кольского залива [из: 20].

Устьевая часть реки Тулома (1а), южное колено Кольского залива (1b), среднее колено Кольского залива (2), северное колено Кольского залива (3), границы частей залива (4), средняя линия залива (5).

Длина залива по створам - 58,7 км, по прямой - 51,0 км (см. рис. 1.1). Ширина Кольского залива без учета ответвлений увеличивается от 1,0–1,5 км в южном колене до 1,5–2,5 км в среднем и 3,0–3,5 км в северном колене. В северном и среднем коленах приливные колебания уровня воды не значительно влияют на ширину залива (кроме ряда губ). В южном колене Кольского залива в месте впадения рек Тулома и Кола, осушные зоны становятся важнейшей морфометрической особенностью. Площадь осушки у восточного берега в куту залива (не считая речной участок) превышает 2 км², всего же на осушные зоны приходится 16 км² или 8% от всей площади залива. Размеры водного зеркала при отливе уменьшаются в вершине залива до 200–300 м [20].

Глубина залива постепенно уменьшается по направлению от устья к вершине. Однако, напротив входа в Сайда губу находится подводный порог с минимальной глубиной 104 метра, замыкающий с севера котловину с глубинами свыше 300 метров, который нарушает данную закономерность. Максимальная глубина в пределах залива составляет 321 м и имеет координаты 69°15.2' с.ш., 33°32' в.д. Похожие подводные пороги отмечены и для ряда других боковых губ – например, губ Средняя и Оленья. В куту залива так же присутствует ряд понижений с глубинами до 40–50 метров [20]. Объем воды и площадь поверхности являются основными морфометрическим параметрами акватории. Средний объем воды Кольского залива (учитывая изменения в приливном цикле) составляет: в северном колене – 10,957 км³, в среднем – 4,527 км³, в южном колене – 0,325 км³; максимальный объем – 11,155 км³, 4,578 км³ и 0,372 км³, соответственно [20].

1.2 Климатические условия

Контрасты физических условий между открытой водой и примыкающей сушей определяют климат в районе Кольского залива. Значительное влияние на метеорологические условия оказывает водная масса залива, главным образом, в северном колене. Резкое усиление континентальности климата по мере

продвижения от побережья Баренцева моря является основной климатической особенностью северо-западной части Кольского полуострова, что проявляется в усилении градиентов основных климатических параметров. Современные климатические наблюдения в районе Кольского залива осуществляются двумя береговыми гидрометеорологическими станциями, из которых гидрометеорологическая станция «Мурманск» проводит наблюдения в районе южного колена, а гидрометеорологическая станция «Полярное» – в северном и среднем коленах залива. Еще одна гидрометеорологическая станция «Кола» на протяжении более, чем ста лет проводила исследования в вершине залива, но была закрыта в 1974 г. На этой станции был сделан длинный ряд наблюдений с возможностью учета микроклиматических различий на самом важном в экологическом отношении участке побережья Кольского залива [20].

1.3 Температура воздуха

Максимальная температура воздуха над Баренцевым морем наблюдается в августе, минимальная – в феврале, годовые изменения температуры воздуха являются типично морскими. Эта закономерность не выполняется в куту Кольского залива, хотя и здесь значительно выражен характерный для морского климата контраст между теплой осенью и холодной весной. В Мурманске средняя температура октября – положительна, апреля отрицательна, весной переход среднесуточной температуры через ноль обычно приходится на 26 апреля, осенью – на 20 октября [19].

Как и везде в высоких широтах, изменения температуры воздуха в течение суток полностью отсутствует в течение полярной ночи (с декабря по январь), осенью крайне незначителен, в среднем $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ноябре, $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в октябре, и максимален в летние месяцы июнь $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, июль $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, август $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [34].

1.3.1 Ветер

Атмосферная циркуляция над Западной Арктикой, а также местные факторы формируют образование ветров над Кольским заливом [19]. Сила и направление ветра над Кольским заливом являются наиболее непостоянными метеоэлементами. На них оказывают влияние особенности рельефа, морфометрии берега и городской застройки, положение над уровнем моря, присутствие открытой воды. Например, в городе Кола в среднем 5 дней в году скорость ветра превышает 15 м/сек, тогда как в городах Мурманск и Полярный – свыше 30 дней [34].

В холодное полугодие (с октября по апрель) в пределах Кольского залива преобладают южные и юго-западные ветры. В теплые сезоны преобладают ветры северного и северо-восточного направлений, на них приходится до 50% повторяемости.

1.3.2 Осадки

Интенсивность распреснения вод Кольского залива весной главным образом определяется количеством осадков. Снеговое питание составляет основную часть пресноводного стока в Кольский залив. На прибрежных мелководьях существенный вклад оказывает непосредственно склоновый сток. Среднегодовой суммарный слой осадков на Кольском заливе примерно равен 500 мм. Максимум осадков наблюдается в августе - свыше 60 мм, минимум с февраля по апрель - 23–27 мм. Значительная изменчивость свойственна среднемесячным суммам осадков: летние максимумы равны 160 мм, зимние – 120 мм, минимальные среднемесячные суммы осадков в летний и зимний периоды могут составить всего 3–5 мм, месяцы без осадков в городах Мурманск и Полярный отсутствовали [19].

1.3.3 Современные изменения климата в районе Кольского залива

Со второй половины двадцатого века наблюдается статистически значимое увеличение средней глобальной температуры воздуха. Этот подъем оценивается в $0,6 \pm 0,2$ °C [32]. Мурманским управлением гидрометслужбы в 2001 г. была проведена оценка изменений среднегодовой температуры воздуха на одиннадцати станциях Кольского полуострова в XX веке в целом, и отдельно с 1960 по 1999 г. [12]. Было показано, что за десять лет линейное увеличение температуры на территории Кольского полуострова составило $0,08 - 0,34$ °C (в Мурманске – $0,08$ °C) и это значение не постоянно в течение всего времени наблюдений [15].

Анциферовой А.Р. и Давыдовым А.А. [12] были изучены изменения количества осадков и температуры, которые произошли с 1936 г. по 2005 г. на акватории и в прибрежной части залива. По результатам авторами были сделаны следующие выводы:

- 1) в последние десятилетия с 1981 по 2005 годы скорость изменения среднегодовой температуры увеличилась и составляет $0,52$ °C/год;
- 2) наиболее стабильное увеличение отмечено для средней температуры осеннего и зимнего сезонов;
- 3) линейная зависимость за период с 1936 г. по 2005 г. близка к нулю ($0,02$ °C/год).

Экспедицией под руководством Книповича Н.М. в 1900 г. были произведены первоначальные наблюдения на разрезе «Кольский меридиан» [26]. Материалы с разреза «Кольский меридиан» представляют собой одну из самых продолжительных серий океанографических наблюдений в мире. В 2009 году закончился ряд наблюдений, продолжавшийся 110 лет. Первая станция этого разреза находится в непосредственной близости от северной границы Кольского залива. А.Л. Карсаковым [25] был проанализирован накопленный

110-летний ряд океанографических наблюдений на Кольском разрезе. По классификации В.В. Терещенко [36], ежегодное тепловое состояние вод на каждой из станций разреза было оценено по пятибалльной шкале: anomalно холодный, холодный, нормальный, теплый и anomalно теплый годы. Первая станция «Кольского мередиана», которая находится в зоне влияния Нордкапского течения, адекватно отображает гидрологические процессы, происходящие в Кольском заливе (рис. 1.2). Для начала двадцатого века отрицательные температурные anomalии были характерны в южной части Баренцева моря, расположенной непосредственно на входе в Кольский залив. В этот же период отмечены минимальные температуры воды на южной станции Кольского разреза (см. рис. 1.2). Кроме того, этот период приходится на время регистрации в Кольском заливе максимума арктических видов [16]. По мнению некоторых авторов, anomalно холодный период длился до 1918 года [13]. С 1919 по 1925 годы наблюдался переходный период от холода к стабильному потеплению. В это время Танасийчук Н.П. [35] отмечал широкое распространение в Кольском заливе бореальных видов. Это потепление длилось почти до середины 60-х годов двадцатого века.

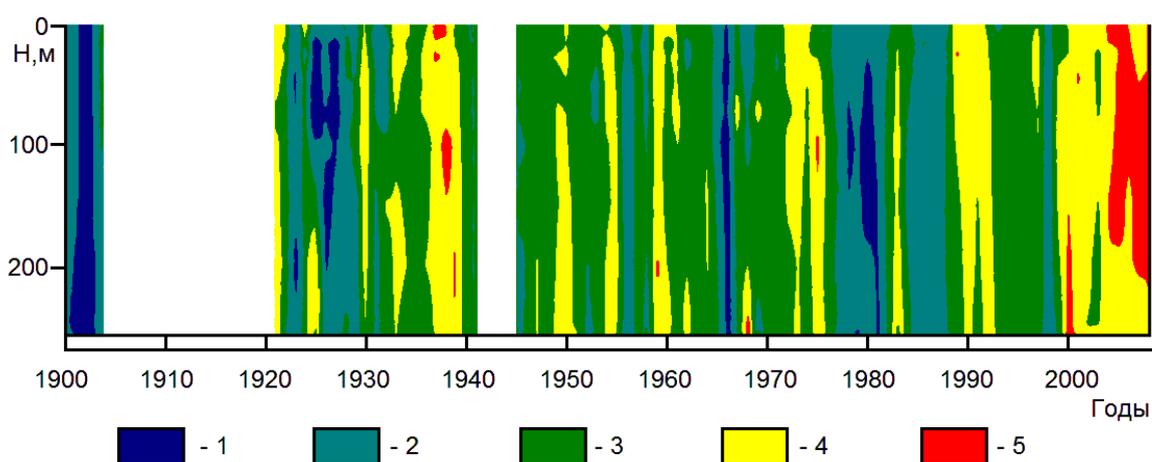


Рисунок 1.2 – Характеристика года по среднегодовой температуре воды по пятибалльной шкале от 1 до 5: anomalно холодный, холодный, средний, теплый, anomalно теплый [25]. Станция 1 на Кольском разрезе ($69^{\circ}30'$ с.ш., $33^{\circ}30'$ в.д.). По вертикальной оси – глубина, метры.

Зацепин В.И. провел в 1934–1936 годах масштабное изучение донной фауны Кольского залива [22; 21], что выявило изменения в биогеографической структуре бентоса, произошедшие со времени проведения предыдущей съемки Дерюгиным [16]. Отмеченное увеличение числа бореальных видов в Кольском заливе совпало с происходившим в эти годы потеплением Арктики. Во второй половине 60-х годов прошлого века наблюдалась общая тенденция к похолоданию. На придонных горизонтах разреза «Кольский меридиан» были зафиксированы минимумы температуры воды. К 1972 году похолодание закончилось и до 1976 года происходило незначительное увеличение температуры воды Нордкапского течения, направленного в Кольский залив. Еще один временной период похолодания продолжался с 1977 по 1988 гг. Он пришелся на время наибольшей антропогенной нагрузки на Кольский залив, и на значительный перерыв в гидробиологических исследованиях. Большинство авторов, работавших с начала 90-х объясняют отмеченные изменения последствиями антропогенного воздействия [11; 37].

До настоящего времени длится период потепления, который начался в 1989 году. За последние десять лет отмечается наиболее значительное увеличение температуры за весь период наблюдений. Наибольшие значения температур были зарегистрированы в 2006–2007 годах. Длительность современного периода потепления, по разным оценкам, может продолжаться еще от 5 до 15 лет [13].

1.4 Гидрологические условия

1.4.1 Пресноводный баланс и речной сток.

Водосбор Кольского залива включает северо-запад Мурманской области, кроме прибрежной полосы, имеющей сток в открытое море, и часть территории Финляндии. Водосбор Кольского залива составляет 27,7 тыс. км², что в 140 раз больше площади его поверхности. Из этого следует что, пресноводный баланс

залива определяется, в основном, речным стоком. Поступление пресных вод в Кольский залив распределено вдоль побережья неравномерно, основная его часть приходится на южное колено залива, куда впадают две крупные реки Кола и Тулома. По площади их бассейны равны соответственно 3,85 и 21,5 тыс. км² или 14 и 78 % от общей площади водосбора. Кроме Колы и Туломы других крупных водотоков в залив не впадает. Совместный расход десяти основных притоков, впадающих в среднее и северное колена, примерно равен 1% от объема поступающих в залив пресных вод. Реки, обладающие максимальным значением: Роста, Лавна и Тюва. Хозяйственная деятельность большого города полностью нарушила естественный гидрологический режим восточного берега [14].

Большая часть речного стока в Кольский залив приходится на реку Тулома. Она полностью зарегулирована двумя гидроэлектростанциями – Верхне-Тулумской (работает с 1965 г.) и Нижне-Тулумской (работает с 1937 г.) – что оказывает существенное влияние на водообмен и опреснении залива. Между маловодными и многоводными месяцами в данное время разница не превышает 1:2,5, а до зарегулирования стока р. Тулома соотношение составляло 1:10 [18].

Следующая по расходу река, впадающая в залив, – р. Кола – она обладает изменчивостью даже сильнее выраженной, чем на р. Тулома до зарегулирования [14].

Другие факторы, влияющие на пресноводный баланс – таяние льда и его образование, осадки, испарение уступают речному стоку. При годовой сумме осадков около 500 мм и площади поверхности воды около 200 км² вклад данной составляющей может быть примерно 0,1 км³, что составляет в районе 1 % годового стока рек. Количество формирующегося льда не оценивалось, но максимальный предел этой величины, по всей вероятности, не превышает 0,01 км³/год [20]. Промышленные, хозяйственные и бытовые стоки города

Мурманска составляют 0,08 км³/год, что равно менее 1% от естественного стока.

1.4.2 Стратификация вод Кольского залива.

Основная часть объема воды Кольского залива, кроме небольшого объема в области кута, состоит из соленых вод, поступающих из Атлантики. Вода, поступающая в залив с шельфа Баренцева моря в поперечном сечении составляет около 500 тыс. м², соленость вод около 34,5 ‰, температура воды на протяжении года колеблется от 1,5–2 °С в апреле до 7–8 °С в августе-сентябре. В результате сильной теплоотдачи водной массы атлантического происхождения, Кольский залив почти не замерзает. Иногда, в холодные зимы, на поверхности воды в южном колене из-за сильного распреснения может образовываться лед до 30–40 см в толщину, а в особо холодные годы лед образовывался в феврале–марте также и в среднем колене Кольского залива.

За счет взаимодействия океанических вод и речного стока в верхнем слое залива формируются явно выраженные галоклин и термоклин. Подобная стратификация вод обычно характерна для весенне-летнего периода (рис. 1.3). В южном колене залива находится зона сильного опреснения (от 0 до 25 ‰). Далее к устью соленость морских вод возрастает до 25–30 ‰. Рядом с морской границей залива поверхностные воды имеют соленость 30–33,5 ‰ [30].

Объем воды в Кольском заливе сопоставим со среднегодовым стоком рек, но интенсивная циркуляция вод на его северной границе ведет к тому, что воды залива образованы главным образом баренцевоморскими водами. Поэтому для основной части Кольского залива свойственны одни и те же гидрологические и физические процессы, как и для всего Баренцева моря: сезонный термоклин, осенне-зимнее перемешивание, колебания температуры воды, солености и плотности в приливно-отливном цикле. При этом на гидрологический режим, особенно в куту залива, значительно воздействуют метеорологические условия

примыкающей суши и пресноводный сток. Это оказывает влияние на среднегодовые значения всех гидрологических параметров.

