

Ившин В.А., Педченко А.П.

(ФГУП ПИНРО)

Введение

Разработка долгосрочных гидрометеорологических и рыбопромысловых прогнозов тесно связана с изучением вопросов взаимосвязи и синхронизации различных природных процессов и явлений. Многолетняя практика проведения океанографических исследований показала, что для изучения закономерностей пространственной и временной изменчивости характеристик состояния водных масс наиболее репрезентативными являются данные многолетних наблюдений на стандартных разрезах. Они могут использоваться для мониторинга изменений климата, при разработке методов прогноза параметров среды и промыслово-биологических показателей, а также для решения других научно-прикладных задач.

Это предвидели ученые еще в конце XIX в., предложив на географической конференции в Стокгольме в 1899 г. проводить измерения на стандартных горизонтах и разрезах. С начала 20 века в Баренцевом море стали проводить наблюдения на разрезе «Кольский меридиан» (Книпович, 1901; Книпович, 1906), а к тридцатым годам на акватории моря уже была сформирована сеть разрезов, один из которых пролегал от мыса Нордкап до о-ва Медвежий.

Разрезы играют важную роль не только в исследовании океанографических процессов в Баренцевом море, но и в изучении различных аспектов функционирования морских экосистем (Бочков, 1980; Tereshchenko, 1992,1996; Адров, 1993). По наблюдениям на стандартных разрезах изучалась циркуляция вод (Кисляков, 1964, 1969; Кудло, 1970; Loeng, 1979; Loeng et al., 1997; Ingvaldsen et al., 1999), исследовались характеристики водных масс (Цехоцкая, 1985; Бойцов, 1995), создавались океанографические (Пенин, 1973; Фукс, 1980, Карсаков и др., 2001) и промысловые (Мухина, Двинина, 1989; Бойцов, 2005) прогнозы, а также решались многие другие задачи. И в настоящее время накопленные многолетние ряды данных, таких как «Кольский меридиан», разрез через Фареро-Шетландский пролив и т.д., широко используются в современных исследованиях (100 years of..., 2005).

Проникновение атлантических водных масс на акваторию Баренцева моря создает его характерный климат и высокую биологическую продуктивность. Для отслеживания характеристик этих вод на западных границах моря российские океанологи используют «вековой» разрез м. Нордкап – о. Медвежий, а норвежские эксперты из Бергенского

института морских исследований (БИМИ, Норвегия) - разрез Фулей – о. Медвежий (Рис. 1). Координаты стандартных станций рассматриваемых разрезов приведены в Таблице 1. Нумерация станций начинается от побережья Норвегии в сторону о. Медвежий.

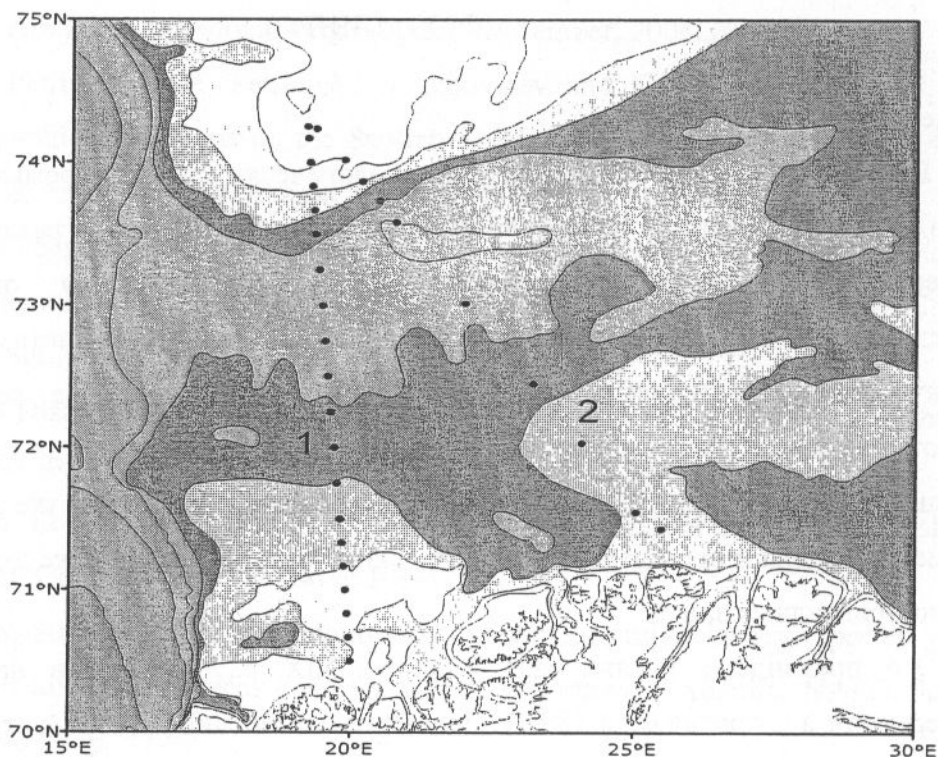


Рис. 1. Положение норвежского разреза Фулей – о. Медвежий (1) и российского разреза м. Нордкап – о. Медвежий (2)

Таблица 1 - Координаты стандартных станций разрезов Фулей – о. Медвежий и м. Нордкап – о. Медвежий

Номер станции	Разрез Фулей - о. Медвежий			Разрез м. Нордкап – о. Медвежий		
	Широта	Долгота	Глубина, м	Широта	Долгота	Глубина, м
1	70°30' N	20°00' E	129	71°26' N	25°29' E	298
2	70°40' N	19°58' E	158	71°33' N	25°02' E	288
3	70°50' N	19°56' E	186	72°02' N	24°04' E	278
4	71°00' N	19°54' E	188	72°27' N	23°12' E	311
5	71°10' N	19°52' E	215	73°01' N	22°00' E	429
6	71°20' N	19°50' E	207	73°35' N	20°46' E	491
7	71°30' N	19°48' E	231	73°44' N	20°28' E	419
8	71°45' N	19°44' E	265	73°52' N	20°09' E	260
9	72°00' N	19°41' E	307	74°01' N	19°50' E	129
10	72°15' N	19°37' E	322	74°14' N	19°20' E	65
11	72°30' N	19°34' E	385			
12	72°45' N	19°31' E	398			
13	73°00' N	19°28' E	410			
14	73°15' N	19°24' E	445			
15	73°30' N	19°20' E	476			
16	73°40' N	19°18' E	344			
17	73°50' N	19°16' E	232			
18	74°00' N	19°13' E	139			
19	74°10' N	19°11' E	80			
20	74°15' N	19°10' E	55			

«Вековой» разрез м. Нордкап – о. Медвежий (НМ) следует отнести к уникальным разрезам: общее количество его выполнений превысило 670 раз (Рис. 2) за период наблюдений около 80 лет. Регулярные наблюдения на разрезе Фулей – о. Медвежий (ФМ) начаты в конце 1970-х годов, и частота его выполнения, как правило, составляет 6 раз в год.

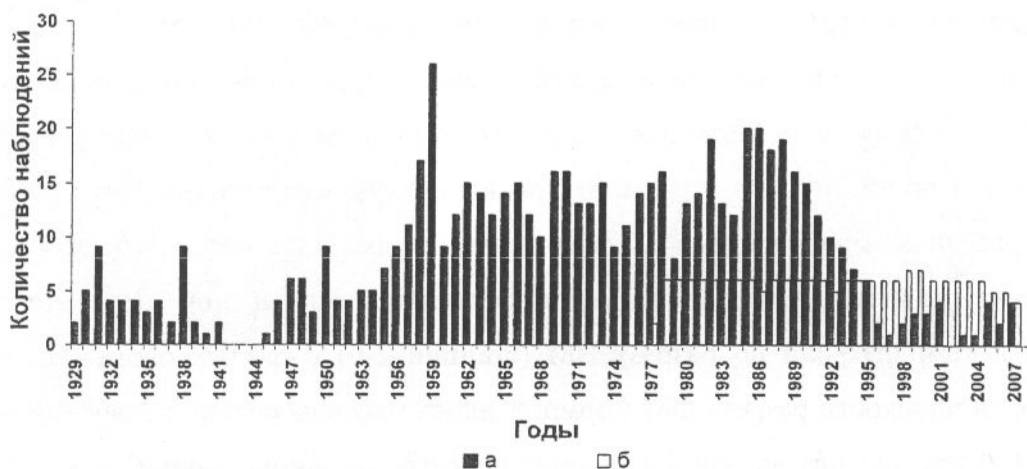


Рис. 2 - Количество наблюдений на российском разрезе м. Нордкап–о. Медвежий (а) и норвежском разрезе Фулей – о. Медвежий (б) в 1929-2007 гг.

Идея проанализировать изменчивость и согласованность изменений океанографических характеристик на двух разрезах была обусловлена сокращением наблюдений на российском разрезе в последнее десятилетие, необходимостью устранения пропусков и продления временных рядов наблюдений на каждом из разрезов. Результаты этого исследования представлены в данной статье.

Материалы и методы

В работе использовались данные океанографических наблюдений за период с 1977 по 2007 гг., собранные ПИНРО на стандартном «вековом» разрезе НМ и любезно предоставленные БИМИ материалы наблюдений на разрезе ФМ. Были подготовлены ряды средневзвешенных значений температуры воды и солёности, рассчитанные по известному методу Н.Н. Зубова (Зубов, 1926).

Изучение согласованности изменения термохалинных характеристик на разрезах. На первом шаге, на разрезе НМ отыскивался оптимальный пространственный участок, где бы согласованность термохалинных характеристик с разрезом ФМ была наилучшей. В общем виде, поле корреляций ($r_{P_1P_2}$) в плоскости разреза НМ формировалось на основе статистических связей двух временных рядов: P_1 – временной ряд температуры/солёности на разрезе ФМ в рассматриваемом месяце; P_2 – временной ряд

температуры/солености на разрезе НМ в рассматриваемом месяце на стандартной станции (1-10) на стандартном горизонте (0, 10 ... 400 м).

Таким образом, было рассчитано (Т,S * рассматриваемые месяцы * стандартные станции разреза НМ * стандартные горизонты) около 1200 парных коэффициентов корреляции. По рассчитанным коэффициентам корреляции для каждого месяца и каждого года строились вертикальные поля в плоскости разреза НМ с шагом сетки 10 миль по горизонтали и 20 м по вертикали. Для обобщения корреляций строилось многолетнее поле (за рассматриваемые месяцы) путем осреднения одноименных узлов расчетной сетки.

Для более точного выделения границ наилучшего участка осреднения на разрезе ФМ, рассчитывались парные коэффициенты корреляции между средними значениями температуры воды на каждой стандартной станции и стандартном горизонте разреза ФМ и средней температурой по разрезу НМ (станции 2-6) в разных слоях. По выделенному участку в плоскости разреза ФМ формировались массивы средних значений температуры, которые являлись независимой переменной в регрессионном анализе.

Восстановление временной серии наблюдений на разрезе м. Нордкап - о. Медвежий основывалось на применении регрессионного анализа. Выбор данного статистического метода анализа обуславливался следующими причинами:

- простота метода;
- большой спектр «инструментария» по анализу надежности получаемых оценок;
- возможность физической интерпретации статистических результатов;
- широта применения в океанографической практике.

Как отмечалось выше, одной из независимых переменных являлась температура воды на учетных участках норвежского разреза ФМ. Другой независимой переменной являлся ряд, который характеризовал разность в сроках наблюдений. Целесообразность введения данного ряда в анализ при описании термики воды на разрезе НМ обосновывалось тем, что его использование учитывало погрешность, связанную с временным сдвигом в датах наблюдений, а также позволяло пересчитывать уравнения регрессии на конкретную дату.

Результаты исследований

Существующее представление системы циркуляции вод на входе в Баренцево море позволяет определить, что отклик термохалинных характеристик вод в плоскости разреза ФМ можно проследить на разрезе НМ. Степень их согласованности в поле температуры достаточно четко прослеживается (Рис. 3).

Полученное поле корреляций для января показывает наличие значимых связей в обширной плоскости разреза НМ. Наиболее высокие коэффициенты корреляции ($r > 0.75$)

отмечаются в районе станции 3 на глубинах 50 – 150 м и отдельными локальными пятнами на станциях 4, 6 и 7. В марте идентичная область повышенных коэффициентов корреляции ($r > 0.75$) расширяется и занимает большую часть от 1-й до 5-й станции от поверхности до глубин 250 м. Максимальная теснота связи между температурой воды на разрезах ФМ и НМ достигается в апреле-мае. Для этого периода года только в районе станции 10 коэффициенты корреляции являются мало значимыми.