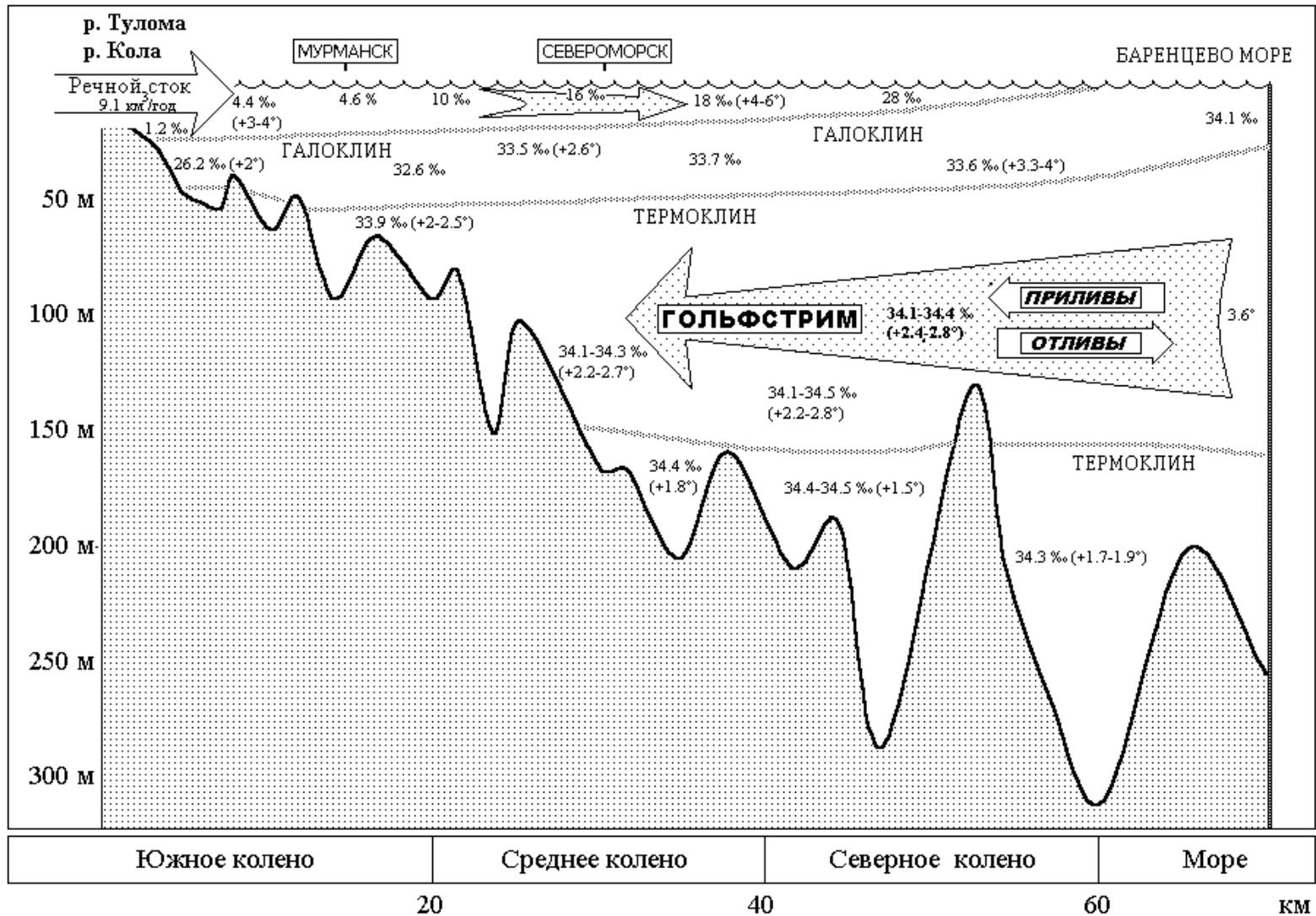


Рисунок 1.3 – Схема термогалинной структуры и главных течений Кольского залива на продольном разрезе в весенний период [из: 30].

1.4.3 Температура воды.

В поверхностном слое Баренцева моря характерен асимметричный годовой ход температуры воды. Наблюдается сравнительно быстрый рост температуры в конце весны и начале лета (май–июль) и медленное понижение на протяжении всех осенних и зимних месяцев. В это время происходит конвективное перемешивание и в сезонные изменения вовлекаются даже глубинные слои. В марте наблюдается годовой минимум температуры в Кольском заливе, температура поверхностного слоя понижается до $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в южном колене и $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в северном (рис. 1.4). Вертикальное выравнивание температуры заканчивается в апреле, когда на всем протяжении залива и на всех горизонтах ее значения не выходят за пределы $1,0\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. С апреля по июль температура поверхностного слоя повышается до $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ в южном колене и до $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в северном. Повышение температуры в это время показано на всех горизонтах вплоть до придонного, но протекает медленнее. В сентябре–октябре достигается годовой максимум на глубине 50 м, в ноябре на глубине 200 м, при этом его значения составляют $6,5\text{--}7,0$ и $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно. Для всех месяцев с октября по март характерна инверсия температуры (рост температуры с глубиной), данная закономерность особенно отчетливо выражена в слое 0–10 м [20].

Для весенних вертикальных профилей температуры характерно наступление полной гомотермии, летом образуется максимальный контраст между температурой поверхностного и глубинных слоев (см. рис. 1.4). В это время температура поверхностного слоя близка к среднемесячной температуре воздуха. Глубже горизонта 50 м сохраняются условия, близкие к зимним, хотя интенсивное приливно-отливное перемешивание приводит к некоторому повышению температуры на всех горизонтах, вплоть до придонного. Волновое перемешивание, с которым обычно связано образование верхнего квазиоднородного слоя, летом проникает только на

первые метры глубины, и слой скачка по данным стандартных наблюдений не выявляется. Профиль на октябрь отражает начальную стадию осенне-зимней конвекции. Можно полагать, что и в этом случае приливно-отливное перемешивание сглаживает вертикальные градиенты температуры, но теплый промежуточный слой, характерный для этого сезона, выражен отчетливо. В январе, в условиях пониженного пресного стока во всей водной толще еще сохраняется высокая температура, близкая к наблюдаемой в это время в баренцевоморской водной массе.

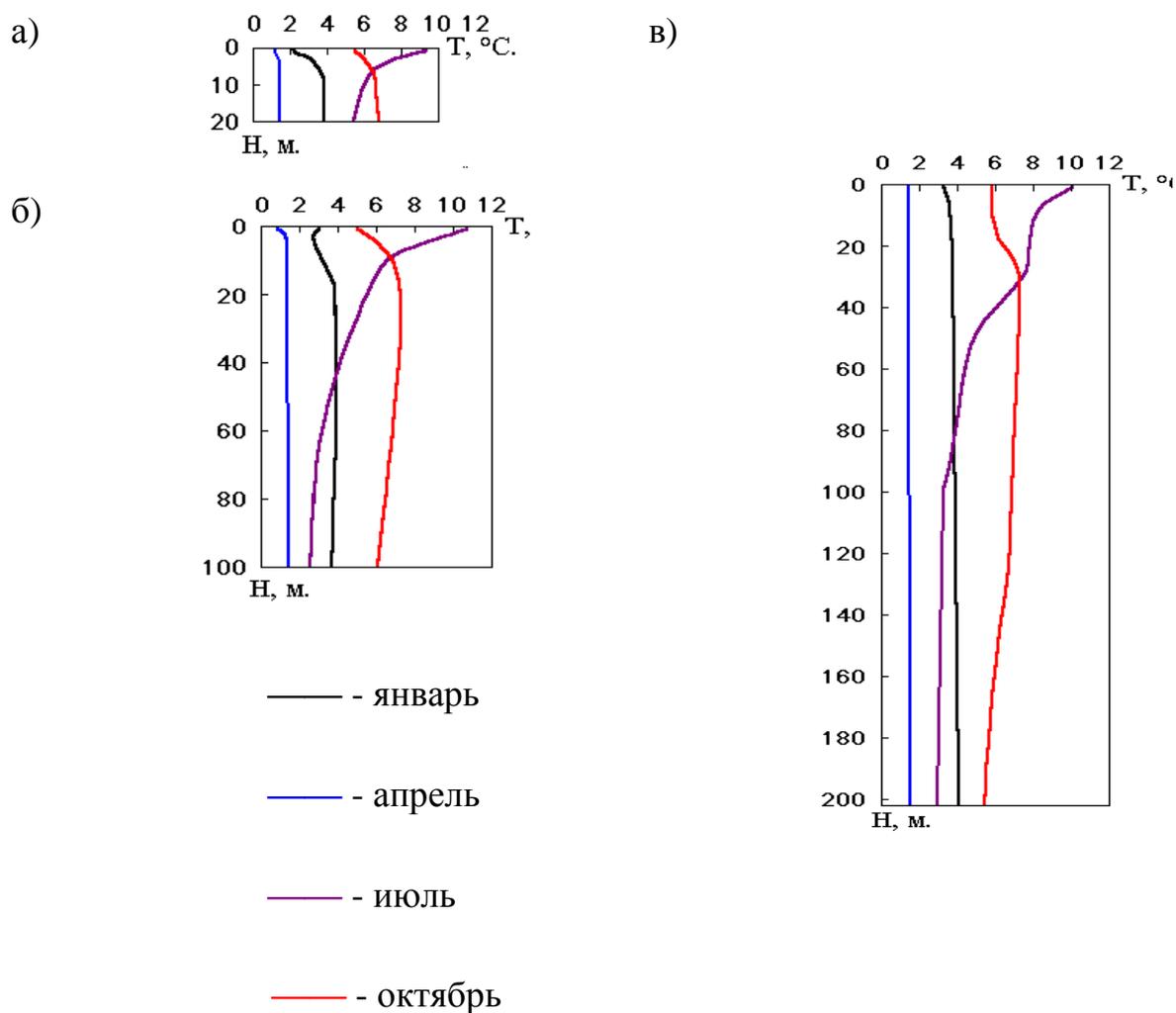


Рисунок 1.4 – Основные вертикальные профили температуры воды для нескольких месяцев в южном (а), среднем (б) и северном (в) коленах Кольского залива [из: 20].

Как и другие гидрофизические характеристики Кольского залива, температура воды подвержена приливно-отливной изменчивости, в которой преобладает полусуточная составляющая [18].

1.4.4 Соленость

Соленостный режим Кольского залива определяется уровнем опреснения вод, поступающих в устье залива с Нордкапским течением. Встреча пресных и соленых водных масс происходит главным образом, на поверхности залива и определяется стоком рек, выпадением жидких осадков летом и осенью, интенсивностью водообмена и перемешивания. Соленость вод прибрежной ветви Нордкапского течения колеблется в пределах 34,0–34,5 ‰ с незначительными сезонными изменениями.

Уровень опреснения быстро убывает по мере увеличения глубины. С глубины 100 м соленость в течение всего года находится в районе 34,0–34,5 ‰ по всей акватории залива. Существенные сезонные изменения солености на этих глубинах отсутствуют [20]. На глубине 50 м небольшое опреснение (до 33,8 ‰, т. е. на величину порядка 1 %) было отмечено только в июле–августе в среднем колене залива [16].

На глубине от 0 до 50 метров (в верхней сублиторали) соленость подвержена значительному изменению вдоль всего залива. Опреснение резко возрастает в южном колене залива, поскольку объем морской воды здесь достаточно невелик и сильно изменяется в приливно-отливном цикле (до 10 % от среднего). Снижение солености отчетливо выражено на всех горизонтах, но сильное опреснение (до 5–7 ‰) возможно только в самом поверхностном слое от 0 до 3 метров и наблюдается главным образом в мае. Область дна, контактирующая с такими распресненными водами, занимает небольшую полосу прибрежного свала. С июня по ноябрь тут наблюдается постепенное увеличение солености в поверхностном слое.

Площадь поверхности воды с соленостью ниже 20 ‰ на поверхности залива достигает наибольших размеров в первой половине лета. В это время она занимает поверхностный слой почти по всей акватории залива, приближаясь к острову Торос и мысу Летинский. Воды с соленостью менее 20 ‰ в южном и части среднего колена распространяются до глубины 5 м. Однако уже на горизонте 10 м в среднем колене соленость воды ниже 32 ‰ не обнаружена. В ноябре, когда количество жидких осадков и дождевых паводков значительно снижается, распространение вод с соленостью ниже 20 ‰ ограничивается поверхностным слоем южного колена, и эта ситуация сохраняется весь зимне-весенний период.

Суточные наблюдения в южном колене залива выявили, что придонная соленость воды на глубине до 5 метров в разные фазы приливно-отливного цикла может существенно изменяться [18]. Соответственно, для того, чтобы обнаружить максимальное опреснение для какого-либо участка дна, следует знать, в какой период необходимо проводить измерения.

По мере удаления от вершины залива вероятность сильного распреснения поверхностного слоя быстро уменьшается, но сохраняется на всех участках его акватории вплоть до границы с открытым морем [20].

1.4.5 Плотность и устойчивость вод

Факторы, определяющие плотностную стратификацию вод в течение года, изменяются однонаправлено. После периода гомотермии и относительного снижения вертикального градиента солености, который заканчивается в апреле, с мая по июль плотность поверхностного слоя быстро понижается вследствие летнего прогрева и повышенного опреснения. Это приводит к повышенной устойчивости слоев между поверхностным и ближайшими подповерхностными горизонтами. Осенняя инверсия температуры в сочетании с уменьшением поступления пресных вод приводит

к нарушению стратификации и способствует конвективному перемешиванию, которое в среднем и северном коленах в течение зимы проникает до дна. В южном колене, из-за сильного опреснения, в течение всего года имеет место устойчивая термогалинная стратификация, благодаря которой сохраняются значительные вертикальные градиенты солености, несмотря на сильное приливное перемешивание [20].

1.4.6 Динамика вод

Одним из важнейших факторов, определяющих условия существования на литорали и в сублиторали Кольского залива морской флоры и фауны является динамика вод. Течения через обновления вод определяют скорость самоочищения залива. Схема течений Кольского залива складывается из приливов и отливов, колебаний уровня (с преобладанием полусуточной составляющей), стоковых течений (наиболее явно выраженных в южном колене), и непериодических изменений течений и уровня воды, определяемых ветрами и прохождением барических систем над акваторией Баренцева моря. Ветровое волнение также может оказывать значительное влияние, особенно на малых глубинах [17].

Динамические процессы вод Кольского залива в значительной мере определяются приливными течениями, которые обеспечивают постоянный водообмен с открытой частью Баренцева моря. Приливы охватывают всю водную толщу до максимальных глубин (200–300 метров). Самые сильные приливные течения отмечаются в вершине залива и устье реки Тулома, где их скорости достигают 0,75 м/с. Тут же возможны и максимальные скорости стоковых течений в период паводка (до 0,5 м/с). При наложении приливной, стоковой и ветровой составляющих скорость течения в южном колене может увеличиваться до 1,5 м/с. Это благоприятствует самоочищению южного колена, которое существенно уступает среднему и северному коленам по

ассимиляционному потенциалу. Скорости течений в верхней сублиторали среднего и северного колен залива из-за увеличения площади сечения снижаются и не превышают 0,25 м/с [18].

Период полного обновления вод в южной части залива составляет приблизительно шесть суток [17]. На внешней границе с морем из-за проникновения вод Нордкапского течения интенсивность водообмена такая, что полная смена объема воды равного заливу могла бы произойти за 72 часа. Однако в отличие от открытой морской границы за счет уменьшения площади поперечного сечения залива, водообмен в южном колене происходит значительно медленнее.

1.4.7 Прозрачность воды

Максимальная прозрачность воды (20–30 м) обнаружена в северном колене в феврале–марте. В среднем колене залива прозрачность может колебаться от 10 до 20 метров. В южном колене прозрачность обычно невелика – 1–6 метров, но было отмечено повышение прозрачности до 12 метров [20]. При анализе многосуточных наблюдений можно выявить зависимость прозрачности воды от фазы прилива. Обычно, с притоком морских вод на приливе прозрачность возрастает в среднем на 2–3 метра, на отливе – снижается [20].

1.4.8 Уровень моря

Среднемесячные и среднегодовые значения, по меньшей мере, на порядок ниже суточных колебаний уровня моря. Поэтому все экологически значимые процессы связаны именно с суточными колебаниями. Основной вклад в короткопериодную изменчивость вносят приливо-отливные явления. Они индуцируются баренцевоморской приливной волной и поэтому близки к правильным полусуточным (с периодом 12,5 часов). От устья Кольского

залива до порта Мурманск, приливная волна имеет сейшевый характер, и только в кутовой части залива превращается в стоячую под влиянием речного стока и мелководья [17].

Средняя величина прилива в месячном лунном цикле в различных пунктах Кольского залива изменяется от 1,7 метров в квадратуру до 3,1 метров в сизигий. Правильные и предсказуемые приливные колебания уровня воды осложняются неперiodическими изменениями, связанными в основном со сгонно-нагонными явлениями. Штормовые нагоны в Кольском заливе, как и на других морских побережьях, возникают при прохождении циклонов над акваторией Баренцева моря и образованных ими длинных волн. Антициклонические поля давления над морем и прилегающей сушей обычно сопутствуют сгонным понижениям уровня. Уровень сгонно-нагонных колебаний определяется путем исключения предвычисленной приливной составляющей из общего уровня, полученного по данным наблюдений. Штормовые нагоны приводят к увеличению уровня в среднем на 35 см, в отдельных случаях – до 1,0 м, средняя продолжительность нагона – 72 час. Сгоны в заливе менее интенсивны (среднее понижение уровня – 30 см, максимальное – 70 см) и более продолжительны (в среднем около 120 час.) [17].

2. Материалы и методы

2.1 Район и сроки проведения исследований

Все исследования проведены в Кольском заливе Баренцева моря (рис. 1.1) с 2005 г. по 2009 г. По результатам предварительных исследований, были выбраны четыре полигона, основные параметры которых показаны на рисунке 2.1.

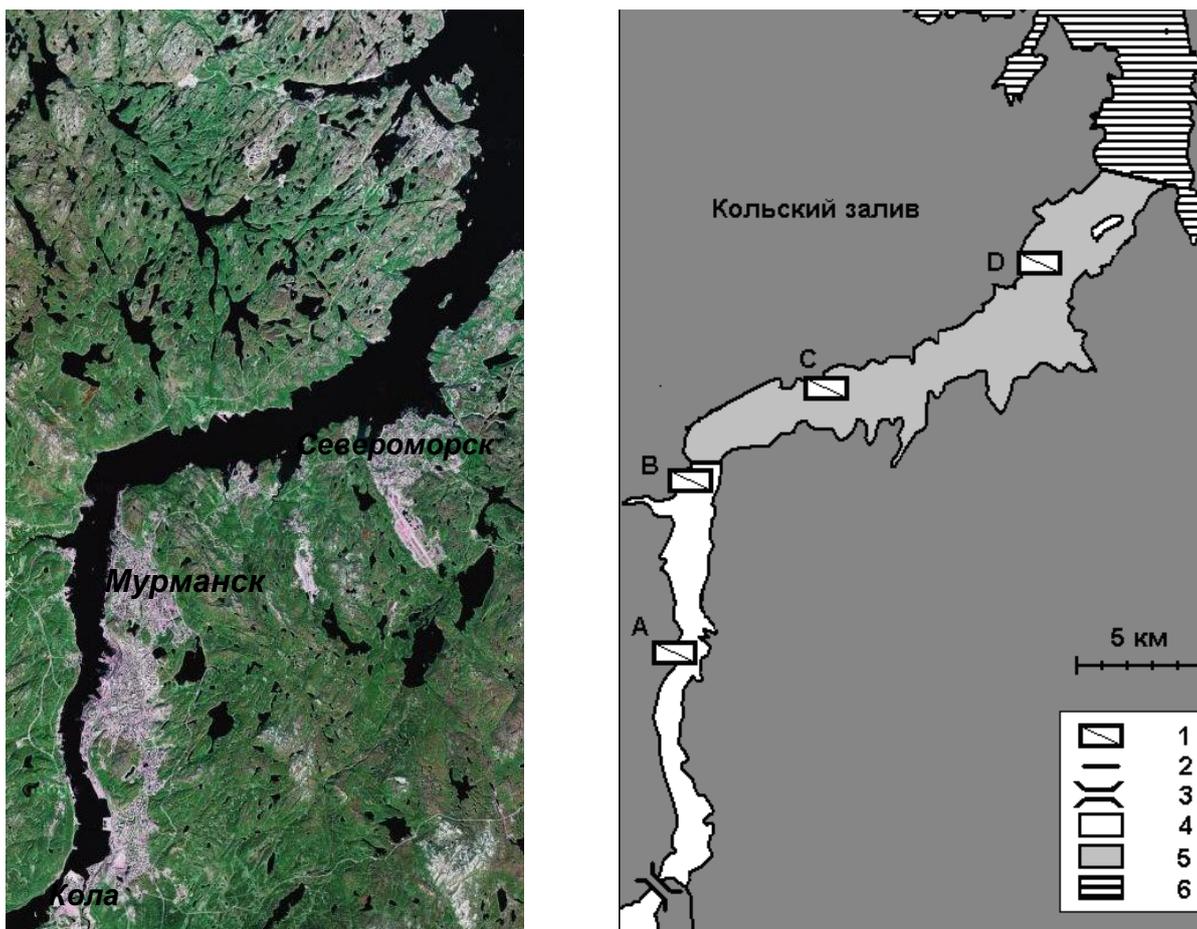


Рисунок 2.1 – Расположение полигонов для проведения исследований в Кольском заливе.

1 – основные (А, В, С, D.), 2 – границы колен залива, 3 – Кольская узость, 4 – южное колено залива, 5 – среднее колено залива, 6 – северное колено залива.

Все полигоны находятся на левом берегу Кольского залива. Выбор левого берега обусловлен в основном тем, что имеет хорошую возможность доступа к нему и минимально трансформирован хозяйственной деятельностью относительно правого берега.

При выборе мест исследования (А,В,С,Д) учитывались следующие параметры:

1. относительно равномерное распределение полигонов по протяженности залива, чтобы охватить максимально возможный спектр гидрологических условий от эстуарных до типично морских;

2. минимальное изменение акватории полигона хозяйственной деятельностью (строительство, береговые сооружения, стоянки судов, сброс сточных вод и т.д.);

3. пространственная однородность условий в пределах выделенного полигона (исключены устьевые участки рек, заливы, далеко выдающиеся мысы и т.п.);

4. возможность круглогодичной доступности с берега для автомобильного транспорта, для возможности проведения сезонных работ.

На полигонах в период с ноября 2005 г. по июль 2009 г. был проведен комплекс исследований с измерениями гидрологических параметров.

Работа выполнена на базе Российского государственного гидрометеорологического университета (г. Санкт-Петербург) в сотрудничестве с Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН.

2.2 Оценка гидрологических параметров среды.

В период с ноября 2005 г. по май 2007 г. измерения температуры проводились с помощью глубоководного ртутного опрокидывающегося термометра с точностью до 0,01 °С. Измерения солёности производились на лабораторном солемере ГЭ-250. Отбор проб воды производился с помощью батометра Молчанова. Точность при определении солёности составляла 0,005 ‰. Определение температуры и отбор проб воды на определение солёности производился с дискретностью, по вертикали 1 м, в районе слоя скачка – 0,5 м.

Начиная с августа 2007 г и до конца полевых исследований определение температуры и солености производилось с помощью зонда SEA Berds YS-120.

На станциях, расположенных в южном колене для определения изменений температуры и солености воды в верхней сублиторали Кольского залива во всех фазах приливо-отливного цикла были выполнены «полусуточные» станции в каждый из четырех сезонов. Работы на полигоне А проводились 07 сентября 2007 г., 15 мая 2008 г., 31 октября 2008 г. и 28 марта 2009 г.; работы на полигоне В – 11 сентября 2008 г. Выбор южного колена обусловлен тем, что здесь отмечались наибольшие горизонтальные градиенты гидрологических параметров. Продолжительность измерений, на каждой станции, составляла полный приливной цикл и составляла соответственно 12–15 часов.

Опыт зарубежных исследований как правило опирается на мониторинговые мультипараметрические системы устанавливаемые на месте [1]. Однако недостаточность инфраструктуры и отсутствие доступных электрических сетей вынудили проводить наблюдения в суточном цикле с гидротехнических сооружений или лодки по вертикали. Однако для отражения всего диапазона изменений гидрологических параметров, вдоль дна сублиторали, зонд прикреплялся к баллонам аквалангиста и получались профили вдоль дна.

2.3 Статистическая обработка данных.

Все средние и средневзвешенные показатели приведены в работе со стандартной ошибкой. Стандартные ошибки для среднеарифметического и средневзвешенного вычислялась по формуле [33]:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_x^2}{(n-1)}}, \quad (3.2)$$

где: s_x^2 – выборочная дисперсия; n – количество наблюдений.

Для расчета ошибки взвешенного среднего вместо s_x^2 вычисляли взвешенную дисперсию [33]:

$$\bar{s}_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^k n_i - \nu}, \quad (3.3)$$

где: n_i – объемы независимых выборок из нормально распределяющейся генеральной совокупности; s_i^2 – дисперсия этих выборок; ν – число ограничений свободы вариации, равное числу независимых выборочных групп.

Построение графиков и вычисления производились в табличном редакторе Microsoft Excel. Построение разрезов температуры и солености по времени с глубиной применялся пакет Golden Software Surfer v.7. Редактирование рисунков и их построение выполнялось в приложении Microsoft Windows 7 – Paint.

3. Гидрологические условия прибрежных мелководий Кольского залива.

В связи с сильным влиянием речного стока и значительным удалением от открытого моря, гидрологический режим южного колена Кольского залива отличается наибольшим своеобразием по сравнению с северными частями залива. Исходя из этого, наиболее детально приводится описание гидрологического режима именно этого района.

3.1 Температура воды

Температура воды Кольского залива складывается из нескольких составляющих: это температура воды поступающей в Кольский залив с Баренцева моря, температура вод поступающих в Кольский залив с поверхностным пресным стоком, а также метеорологические условия, складывающиеся непосредственно над акваторией Кольского залива.

Гидрологические характеристики Кольского залива, как и температура подвержены приливной изменчивости с преобладанием полусуточной составляющей. Амплитуда колебаний температуры воды в приливно-отливном цикле в южном колене залива на полигоне А, на горизонте (0–5 м) в летние (рис. 3.1) и осенние месяцы достигает 2,0 °С (рис. 3.2), а в зимние (рис. 3.3) и весенние (рис. 3.4) месяцы не превышает 1,0 °С.

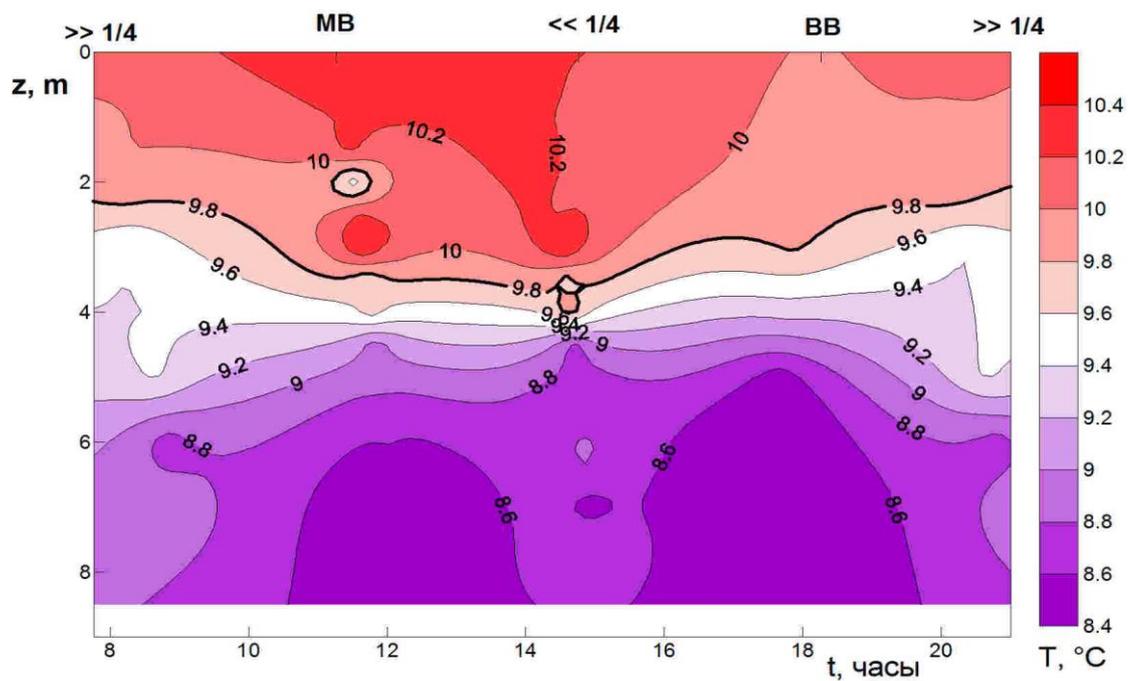


Рисунок 3.1 – Изменение температуры воды (T , $^{\circ}\text{C}$) в слое 0–8 м в ходе приливно-отливного цикла в южном колене Кольского залива в летний период (полигон А, 17 августа 2007 г.). Обозначения: z – глубина, измеренная от поверхности воды, м; t – время, часы; МВ – малая вода; ВВ – полная (высокая) вода; $\gg 1/4$ – полводы, отлив; $\ll 1/4$ – полводы, прилив.

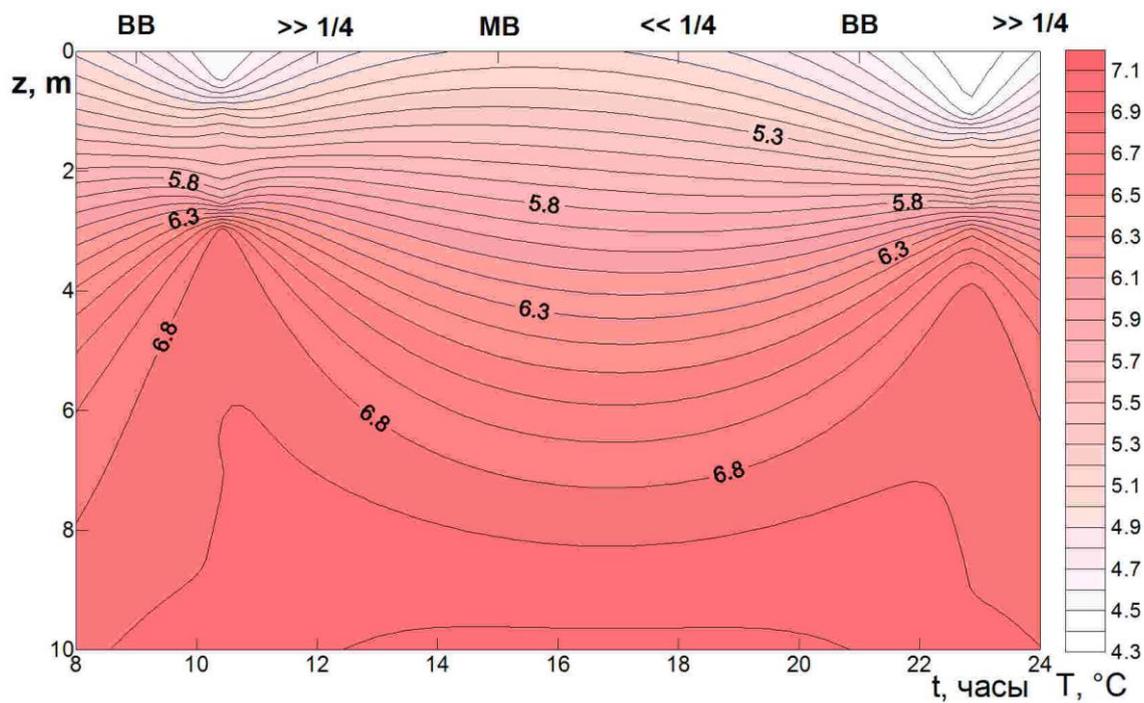


Рисунок 3.2 – Изменение температуры воды (T , $^{\circ}\text{C}$) в слое 0–10 м в ходе приливно-отливного цикла в южном колене Кольского залива в осенний период, (полигон А, 31 октября 2008 г.). Обозначения как на рисунке 3.1.