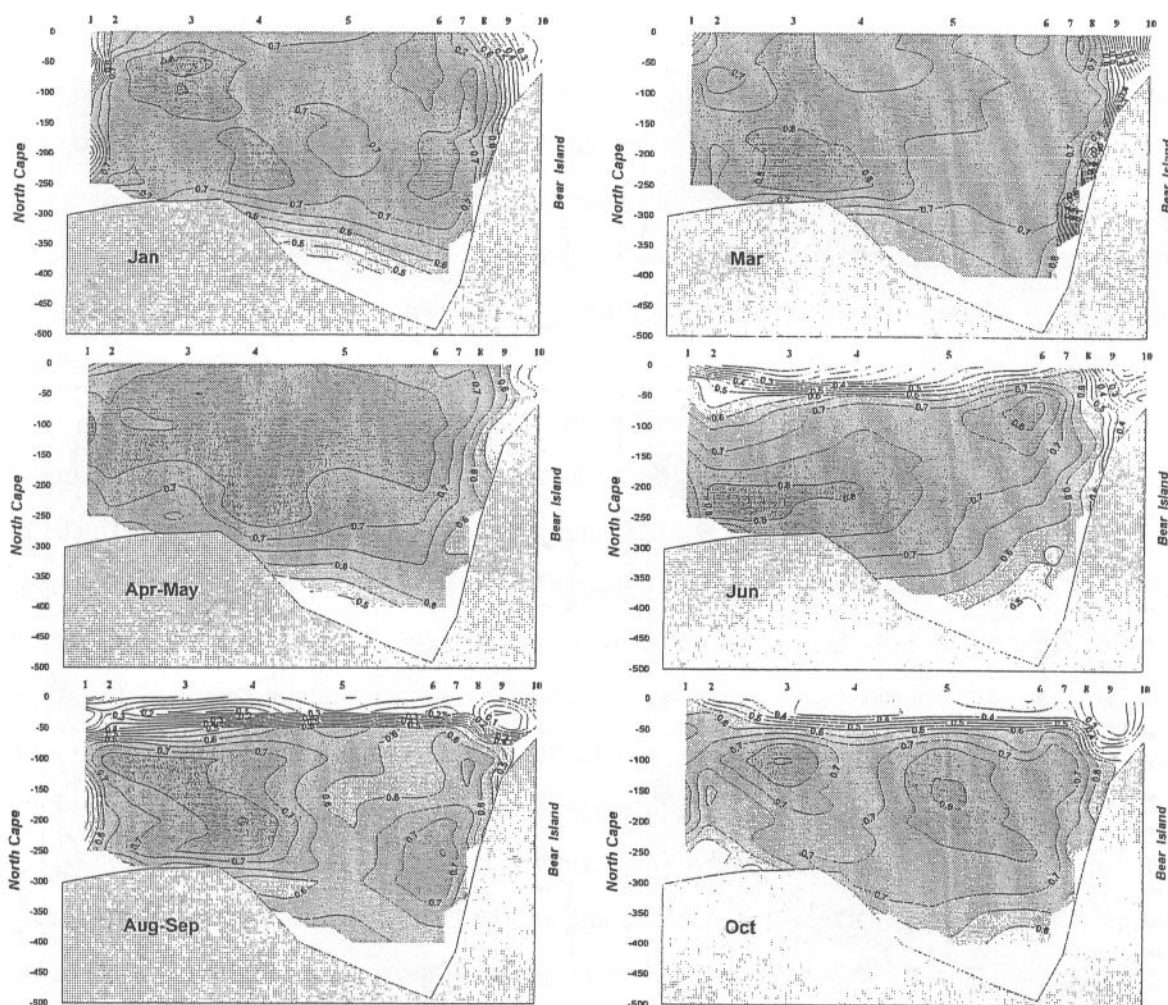


Рис. 3. Корреляции средневзвешенных значений температуры воды в слое 50-200 м на ФМ (ст. 7-15) и температурой на стандартных станциях и горизонтах НМ в январе, марте, апреле-мае, июне, августе-сентябре, октябре (Ivshin, Pedchenko, Skagseth & Ingvaldsen, 2007)

С началом теплого периода года происходит изменение структуры поля корреляций в плоскости разреза НМ. Отмечается общее уменьшение тесноты связи. В первую очередь это относится к поверхностным горизонтам. В июне прослеживается две локализованные области повышенных значений корреляции ($r > 0.75$): одна между 1-й и 4-й станциями разреза на глубинах 150-250 м, вторая – в районе станции 6 в слое 50 – 150 м. Причем, в ядре этих областей коэффициенты корреляции могут превышать 0,8.

Август-сентябрь, по расчетам, являются месяцами минимальной согласованности между температурой на рассматриваемых разрезах, тем не менее, области значимых коэффициентов корреляции довольно протяженные. В октябре отмечается некоторое увеличение значений корреляции по сравнению с августом-сентябрем, с максимумами на 3-й и 5-й станциях разреза в диапазоне глубин 75-200 м.

Показатели согласованности изменений солености на двух разрезах меньше, чем величина связи по температуре (Рис. 4).

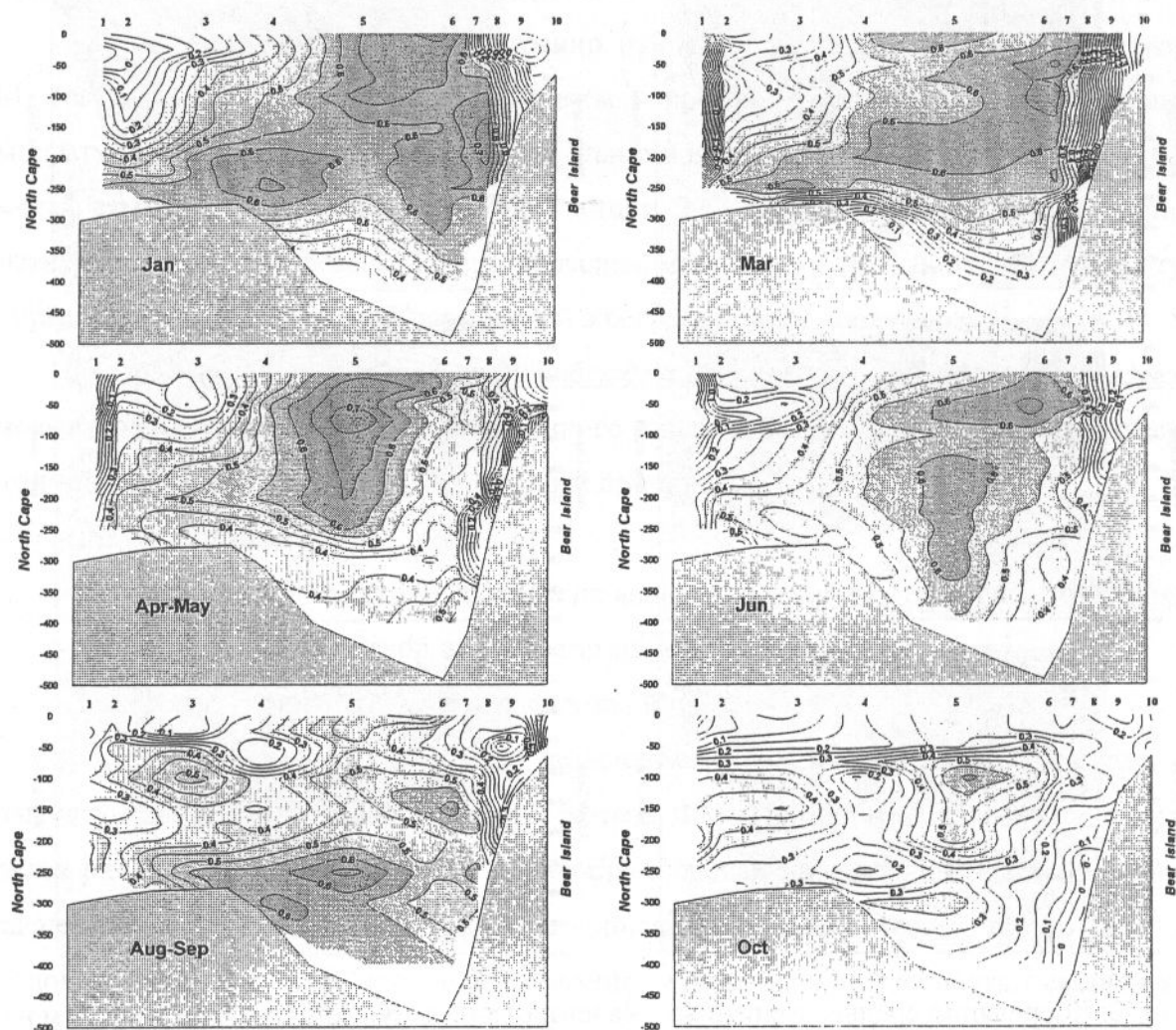


Рис. 4. Корреляции средневзвешенных значений солености в слое 50-200 м на ФМ (ст. 7-15) и соленостью на стандартных станциях и горизонтах НМ в январе, марте, апреле-мае, июне, августе-сентябре, октябре (Ivshin, Pedchenko, Skagseth & Ingvaldsen, 2007)

Также как у температуры воды, степень согласованности изменения солености выше в холодный период года. В январе максимальные коэффициенты корреляции (0,6 и выше) наблюдаются на 5-й и 6-й станциях разреза от поверхности до глубин 250 м, а на станции 7 на глубине 200 м корреляция превышает 0,7. На крайних станциях разреза связь может быть даже обратной. В марте область повышенных коэффициентов корреляции практически повторяет январское распределение.