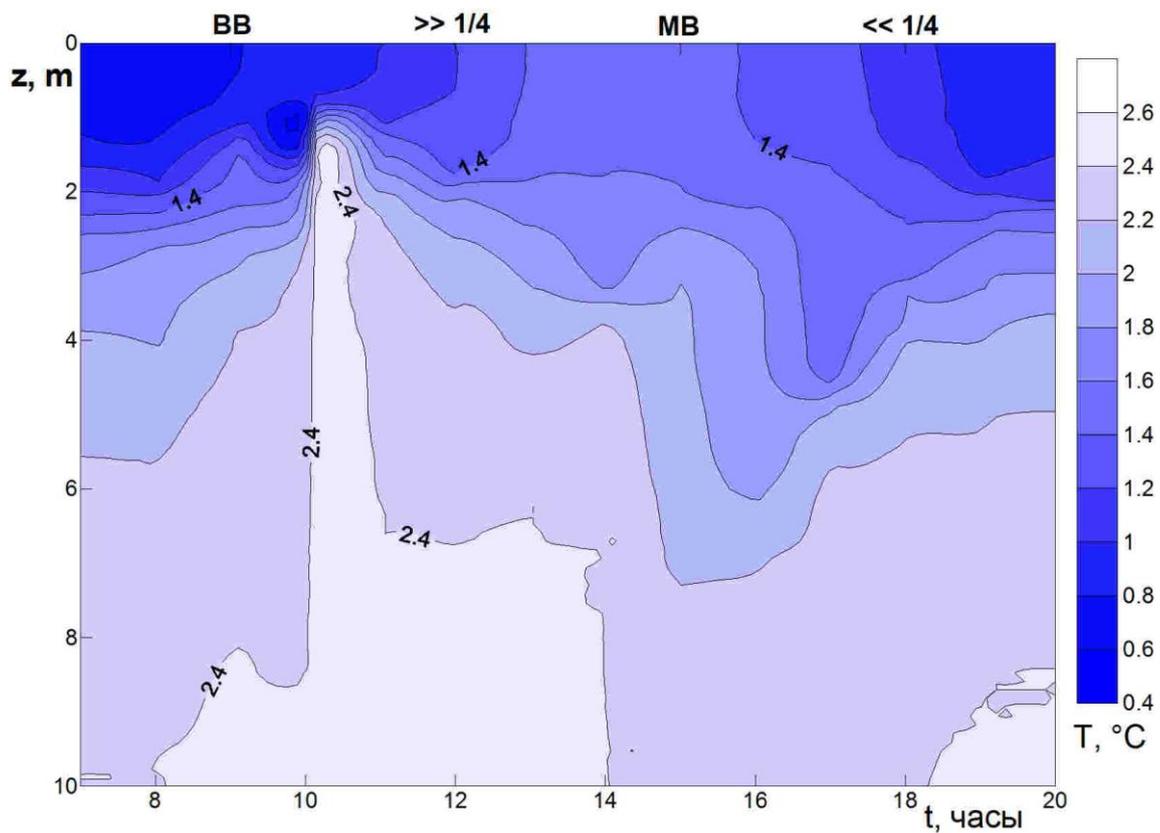


Рисунок 3.3 – Изменение температуры воды (T , °C) в слое 0–10 м в ходе приливно-отливного цикла в южном колене залива в зимний период, (полигон А, 28 марта 2009 г.). Обозначения как на рис. 3.1.

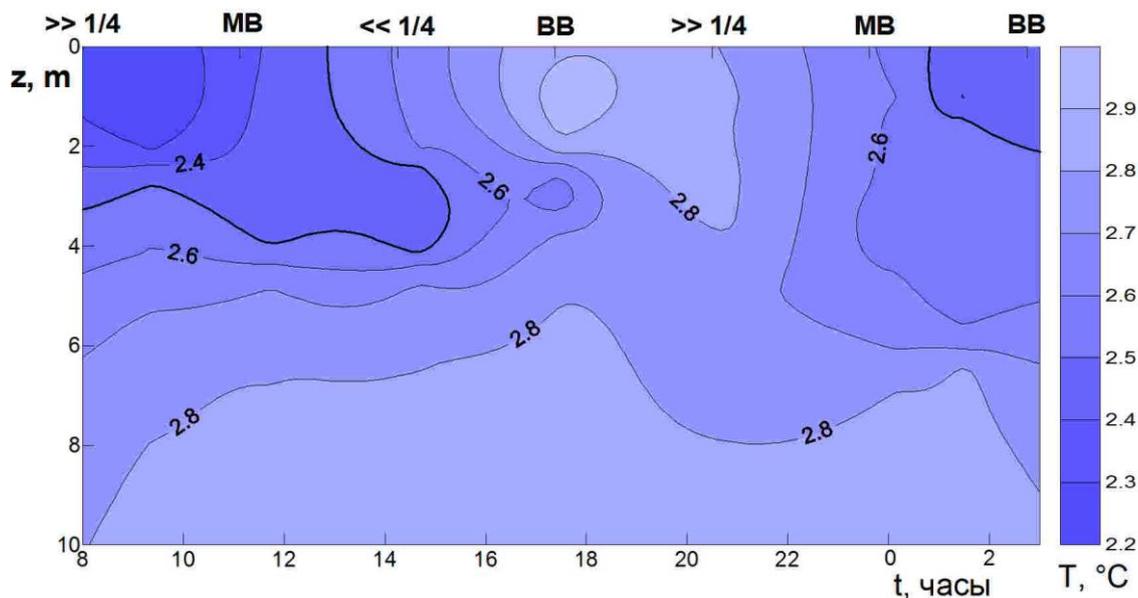


Рисунок 3.4 – Изменение температуры воды (T °C) в слое 0–10 м в ходе приливо-отливного цикла в южном колене Кольского залива в весенний период (полигон А, 15 мая 2008 г.). Обозначения как на рисунке 3.1.

В разные сезоны в придонных слоях амплитуда изменений температуры воды в ходе приливо-отливного цикла, как правило, не превышает $0,5$ °C, (рис. 3.6 – 3.9).

На полигоне В, расположенном севернее полигона А в южном колене Кольского залива в летний период весь диапазон изменений температуры воды в наблюдаемом слое от 0 до 10 метров в приливо-отливном цикле как и на полигоне А не превышает $1,5$ °C (см. рис. 3.5), при этом на поверхности диапазон изменений составляет $1,0$ °C, а на глубине 10 м – только $0,2$ °C. В диапазоне 4-6 метров приливо-отливные колебания температуры практически отсутствуют.

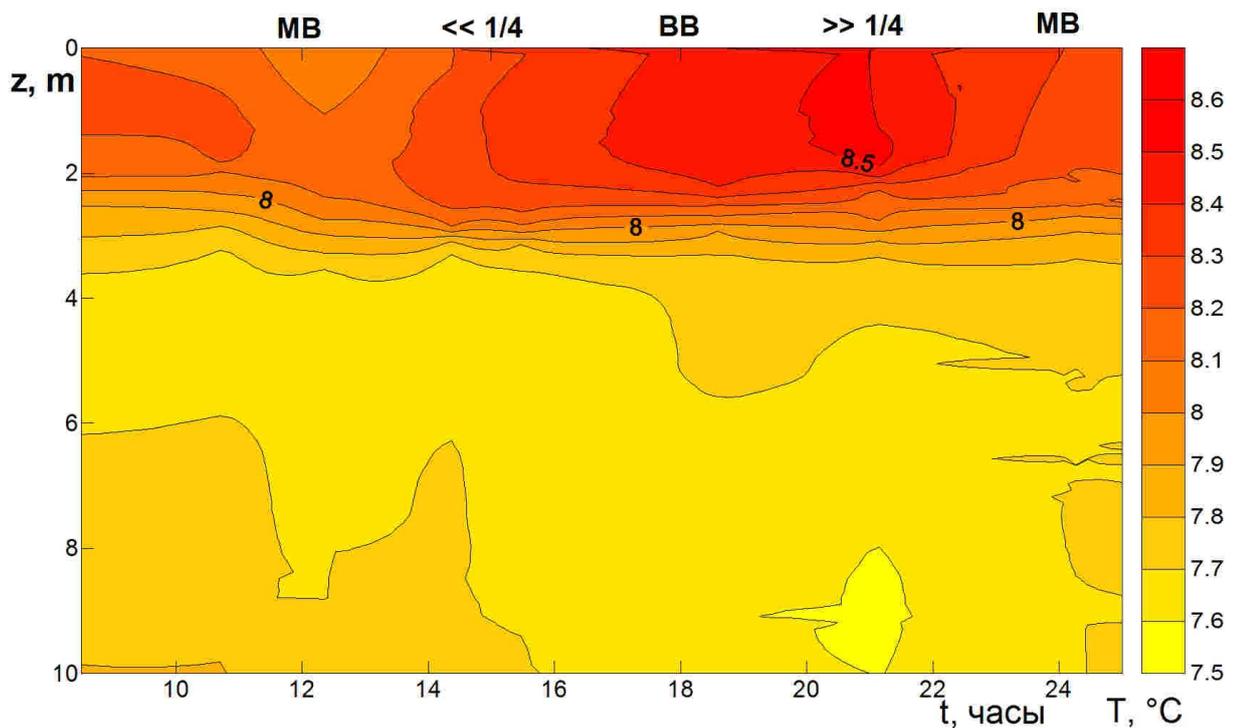


Рисунок 3.5 – Изменение температуры воды (T , °C) в ходе приливно-отливного цикла в северной части на южного колена Кольского залива (полигоне В) в южном колене залива в летний период, 11 сентября 2008 г.

Обозначения как на рис. 3.1

На всех полигонах максимальная температура воды наблюдалась на поверхности ($12,1$ °C) в августе 2007 года, минимальная (1 °C) – в марте 2007 и марте 2009 (рис. 3.6-3.8) (таблица 3.1). По данным сайта <http://rp5.ru> средние значения температуры воздуха в августе 2007 года были выше, чем в августе 2006 и 2008 гг., что обусловило прогрев поверхностного слоя воды. Температура воды на разных полигонах в разные сезоны изменялась синхронно (см. рис. 3.6-3.8). Диапазон сезонных колебаний температуры в придонном слое воды изменялся от 7 °C до более, чем 10 °C на поверхности (см. рис. 3.6-3.8).

Таблица 3.1 – Матрица экстремумов температуры и солености воды, измеренных на полигонах в период с сентября 2005 г. по июль 2009 г.

Полигоны	Факторы				
	Н, м	S, ‰		T, °C	
		min	max	min	max
A1	1,6	5,7	30,9	0,3	12,1
A2	3,8	7,0	33,6	1,5	7,6
A3	7,0	28,0	33,7	2,1	7,4
A4	8,7	32,8	33,8	1,4	7,3
A5	12,3	33,2	33,9	2,1	7,0
B1	1,3	8,6	27,0	1,0	10,7
B2	4,4	23,2	32,8	1,5	7,9
B3	7,0	29,9	33,4	2,1	7,7
B4	12,7	33,5	34,4	3,0	7,7
C1	2,2	12,0	34,2	- 0,9	10,3
C2	4,1	23,4	34,2	2,1	9,4
C3	10,1	32,0	34,4	2,5	9,8
C4	20,0	33,5	34,4	2,5	9,8
D1	2,6	26,5	33,0	2,7	8,8
D2	4,7	30,0	33,3	2,8	8,8
D3	13,1	33,8	34,3	2,9	8,5
D4	23,7	34,1	34,3	3,0	9,0

Примечание: Н, м – средняя глубина, метры; S – зарегистрированная на полигоне соленость: min – минимальная, max – максимальная, ‰; T – зарегистрированная на полигоне придонная температура воды: min – минимальная, max – максимальная, ° C.

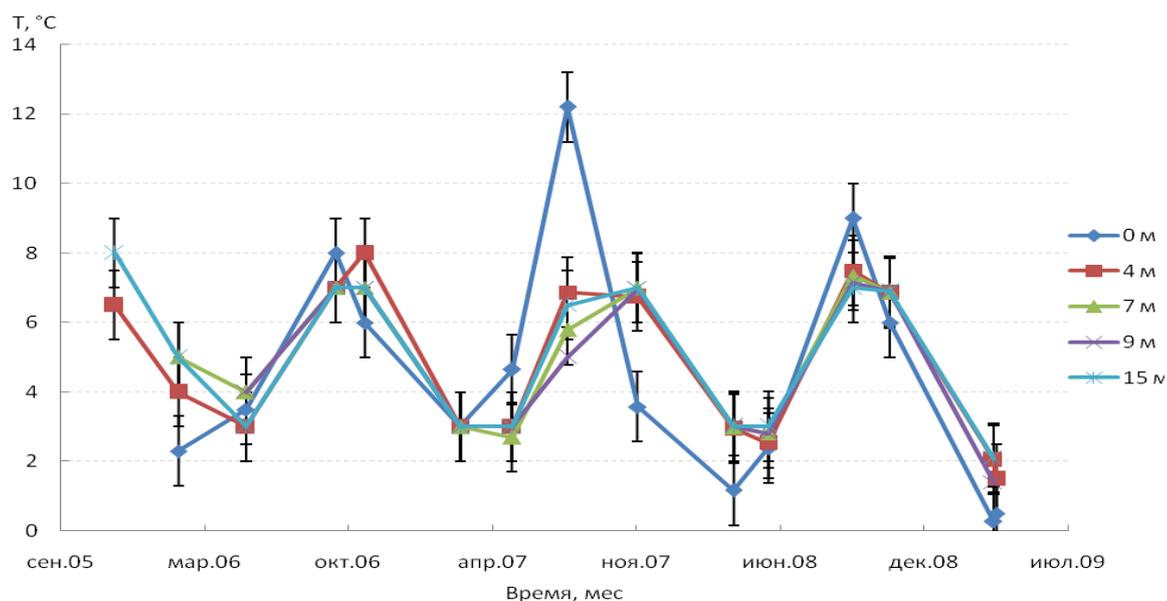


Рисунок 3.6 –Сезонные изменения температуры воды (T , °C) на разных глубинах в южном колене Кольского залива на полигоне А в период с сентября 2005 г. по июль 2009 г.

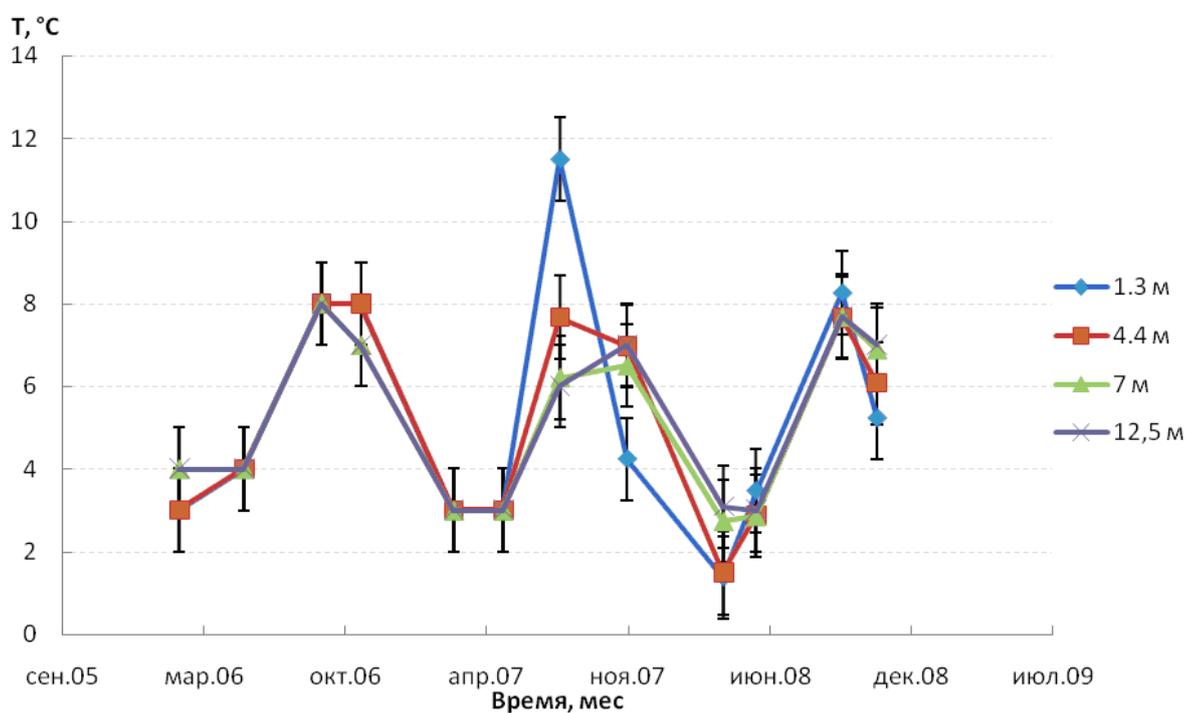


Рисунок 3.7 – Сезонные изменения температуры воды (T , °C) на разных глубинах в южном колене Кольского залива на полигоне В в период с сентября 2005 г. по июль 2009 г.

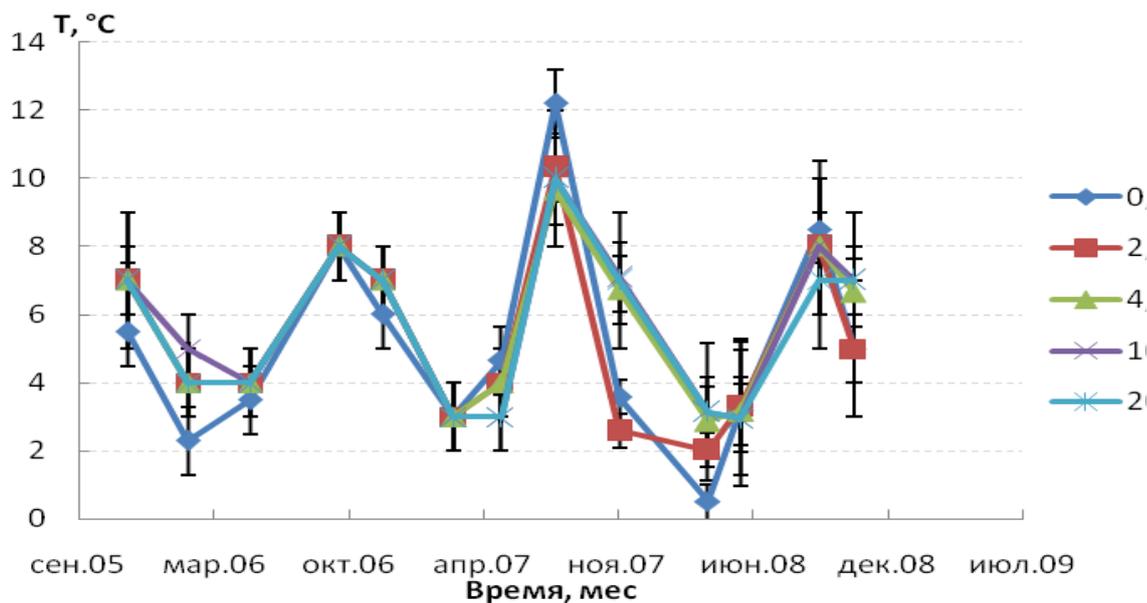


Рисунок 3.8 – Сезонные изменения температуры воды (T , °C) на разных глубинах в среднем колене Кольского залива на полигоне С в период с сентября 2005 г. по декабрь 2008 г.

В летние месяцы на глубинах от 5 до 15 м наблюдается наибольший перепад температур от кута к устью (рис. 3.10, 3.11), зимой - наименьший (рис. 3.12), периоды осень и весна (рис. 3.13, 3.14) имеют промежуточные значения.

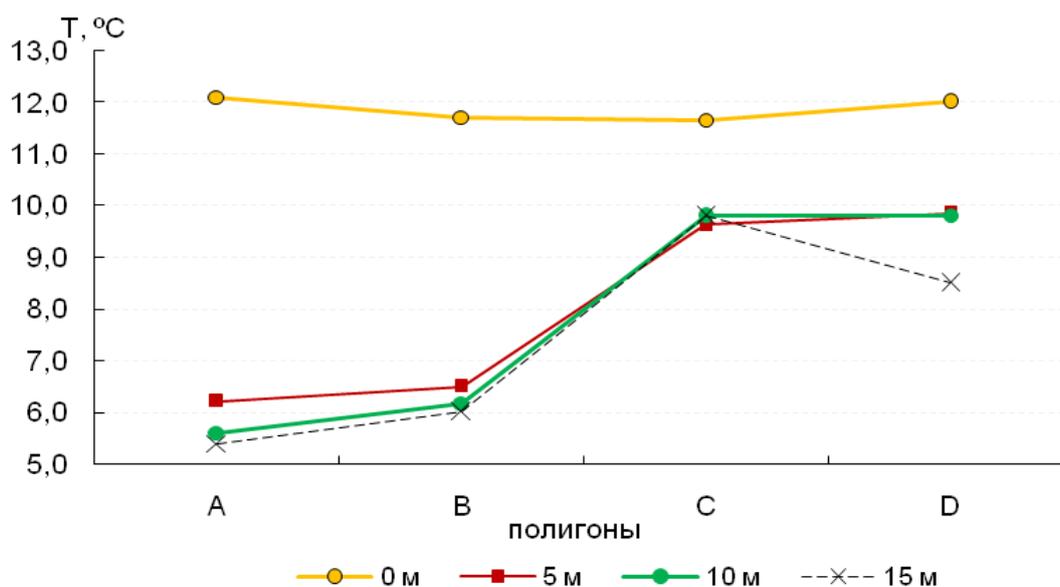


Рисунок 3.10 – Температура воды (T , °C) на различных полигонах на глубине 0, 5, 10 и 15 метров в летний период (август 2007 г.).

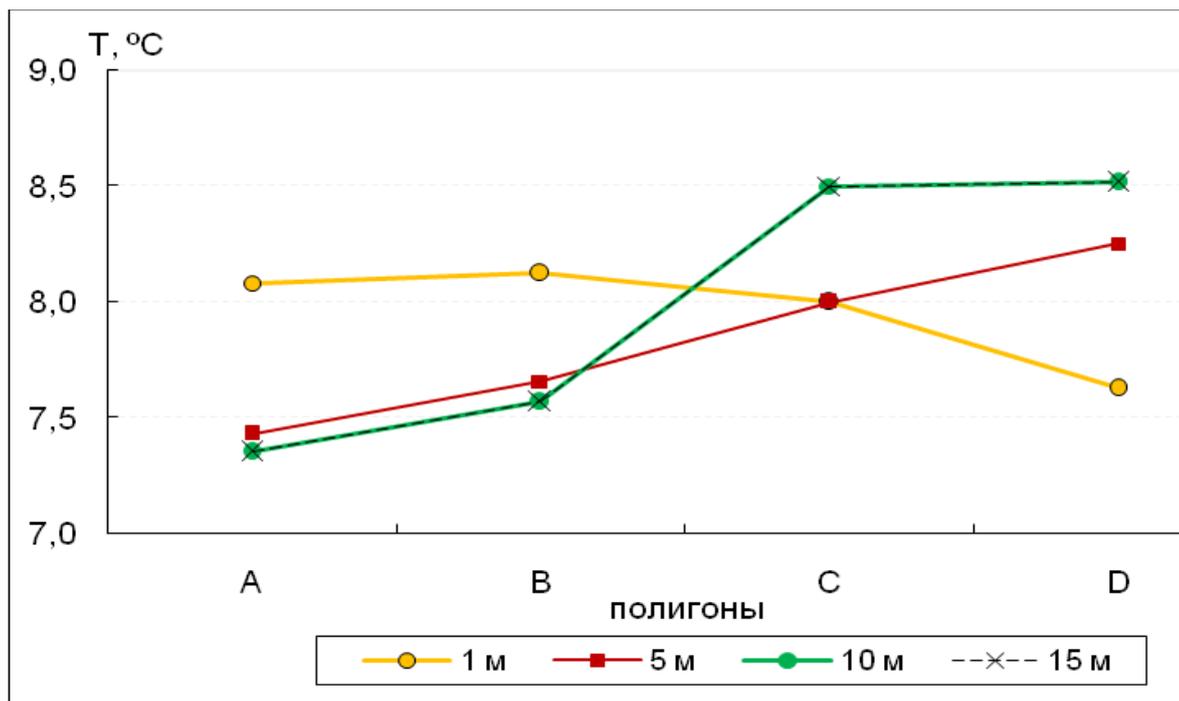


Рисунок 3.11 – Изменения температуры воды (T , °C) вдоль Кольского залива (на полигонах А, В, С и D) на глубине 0, 5, 10 и 15 метров в летний период (сентябрь 2008 г.).

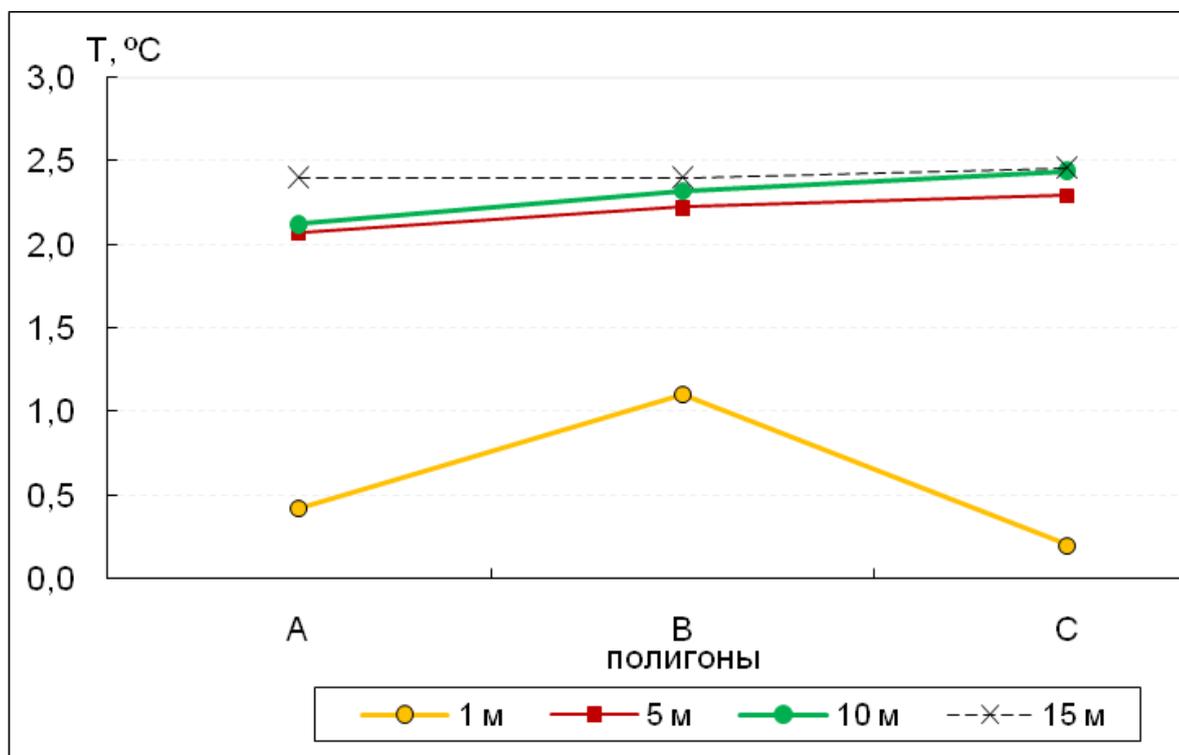


Рисунок 3.12 – Изменения температуры воды (T , °C) вдоль Кольского залива (на полигонах А, В, С и D) на глубине 0, 5, 10 и 15 метров в зимний период (март 2009 г.).

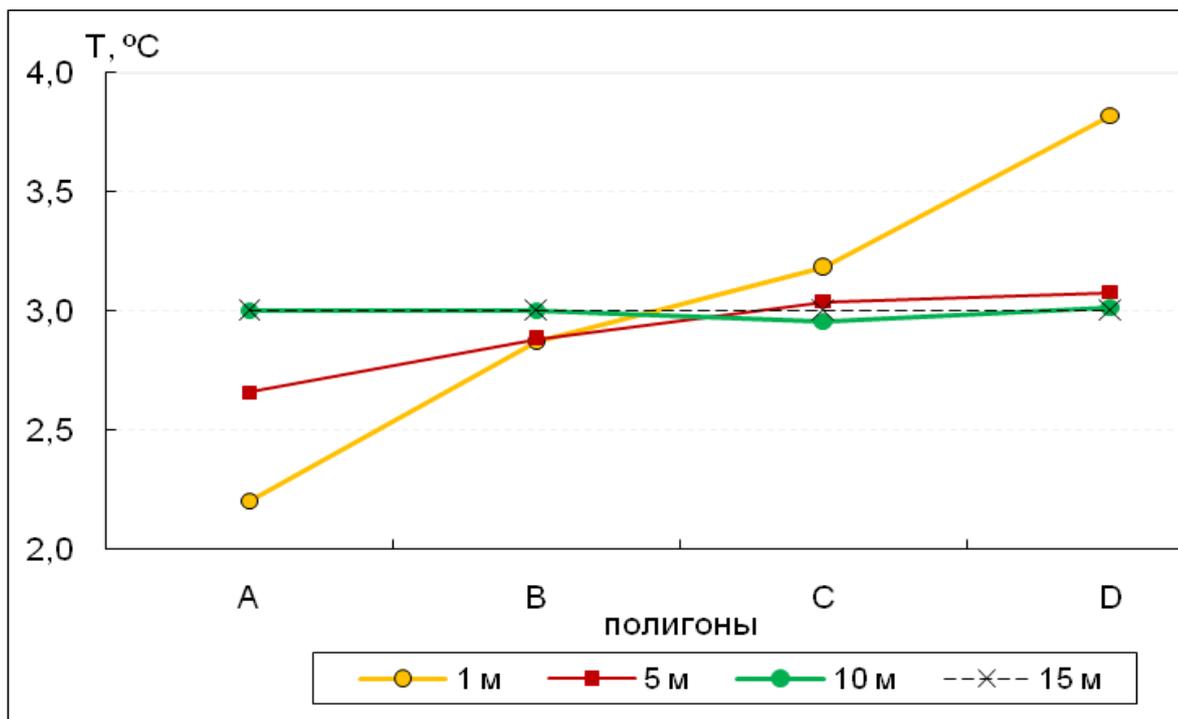


Рисунок 3.13 – Изменения температуры воды (T , °C) вдоль Кольского залива (на полигонах А, В, С и D) на глубинах 0, 5, 10 и 15 метров в весенний период (май 2008 г.)