В апреле-мае отмечается общее уменьшение тесноты связи по сравнению с предыдущими месяцами. Здесь наиболее тесные связи между рядами солёности обнаруживаются в районе станции 5 разреза НМ. В июне максимумы тесноты связи прослеживаются в районе станций 5, 6. Следует заметить, что происходит некоторое заглубление области повышенных коэффициентов корреляции. Так, если в апреле-мае данная область располагалась в верхнем 200-метровом слое, то в июне она может опуститься ниже 300 м. Дальнейшее заглубление представленной области прослеживается в августе-сентябре, когда верхняя ее граница находится на 200 м. В целом август можно охарактеризовать месяцем хаотичного распределения значений коэффициентов корреляции. Октябрь менее всего согласован по рядам солёности, практически на всей плоскости разреза устойчивых областей значимых связей обнаружено не было.

Для принятия решения выбора оптимального диапазона осреднения данных на разрезе НМ были построены средние поля коэффициентов корреляции за рассматриваемые месяцы (Рис. 5).

Как видно из приведенных рисунков, для температуры воды область повышенных корреляций ($r > 0.7$) занимает довольно обширную область от 2-й до 6-й станции с ядром ($r > 0.75$) в районе станций 3-4 в диапазоне глубин 100-250 м. Исходя из общего графика (см. Рис. 5) и месячных полей корреляций (см. Рис. 3, 4) было принято решение, что оптимальным диапазоном осреднения будет участок между станциями 3-6. Привлечение станции 2 может привести к ослаблению связи между термическими характеристиками вод, т.к. в летние месяцы (июнь, август-сентябрь, см. Рис. 4) в поверхностном слое наблюдается значительное снижение коэффициентов корреляции.

Среднее поле солёности достаточно четко отражает степень связи между рассматриваемыми разрезами. Наибольшая согласованность халинных характеристик вод отмечается в районе 5-й станции, в направлении севера и юга связь плавно уменьшается. С учетом месячных полей корреляций (см. Рис. 5) между халинными характеристиками вод на рассматриваемых разрезах к осреднению были приняты станции 4-7. Для анализа качества предложенного подхода был выполнен регрессионный анализ для определения меры связи условий на норвежском разрезе ФМ (станции 7-15, слой 50-200 м) с данными измерений характеристик вод на российском разрезе НМ.

Установлено, что в холодный период года наблюдается достаточно высокая степень согласованности термических характеристик вод на рассматриваемых разрезах (Рис. 6). В январе коэффициент детерминации между средними значениями температуры воды составил около 0,9. По данным наблюдений температура воды на разрезе ФМ в этом месяце в среднем на 0,7 °С выше, чем на НМ, при стандартном отклонении 0,2 °С. Для марта была получена максимальная согласованность ($R^2 > 0.94$) рядов температуры.

Разница температур между двумя разрезами сохранилась на том же уровне (0,67 °С), при уменьшении стандартного отклонения до 0,14 °С. Высокая степень сопряженности рядов ($R^2 > 0.93$) наблюдалась и в апреле-мае. При этом разница в теплосодержании вод между разрезами несколько уменьшилась и составила 0,5 °С со стандартным отклонением 0,16 °С.

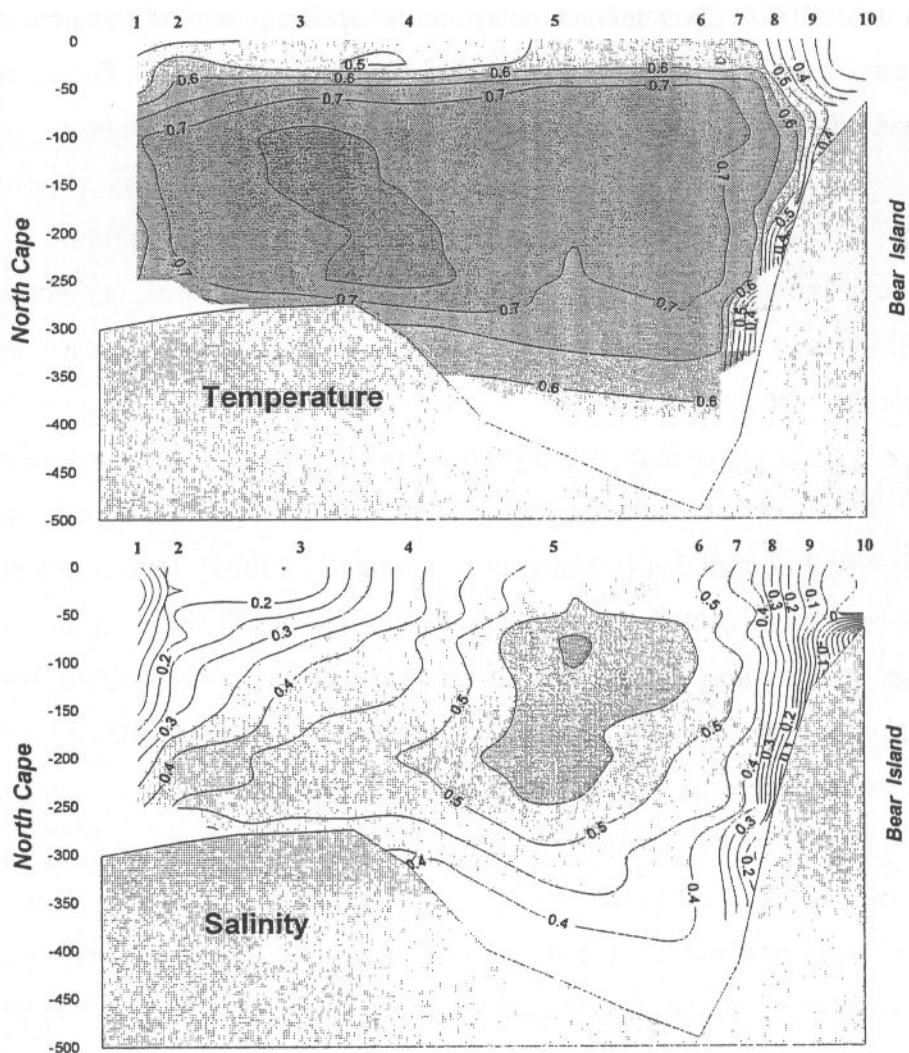


Рис. 5. Среднее для всех сезонов распределение коэффициентов корреляции температуры и солености на разрезе НМ (Ivshin, Pedchenko, Skagseth & Ingvaldsen, 2007)

Для теплого периода года связь между термическими характеристиками вод на разрезах уменьшилась (Рис. 7). Для июня множественный коэффициент корреляции между средними значениями на разрезах составил 0,87. Воды на разрезе ФМ были на 0,5°С теплее, чем на разрезе НМ при стандартном отклонении 0,2 °С. Для августа-сентября и октября были получены уравнения регрессии с одинаковым коэффициентом детерминации ($R^2 > 0.85$). При этом в августе-сентябре разница между средними значениями температуры воды составила 0,55 °С (стандартное отклонение 0,18 °С), а в октябре 0,66 °С (стандартное отклонение 0,22 °С).