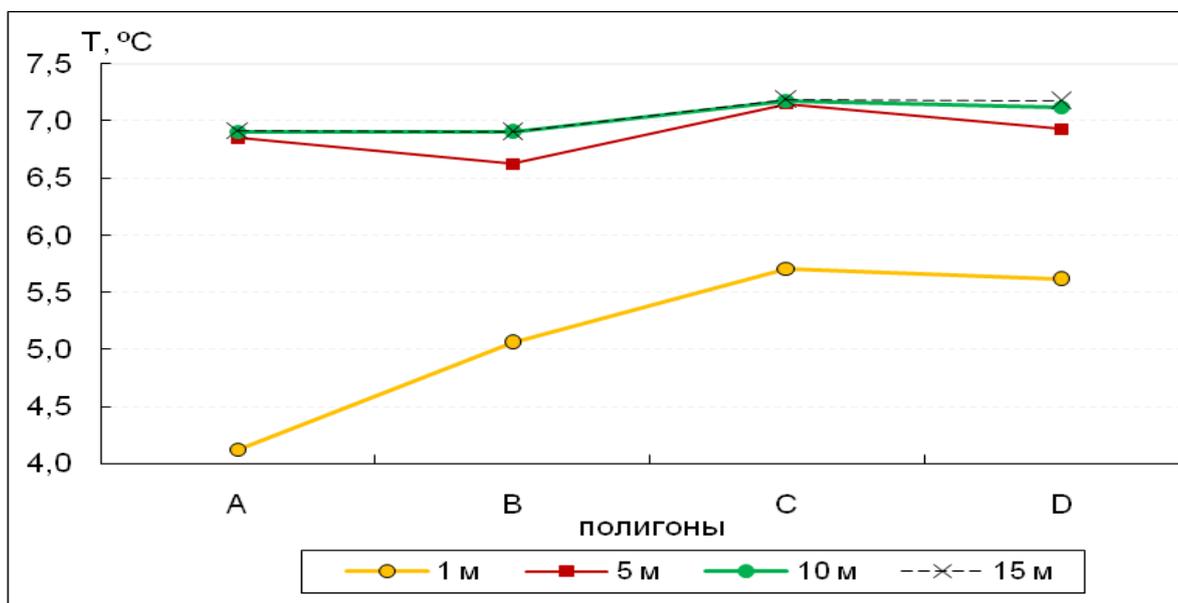


Рисунок 3.14 – Изменения температуры воды (T , °C) вдоль Кольского залива (на полигонах А, В, С и D) на глубине 0, 5, 10 и 15 метров в осенний период. Октябрь 2008 г.

По мере движения от кута к открытому морю, в южном и среднем коленах залива, температура воды поверхностного слоя воды (0–4 м) летом и зимой уменьшается (см. рис. 3.10-3.12). Этот слой воды омывает незначительную площадь дна, так как на эти глубины в основном приходится прибрежный свал с довольно большим уклоном. Основная часть дна на верхней сублиторали находится на глубинах свыше 5 м. В отличие от поверхностного слоя воды (0-4 м) эти глубины характеризуются увеличением температуры воды в направлении от кута к открытому морю (рис. 3.10 – 3.14).

Диапазон сезонных изменений температуры значительно превышает изменения в течение приливно-отливного цикла, что показано на примере изменений температуры воды на глубине 4 м на полигоне А в течение периода исследований (рис. 3.9).

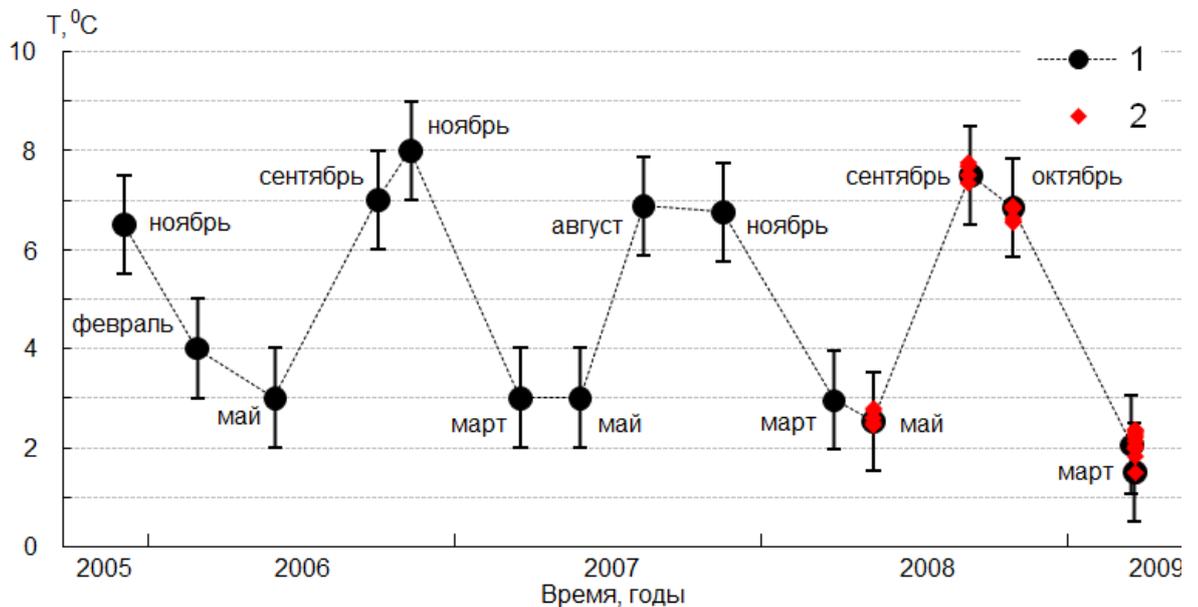


Рисунок 3.9 – Сезонные изменения температуры воды (T °C) в течение периода исследований (1) и в течение приливо-отливного цикла (2), на глубине 4 м в южном колене Кольского залива (полигон А).

3.2 Соленость

Соленость вод Кольского залива зависит главным образом от опреснения водной массы поступающей из Баренцева моря с течениями. Величина опреснения зависит от интенсивности речного стока, выпадения жидких осадков, волнового перемешивания и водообмена.

По степени изменения солености в приливно-отливном цикле в течение года четко выделяются три сезона: весенний (рис. 3.16), летне-осенний (рис. 3.17-3.19) и зимний (рис. 3.20). В весенний сезон (см. рис. 3.16) значения солености у уреза воды колебались в пределах 3–9 ‰, в летний и осенний (см. рис. 3.17-3.19) сезон колебания находились в пределах 12–22 ‰, а в зимний сезон колебания составляли от 22 до 27 ‰ (см. рис. 3.20).

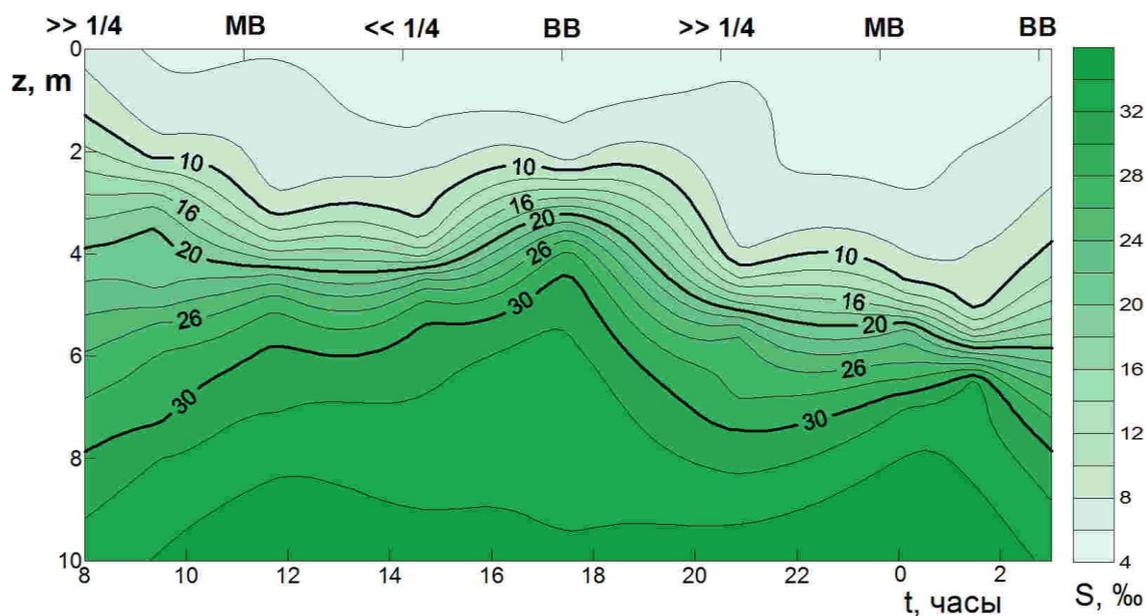


Рисунок 3.16 – Изменение солености (S, ‰) воды в поверхностном слое в ходе приливно-отливного цикла в южном колене залива в весенний период (полигон А, 15 мая 2008 г.). Обозначения как на рис. 3.1.

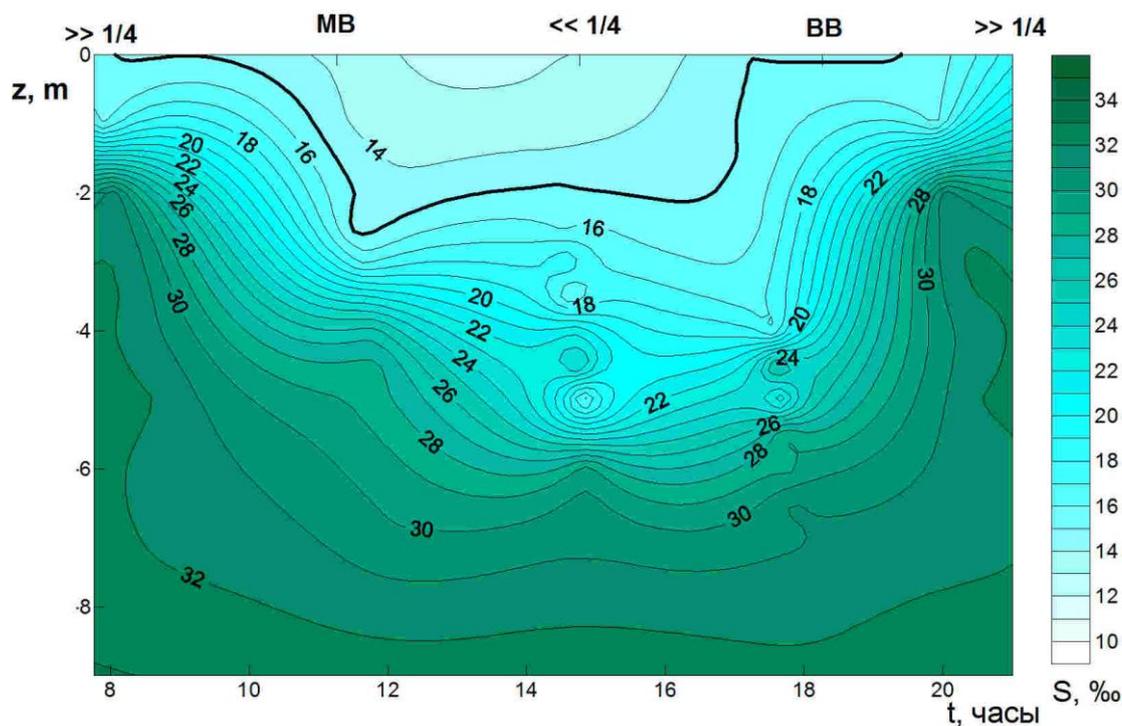


Рисунок 3.17 – Изменение солёности (S , ‰) воды в поверхностном слое в ходе приливно-отливного цикла в южном колене залива в летний период (полигон А, 17 августа 2007 г.). Обозначения как на рис. 3.1.

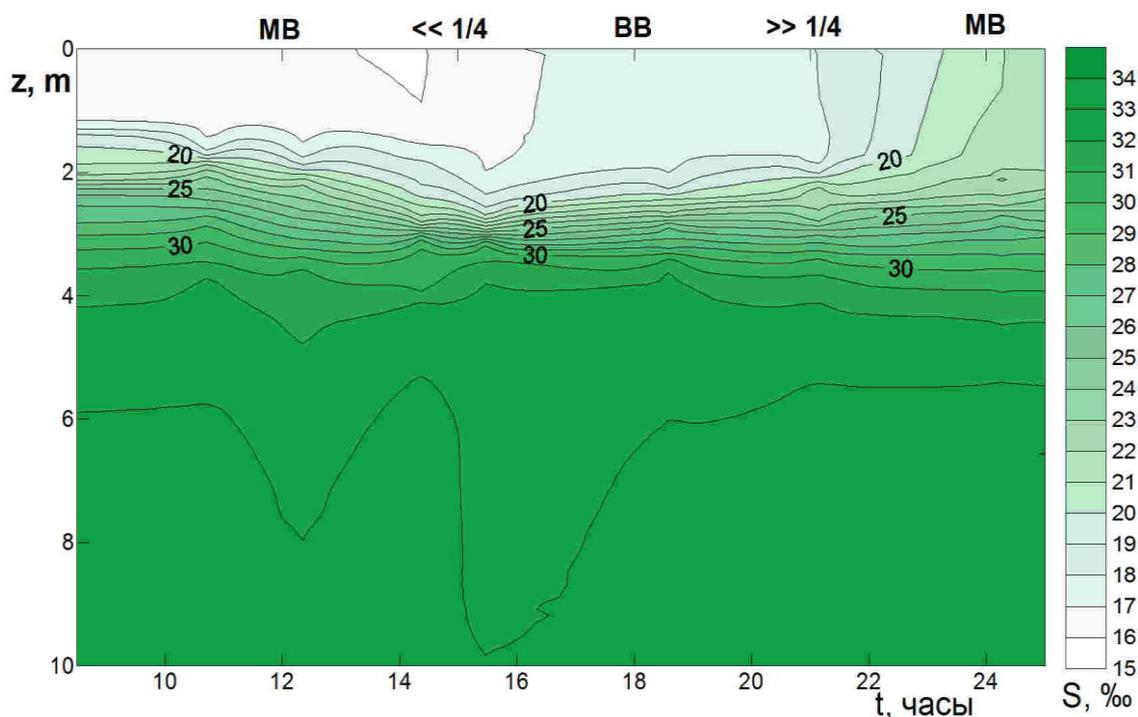


Рисунок 3.18 – Изменение солёности воды (S , ‰) в поверхностном слое в ходе приливно-отливного цикла в летний период (полигон В, 11 сентября 2008 г.) Обозначения как на рис. 3.1.

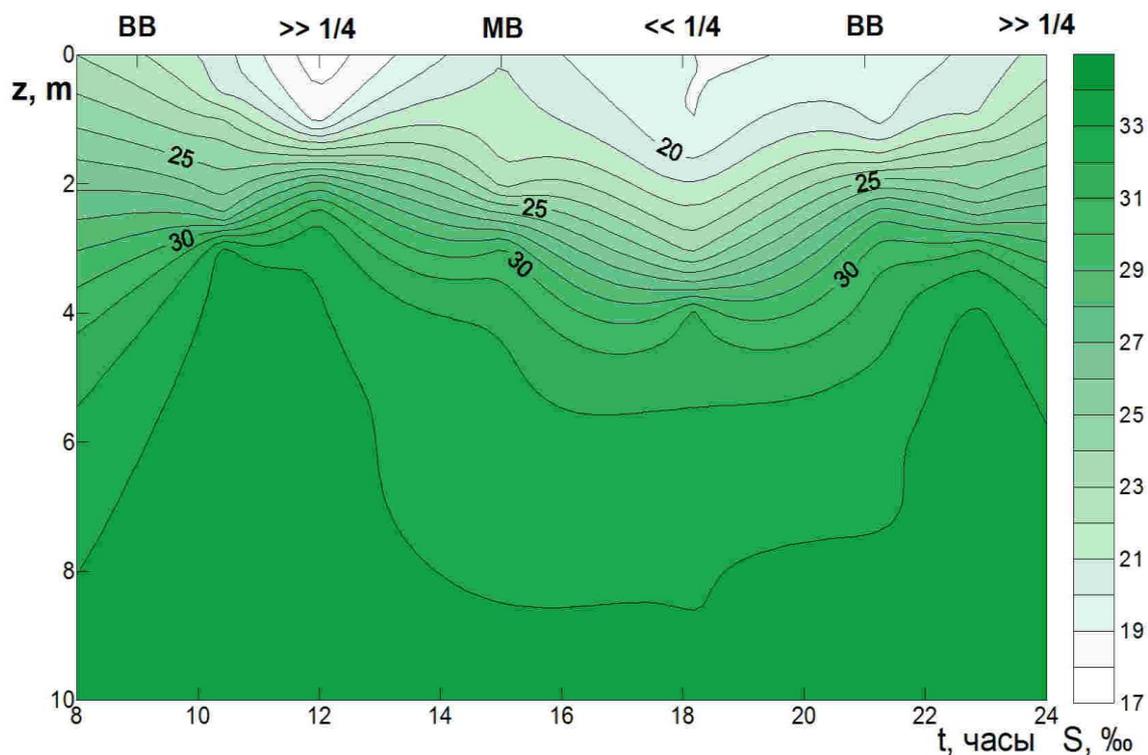


Рисунок 3.19 – Изменение солености воды (S , ‰) в поверхностном слое в ходе приливно-отливного цикла в осенний период (полигон А, 30 октября 2008). Обозначения как на рис. 3.1.

Наибольшая интенсивность распреснения в поверхностном слое всегда наступает спустя час после малой воды (рис. 3.16 -3.19). Проведенные 28 марта 2009 г наблюдения, в приливно-отливном цикле производились в момент сильнейшего сгона, с порывами ветра до 17 м/сек и наглядно показали, что ветер может оказывать влияние на неоднородность распределения солености в поверхностном слое и сдвиг пика распреснения (см. рис. 3.20).

Во все периоды (см. рис. 3.17-3.20) в южном колене Кольского залива во всем приливно-отливном цикле на глубине 10 м наблюдалась соленость близкая к нормальной океанической (~ 34 ‰). Минимальные значения солености (3.7 ‰) показаны в поверхностном слое на полигоне А, максимальная океаническая соленость наблюдалась на полигонах С и D (см. таблицу 3.1).

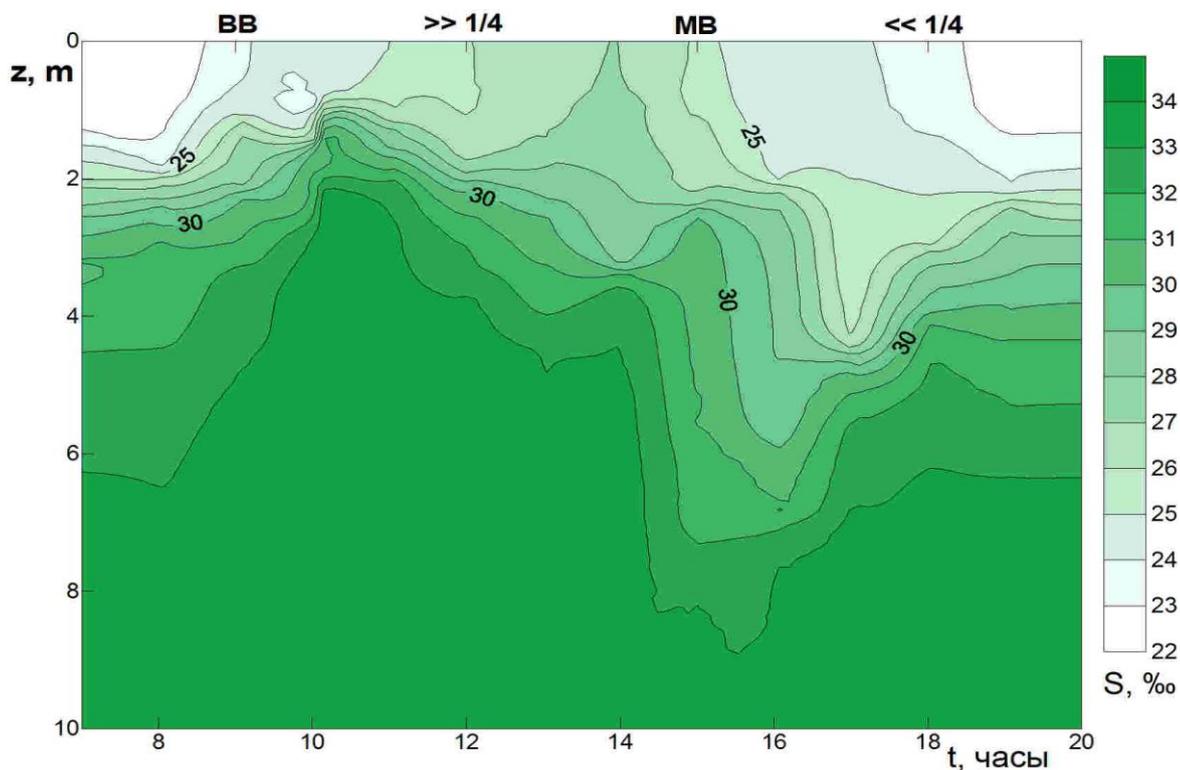


Рисунок 3.20 – Изменение солёности воды (S , ‰) в поверхностном слое в ходе приливно-отливного цикла в зимний период (полигон В, 28 марта 2009 г.). Обозначения как на рис. 3.1.

В фенологическом аспекте, существенное изменение солёности воды происходит в приповерхностном слое воды 0-4 м (рисунок 3.21-3.23). Колебания на глубине 7–10 метров отмечаются не в каждый сезон, а глубже изменения солёности между сезонами практически не происходит. Существенная разница между полигонами заключается в том, что на наиболее южном полигоне А в течение всего года отмечается распреснение поверхностного слоя воды (см. рисунок 3.21), в то время как на полигоне С значение солёности воды на поверхности в течение года неоднократно достигает значения 20 метрового горизонта (см. рисунок 3.23). По характеристикам сезонного хода солёности полигон В занимает промежуточное положение (см. рисунок 3.22).

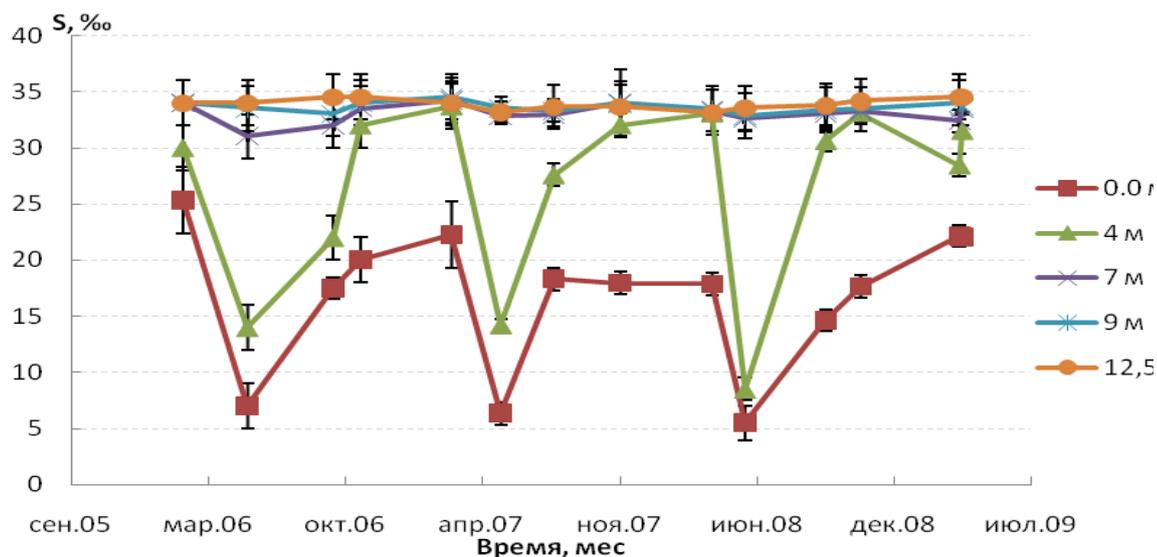


Рисунок 3.21 – Сезонные изменения солености воды (S , ‰) на разных глубинах в южном колене Кольского залива на полигоне А в период с сентября 2005 г. по июль 2009 г.

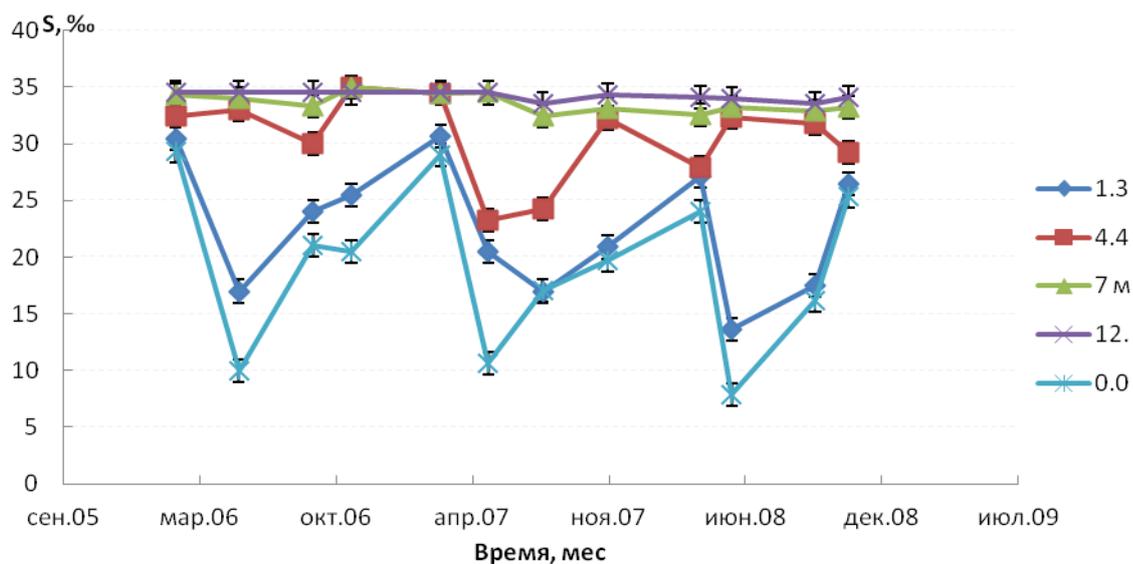


Рисунок 3.22 – Сезонные изменения солености воды (S , ‰) на разных глубинах в южном колене Кольского залива на полигоне В в период с сентября 2005 г. по июль 2009 г.

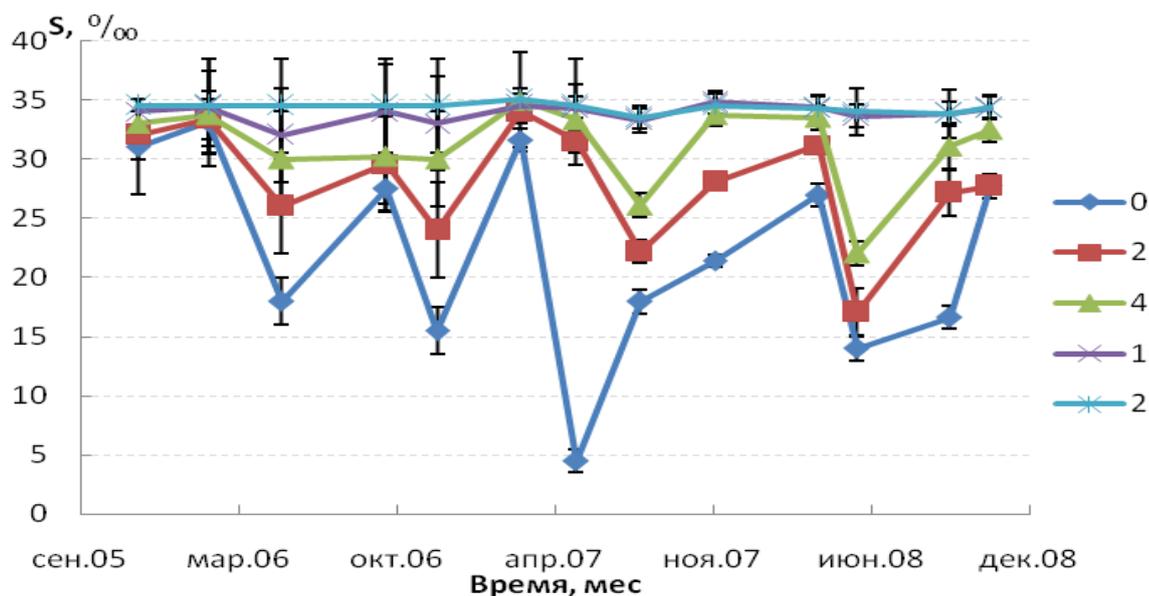


Рисунок 3.23 – Сезонные изменения солености воды (S , ‰) на разных глубинах в среднем колене Кольского залива на полигоне С в период с сентября 2005 г. по декабрь 2008 г.

Сезонные изменения солености воды на поверхности значительно превышают приливно-отливные колебания как на полигоне А, так и на полигоне В (рис. 3.24-3.25).

Межсезонные колебания солености в поверхностном слое воды на всех полигонах значительно превышают изменения внутри приливного цикла (рис. 3.24-3.25), в связи с этим, изменениями, вызванными локальными условиями можно пренебречь.