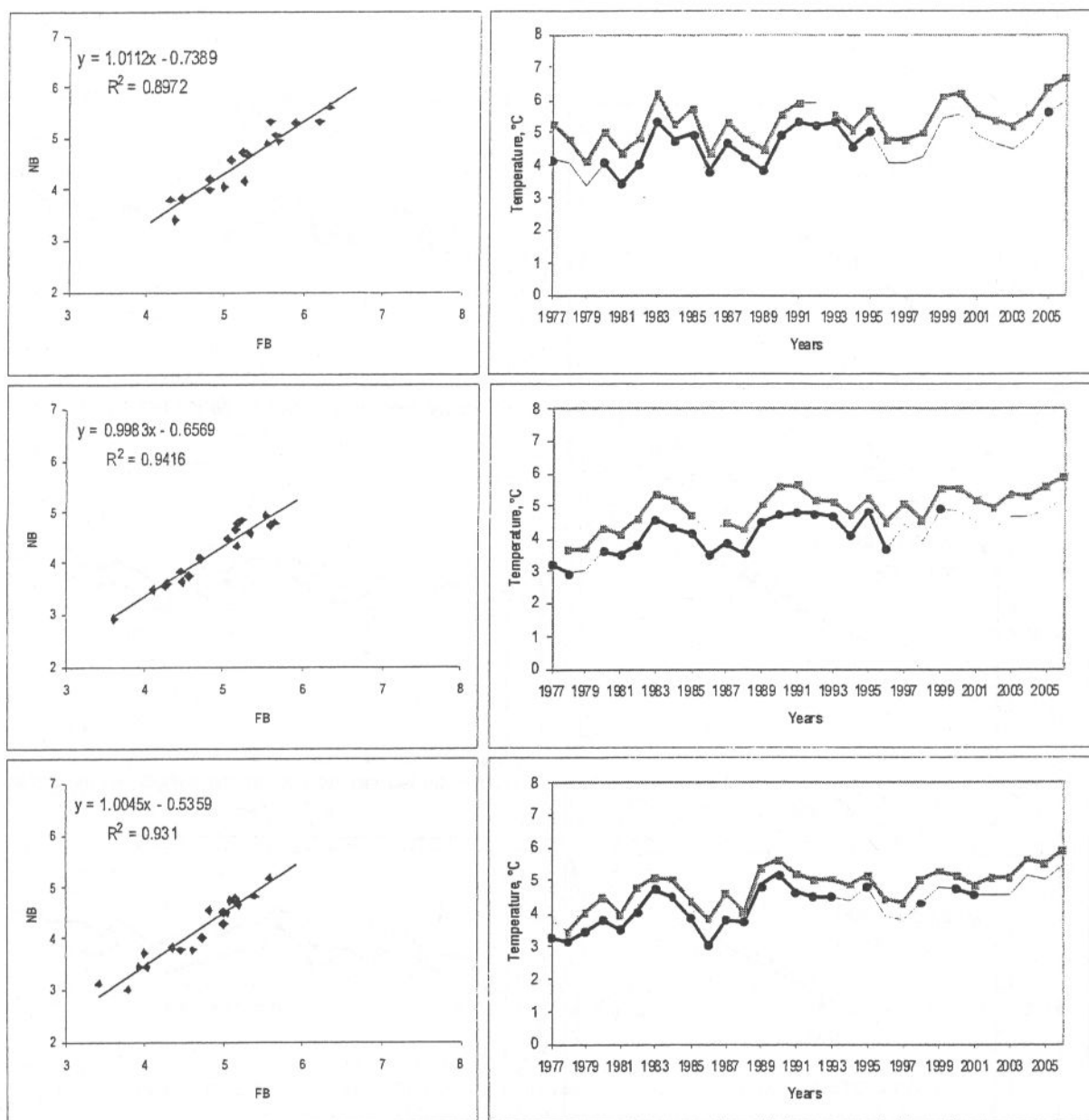


Рис. 6. Регрессии между средней температурой на разрезах ФМ (серая линия) и НМ (черная линия) в январе, марте, мае соответственно. (Тонкой линией показаны восстановленные значения)

Регрессионный анализ халинности вод на разрезах показал о меньшей сопряженности средних значений (Рис. 8, 9). Для холодного периода года, также как и у температуры воды, согласованность средних значений солёности была выше, чем в тёплый сезон. Максимальный уровень связи между солёностью вод был определен для января и марта. В эти месяцы рассчитанный коэффициент детерминации достигал 0,78. В январе средние ее значения на разрезах практически были одинаковы (разница составила 0,007 при стандартном отклонении 0,023), а в марте воды на разрезе ФМ на 0,026 были солонее (стандартное отклонение 0,022), чем на НМ. В апреле-мае согласованность рядов солёности определялась коэффициентом детерминации 0,74. Солёность в апреле-мае на

разреze ФМ была на 0,01 выше, чем на НМ, при этом стандартное отклонение составило 0,028.