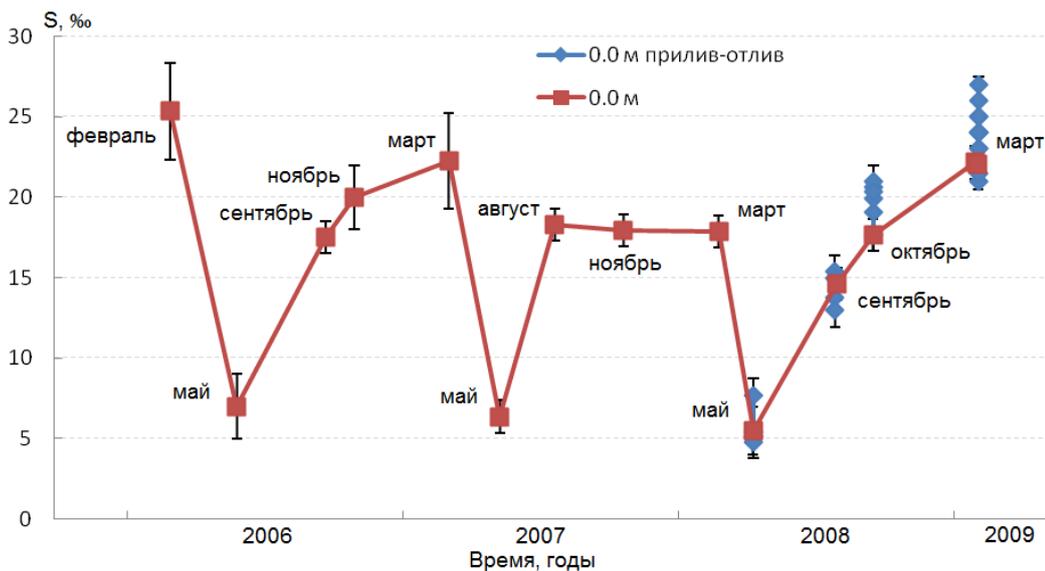


Рисунок 3.24 – Межсезонный и приливо-отливной диапазоны изменения солености воды (S , ‰) на поверхности в южном колене Кольского залива (полигон А), сентябрь 2005 г. – июль 2009 г.

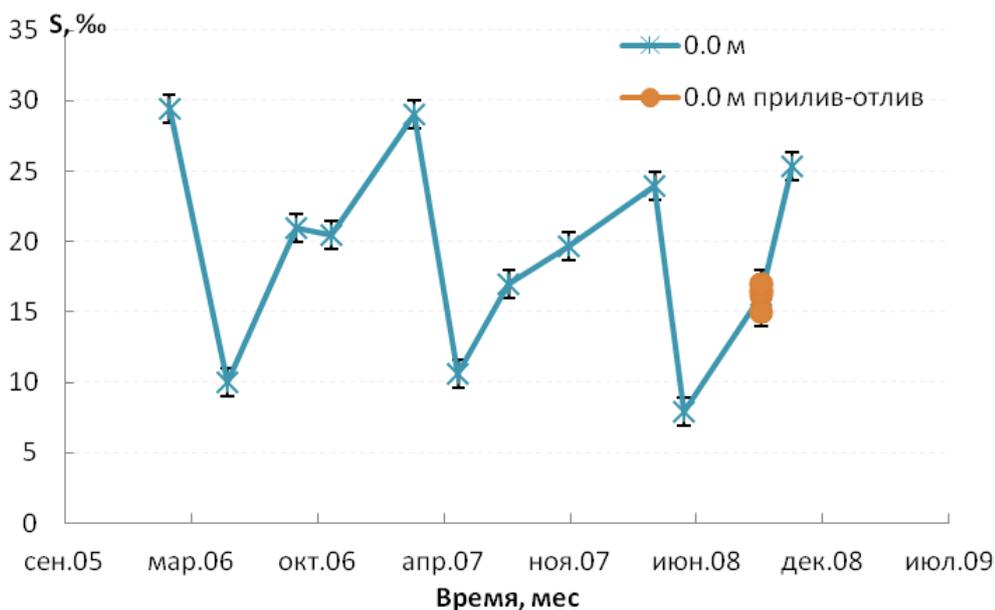


Рисунок 3.25 – Межсезонный и приливо-отливной диапазоны изменения солености воды (S , ‰) на поверхности в южном колене Кольского залива, полигон В, сентябрь 2005 г. – ноябрь 2008 г.

Заключение

В Кольском заливе впервые были проведены комплексные исследования термохалинной структуры прибрежных мелководий в течение нескольких сезонов подряд. Полученные данные вошли в работы, где исследовалась непосредственная связь между распространением крупных беспозвоночных в сублиторали Кольского залива с факторами среды [7; 9; 23; 24; 10]. Верхняя сублитораль является местом прохождения важнейших градиентов. Для крупных промысловых беспозвоночных существует «порог морской фауны» составляющий, по мнению некоторых авторов 17‰ [26]. В поверхностном слое происходят разнонаправленные процессы охлаждения воды от атмосферы и смешения с теплым Нордкаспским течением, поэтому здесь могут встречаться животные, относящиеся по биогеографической характеристике, как к арктической, так и к бореальной фауне. Поэтому подробные исследования термохалинной структуры верхней сублиторали настолько важны.

Температура воды. Диапазон изменений температуры воды в течение периода наблюдений составил от $-0,9^{\circ}\text{C}$ зимой 2009 г. на глубине 2,2 м, до $12,1^{\circ}\text{C}$ летом 2007 г на глубине 1,6 м. Максимальный диапазон изменения температуры воды в приливо-отливном цикле составил $1,5^{\circ}\text{C}$ в октябре 2008 г. Таким образом, на фоне сезонных колебаний, изменения температуры воды в течение приливно-отливного цикла весьма незначительны и ими, как факторами, влияющими на гидробионтов, можно пренебречь и рассматривать только годовые изменения.

Соленость. Максимальные изменения солености в приливно-отливном и годовом циклах приходятся на глубины от 0 до 3 м. Минимум отмеченной солености воды ($2,7\text{‰}$) приходился на май 2008 г, а максимум ($34,6\text{‰}$) на март 2009 г. Максимальный диапазон, наблюдаемый в полусуточном цикле

составил 10 промилле. Таким образом, наибольшее воздействие на гидробионтов оказывает сезонное изменение солености в заливе, а внутрисуточным ходом в большинстве районов можно пренебречь. На большей части Кольского залива, примерно до середины южного колена, с глубины 8-10 м соленость воды изменяется на десятые промилле и не оказывает заметного влияния на гидробионтов.

Результаты работы очень важны для описания условий существования гидробионтов в сублиторали Кольского залива. Прибрежные мелководья особенно сильно подвержены антропогенному влиянию, заселению новых видов, а также климатическим изменениям. Для мониторинга многолетних изменений знания о механизмах, происходящих на прибрежных мелководьях крайне важны. Результаты исследований вошли в раздел «Подводный мир» тома «Природа морской Арктики глазами биолога» [23].

Основные выводы

1. Амплитуда сезонных колебаний температуры в поверхностном слое (от 0 до 4 метров) полигона А в разные сезоны достигает 11,8 °С (от 0,3 до 12,1 °С), солености – 27,9 ‰ (от 5,7 до 33,6‰). Максимальная амплитуда самого мористого полигона Д по температуре составила 6,1 °С (от 2,7 до 8,8 °С), солености – 6,8 ‰ (от 26,5 до 33,3‰). Сезонная динамика температуры и солености поверхностного слоя сильно подвержена влиянию внешних факторов (температуры воздуха, ветрового перемешивания и распространяющегося по поверхности пресного стока и др.). С глубиной их влияние снижается и на первый план выходит влияние притока морских вод. Наблюдаются синхронные колебания температуры и солености в течение года на разных полигонах.

2. Максимальная амплитуда приливно-отливных колебаний температуры в поверхностном слое наблюдалась на полигоне А в осенний сезон и не превышала 1,5 °С (от 4,3 до 5,8 °С), солености – в весенний сезон и не превышала 10,0 ‰ (от 4,0 до 14,0 ‰). Наибольшее распреснение поверхностного слоя наступает спустя примерно час после малой воды. В придонном слое и на мористых полигонах приливно-отливные колебания температуры и солености в наблюдаемый период были минимальны (менее 0,5°С и 2,0 ‰).

3. Наибольшая соленость (34,6 ‰) отмечена, на 10 метрах глубины, в весенний сезон 2007 года спустя час после полной воды. Наибольшая температура (12,1 °С) отмечена, на поверхности, в летний сезон 2007 года, за час до большой воды. Наименьшая соленость (3,7 ‰) в весенний период 2008 года, спустя час после малой воды. Наименьшая температура (-0,9°С), отмечена, на поверхности, в весенний сезон 2009 года, за два часа до полной воды.

4. Размах сезонных колебаний температуры и солености значительно превышает изменение этих параметров в пределах приливно-отливного цикла, поэтому при анализе абиотических факторов, оказывающих влияние на гидробионтов верхней сублиторали Кольского залива, суточными колебаниями температуры и солености можно пренебречь.

Литература

1. Dedini, L.A, and Schemel, L.E., 1980, A continuous water-sampling and multiparameter-measurement system for estuaries: an improved system for small vessels: U.S. Geological Survey Open-File Report 80-1293, 49p.
2. Johnston J.J. Corbett M.D. The effects of temperature, salinity and a simulated tidal cycle on the toxicity of fenitrothion to *Callinectes sapidus* // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology Volume 80, Issue 1, 1985, Pages 145-149
3. He Z., Huangfu K., Yuan Y., Song D., Li L. Variations of temperature, salinity and current in the southern tidal passage of the Hangzhou Bay, China. *Acta Oceanologica Sinica*. 2016, Volume 35, Issue 3, pp 30-37
4. Menéndez M. C., Delgado A. L., Berasategui A. A., Piccolo M. C., Hoffmeyer M. S. Seasonal and Tidal Dynamics of Water Temperature, Salinity, Chlorophyll-a, Suspended Particulate Matter, Particulate Organic Matter, and Zooplankton Abundance in a Shallow, Mixed Estuary (Bahía Blanca, Argentina). *Journal of Coastal Research*. 2015. Vol. 17, pp. 68–85.
5. Montani S., Magni P., Shimamoto M., Abe N., Okutani K. The Effect of a Tidal Cycle on the Dynamics of Nutrients in a Tidal Estuary in the Seto Inland Sea, Japan. 1998 *Journal of Oceanography*, Vol. 54, pp. 65–76.
6. Okkonen, S.R. and S.S. Howell. 2003. Measurements of temperature, salinity, and circulation in Cook Inlet, Alaska. Final Report. OCS Study MMS 2003-036, University of Alaska Coastal Marine Institute, University of Alaska Fairbanks and USDO, MMS, Alaska OCS Region, 28 p.
7. Pavlova L.V., Zuyev Y.A. Species composition and distribution of echinoderms (Echinodermata) in the upper subtidal zone of Kola Bay, Barents sea // *Russian Journal of Marine Biology*. 2010. T. 36. № 2. C. 75-85.
8. Schemel E. Measurements of salinity, temperature, and tides in south San Francisco bay, California, at Dumbarton bridge: 1990-93 water years. U.S.

geological survey / Open-File Report 95-326. Menlo Park, California. 1995. 59 p.

9. Zuyev Y.A., Pavlova L.V. Peculiarities of Megabenthos Distribution in the Upper Sublittoral Zone of Kola Bay (the Barents Sea) // *Doklady Biological Sciences*, 2011, Vol. 439, pp. 253–257.

10. Zuyev Y.A., Pavlova L.V. Megabenthos of the Kola Bay (Barents Sea) (2012) in: Jørgensen, L.L., Anisimova, N., Storeng, A.B. (editors), 2012. Norwegian-Russian workshop, HAV 5, Biological – Geological Seabed Mapping and Monitoring in the Barents Sea. IMR-PINRO Joint Report Series 2012. Pp. 13–15.

11. Антипова Т.В. Некоторые данные о современном состоянии бентоса Кольского залива // *Бентос Баренцева моря. Распределение, экология и структура популяций*. Апатиты, 1984. С. 41–47.

12. Анциферова А.Р., Давыдов А.А. Современные климатические изменения // *Кольский залив: освоение и рациональное природопользование* / отв.ред. Матишов Г.Г. М.: Наука, 2009. С. 13–20.

13. Бочков Ю. А. Крупномасштабные колебания на разрезе "Кольский меридиан" и их прогнозирование // *Сб. докладов международного симпозиума «100 лет океанографических наблюдений на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море»*. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. С. 47–64.

14. Гагарина С.А., Дженюк С.Л. Речной сток и пресноводный баланс // *Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты*. Апатиты, 1997. С. 46–51.

15. Давыдов А.А. Изменения температуры воздуха на Кольском полуострове и ледовитости Баренцева моря во второй половине XX века // *Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность*. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 291–297

16. Дерюгин К. М. Фауна Кольского залива и условия ее существования. Записки ИАН. Физ.-мат. отд. Вып. 34. Петроград, 1915. 928 с.

17. Дженюк С.Л., Коротков С.В., Савельева С.П. Динамика вод // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты, 1997. С. 59–68.

18. Дженюк С.Л., Моисеев Д.В., Боровая Л.И., Ипатов А.Н. Океанологические характеристики и процессы // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / отв.ред. Матишов Г.Г. М.: Наука, 2009. С. 20–46.

19. Дженюк С.Л., Огурцова Т.Н. Климат // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты, 1997. С. 36–46.

20. Дженюк С.Л., Савельева С.П. Гидрофизические характеристики // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты, 1997. С. 51–59.

21. Зацепин В.И., Зенкевич Л.А., Филатова З.А. Материалы по количественному учету донной фауны литорали Кольского залива // Тр. ГОИНН. Л., 1948. Вып.6. С. 13-54.

22. Зенкевич Л. А. Фауна и биологическая продуктивность моря. – М. ; Л. : Сов. наука. – Т. 2 : Моря СССР, их фауна и флора, 1947. 588 с.

23. Зуев Ю.А., Голдин С.В. (соавторы раздела «Подводный мир»). Природа морской Арктики глазами биолога / Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН. – Ростов на Дону: изд. Южного научного центра РАН. 2011. 232 с.

24. Зуев Ю.А. Мегабентос верхней сублиторали Кольского залива Баренцева моря. Автореф. канд. дисс. (биол. наук), Санкт-Петербург, изд. ЦОП «КЦВ», 2012, 27 с.

25. Карсаков А. Л. Океанографические исследования на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море за период 1900–2008 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. 139 с.
26. Книпович Н.М. Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана. СПб., 1902. Т.1. 604 с.
27. Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / Коллектив авторов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 265 с.
28. Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. / Коллектив авторов. Отв. ред. Г.Г.Матишов. – М.: Наука, 2009. – 381 с.
29. Литке Ф.П. Четырехкратное путешествие в Северный Ледовитый океан на военном бриге "Новая Земля" в 1821-1824 годах / Ред., примеч. Я.А. Марголина. М.: Географгиз, 1948. 334 с.
30. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. Кольский залив в экологической и социально-экономической проблематике Баренц-региона // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты, 1997. С. 7–20.
31. Озерецковский Н.Я. Описание города Колы, что в Российской Лапландии // Озерецковский Н.Я. Описание Колы и Астрахани. – СПб., 1804. – С.1–82.
32. Пономарев В.И., Каплуненко Д.Д., Крохин В.В. Тенденция изменений климата во второй половине XX в. в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2005. №2. С.15–26.
33. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации // СПб.: РГГМУ. 2007. 278 с.
34. Справочник по климату СССР. Вып. 1, ч.2. Л., 1965. 358 с.
35. Танасийчук Н.П. Материалы к познанию фауны Баренцева моря. К вопросу о влиянии Нордкапского течения на фауну Кольского залива // Работы МБС. Т. 3. 1929. С. 1-31.

36. Терещенко В. В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. 71 с.

37. Фролова Е.А. Экологическое состояние бентоса Кольского залива // Экологическая ситуация и охрана флоры и фауны Баренцева моря. Апатиты, 1991. С.121–125.