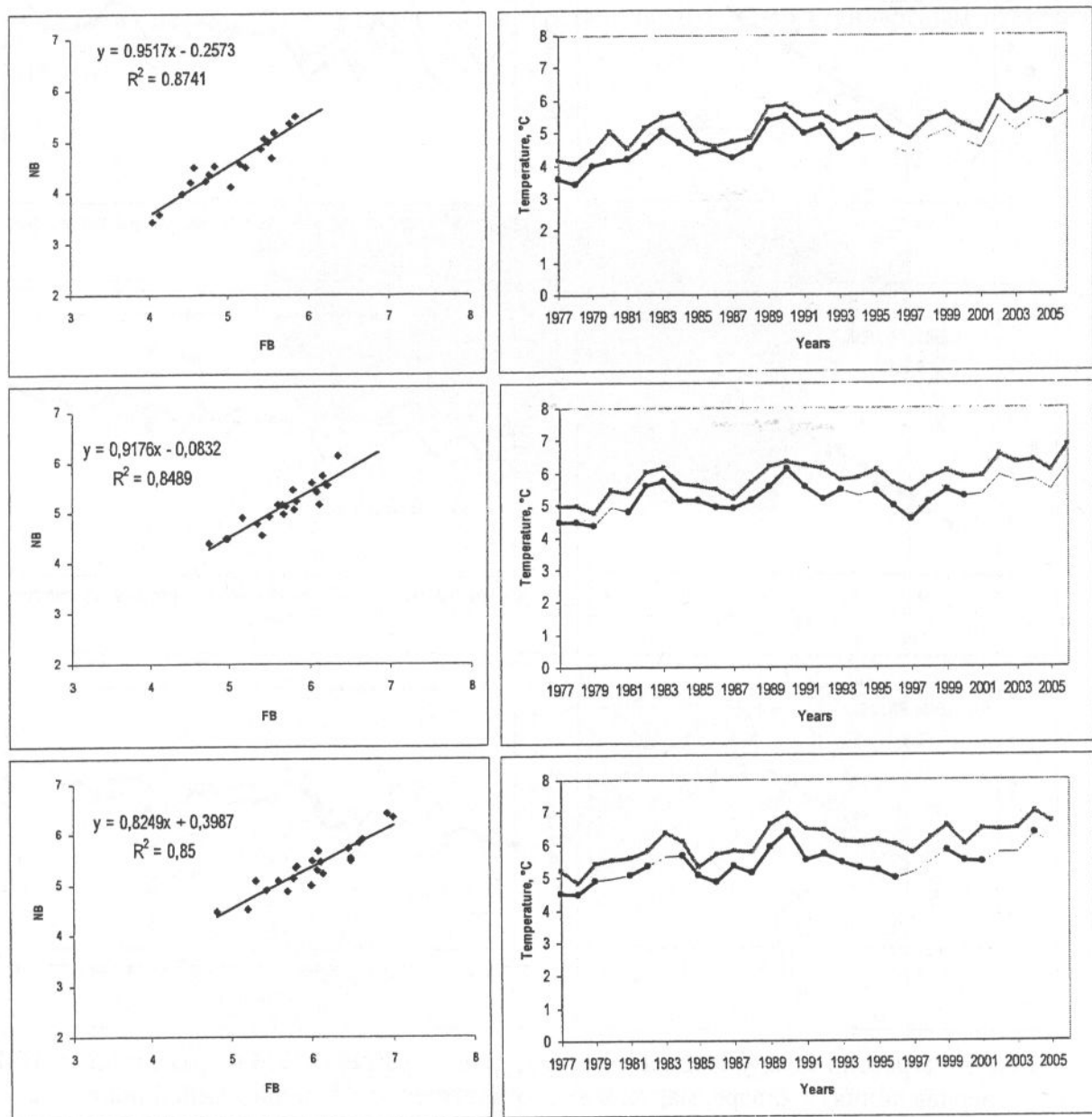


Рис. 7. Регрессии температуры в июне, августе, октябре соответственно (Усл. обоз. см. на рис. 6)

Для июня и августа-сентября множественные коэффициенты корреляции между халинностью вод составили около 0,7 (см. Рис. 9). В эти месяцы воды в створе разреза ФМ были солонее вод разреза НМ. Разность между средними значениями солености в июне была 0,033 (стандартное отклонение 0,028), а в августе-сентябре 0,038 (стандартное отклонение 0,025). К сожалению, для октября значимых связей между халинными характеристиками на рассматриваемых разрезах выявлено не было.

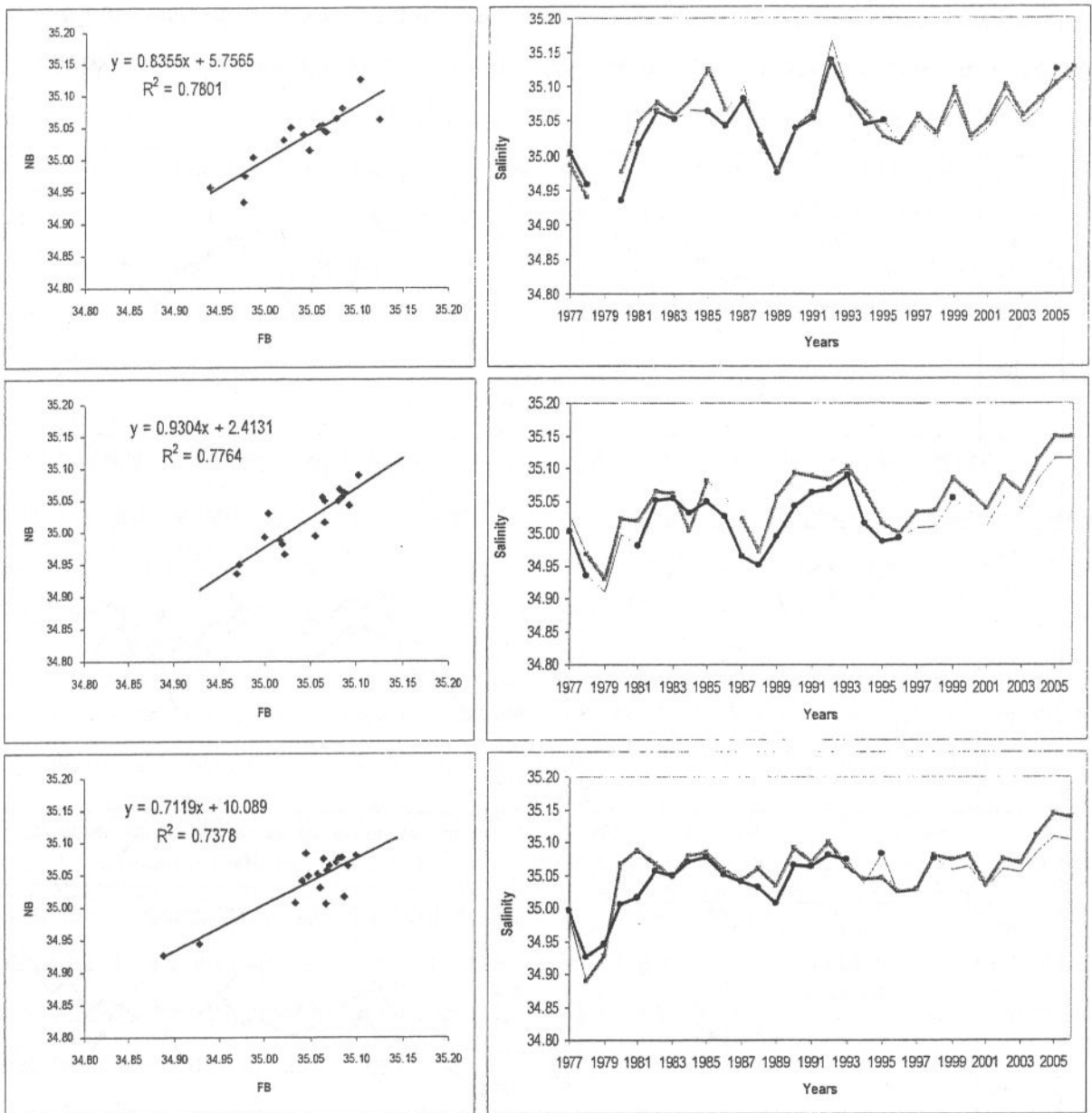


Рис. 8. Регрессии солености в январе, марте, мае соответственно
(Усл. обоз. см. на рис. 6)

Обсуждение

Существующая тесная корреляционная связь изменения T, S характеристик на разрезах ФМ и НМ не первый взгляд предполагает достаточно простое решение задач по определению согласованности временной изменчивости температуры и солености вод. Так, часть разреза ФМ между 7-15 станциями, по которым происходило определение средневзвешенных характеристик вод, примерно соответствует 3-7 станциям разреза НМ, как по протяженности, так и по диапазону глубин (см. Таблицу 1). Тем не менее, некоторые различия в сезонном изменении океанографических характеристик на разрезах (выход потока атлантических вод на материковый шельф; наличие холодного Медвежинского течения в северной части разреза и теплого и распресненного Норвежского прибрежного течения, на границах которых образуются развитые

фронтальные зоны; пресноводный материковый сток; процессы образования и таяния льда и т.д.) определяют ряд специфических условий, учет которых является необходимым.

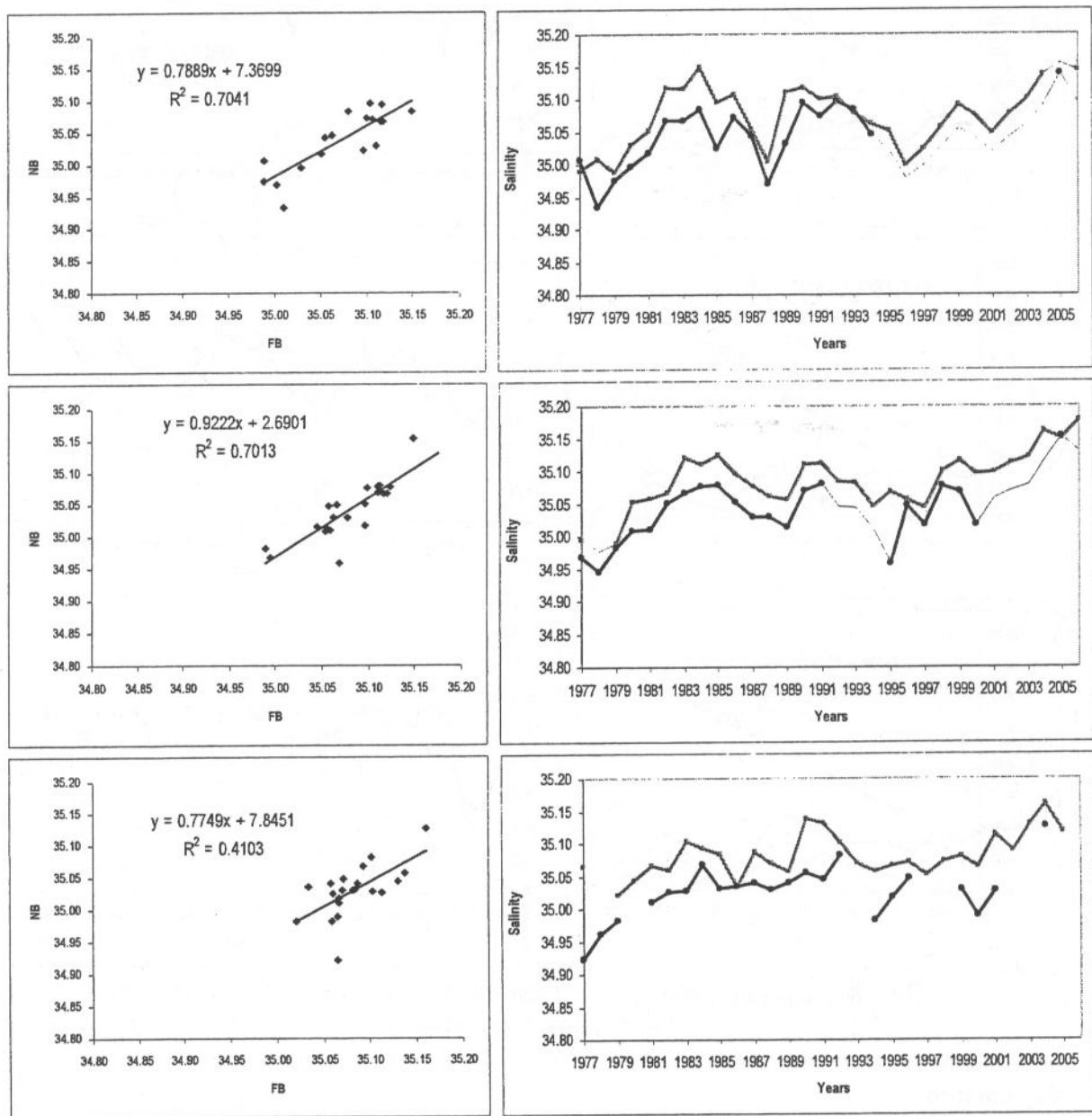


Рис. 9. Регрессии солености в июне, августе, октябре соответственно (Усл. обоз. см. на рис. 6)

Вертикальные поля корреляций температуры (см. Рис. 3, 5) достаточно четко характеризуют общий перенос вод между двумя разрезами. В холодный период года (январь, март, апрель-март) коэффициенты корреляции относительно высокие в большей толще вод. Вероятно, это вызывается хорошо развитыми процессами перемешивания, и, как следствие, высокой однородностью температуры по вертикали. В теплое время года (июнь, август-сентябрь, октябрь), в период существования сезонного термоклина, температура верхнего 30-50 метрового слоя на разрезе НМ абсолютно не согласуется с термическими характеристиками вод слоя 50-200 м на разрезе ФМ. Наличие

горизонтальных «градиентов» в полях корреляций на разрезе НМ севернее 8-ой станции разреза обусловлены влиянием арктических вод (Ожигин, Ившин, 1999), переносимых Медвежинским течением. В южной части разреза, в прибрежных водных массах, данные «градиенты» выражены слабее, тем не менее, в отдельные месяцы отмечается значительное уменьшение коэффициентов корреляции в районе станции 1. Несколько неожиданно были получены локальные максимумы коэффициентов корреляции температуры воды в районе станций 3-4 в диапазоне глубин 50-250 м, для объяснения которых необходимо проводить дополнительные исследования, выходящие за рамки данной работы.

В поле солёности коэффициенты корреляции (см. Рис. 4, 5), ожидаемо, не были настолько высокими, как в поле температуры, в силу «консервативности» халинных характеристик вод. Отмечено, что любые неточности в определении солёности, а также различия в сроках наблюдений негативно отражались на степени связи рассматриваемых рядов. Наибольшие коэффициенты корреляции для солёности были получены между водами станций 7-15 разреза ФМ и станции 5 разреза НМ. Область значимых корреляций располагалась между 4-й и 7-й станциями на разрезе НМ в январе, марте. В апреле-мае, июне она сужалась до станций 4-6 разреза НМ, а в августе-сентябре и октябре была значимой только в районе станции 5. По построенным полям корреляций в поле солёности отчетливо прослеживаются халинные фронты, пересекающие разрез на юге вблизи станции 1 и на станциях 8-9 в северной части. Одной из возможных причин уменьшения коэффициентов корреляции солёности в августе-сентябре, октябре может являться ослабление адвекции атлантических вод.

Особенности структуры полей корреляции температуры и солёности в частности можно проследить по величинам стандартных отклонений этих параметров вод на Рис. 10.

На приведенных рисунках отображено распределение стандартного отклонения температуры/солёности в плоскости разреза НМ, в период наилучших (март) и ослабленных (октябрь) связей, которые отражают основные особенности структуры вод (максимумы в районах фронтальных зон, минимумы – в районах наилучшей сопряженности термохалинных характеристик). Следует обратить внимание на положение изолиний одинаковых значений стандартных отклонений температуры и солёности. В период наилучшей согласованности параметров (март) изолинии стандартных отклонений имеют практически вертикальную направленность. Таким образом, данные наблюдений по станции, которые привлекаются к осреднению, имеют некоторую одинаковую величину погрешности, т.е. вес каждого значения в общем среднем примерно одинаков. Для периода слабых корреляций (октябрь) изолинии стандартных отклонений характеризуются некоторым горизонтальным положением. В этом случае, значения

температуры и солености на разных горизонтах имеют разные веса, и вклад отдельного наблюдения может повлиять на их общее среднее, что в свою очередь отразится на уровне связи (возникает условие неустойчивости). Поэтому, при выборе пространственного интервала осреднения по разрезу необходимо учитывать не только меру связи, но и величину стандартного отклонения.

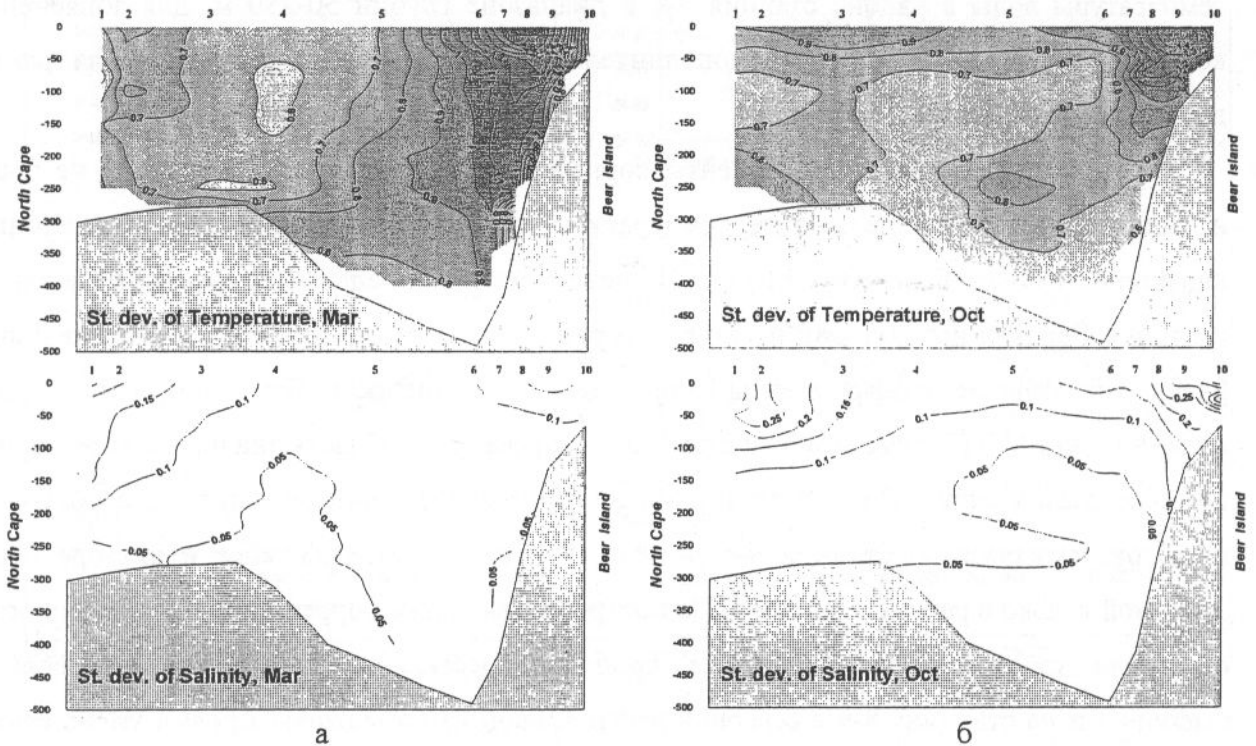


Рис. 10. Стандартное отклонение температуры и солености в марте (а) и октябре (б) (Ivshin, Pedchenko, Skagseth & Ingvaldsen, 2007)

Уравнения регрессии, характеризующие сопряженность солености вод, оказались менее согласованными (коэффициенты детерминации 0,70-0,78), а для октября вообще незначимыми (см. Рис. 9, 10). Как отмечалось выше, отсутствие значимых связей, возможно, определяется ослаблением потока атлантических вод. Мозаичное распределение коэффициентов корреляции солености в плоскости разреза НМ в октябре (см. Рис. 5) дает повод предположить, что халинная структура вод на разрезе ФМ в октябре совершенно иная. В связи, с чем для сопоставления октябрьских данных необходимы дополнительные и более детальные исследования.

Полученные результаты позволили вплотную подойти к решению основной задачи исследования – поиску оптимального метода восстановления временной серии наблюдений на «вековом» разрезе НМ по данным норвежского разреза ФМ.

Хорошо известно, что температура воды в западных районах Баренцева моря имеет выраженный сезонный ход, вследствие чего различия в температуре воды на рассматриваемых разрезах будут возникать не только из-за пространственного шага, но и

временного сдвига, обусловленного разными сроками наблюдений. В отдельные месяцы связь разности температур с разностью сроков наблюдений может быть достаточно существенна (Рис. 11).

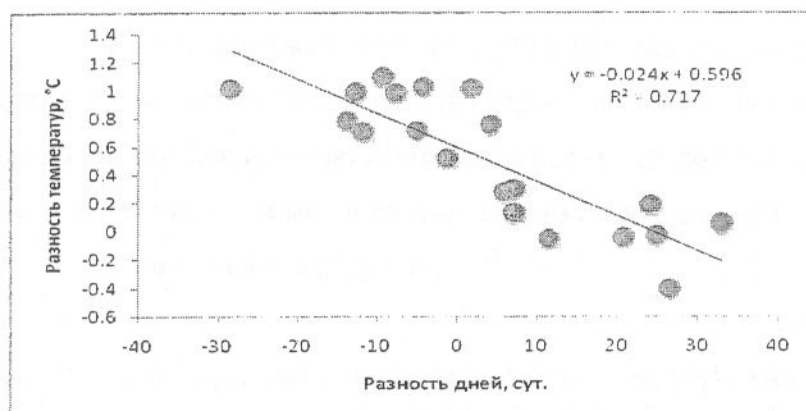


Рис. 11. Зависимость разности температур на разрезах НМ и ФМ от сроков наблюдений в октябре в слое 0-50 м

В целом было выявлено, что наиболее тесные связи между этими показателями отмечаются в периоды интенсивной отдачи/накопления тепла, а минимальные в периоды сезонных экстремумов (Таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между разностью температур и разностью сроков наблюдений на разрезах ФМ и НМ.

Месяц	Слой, м		
	0-50	0-200	50-200
Январь	0,733	0,709	0,635
Март	0,401	0,305	0,365
Апрель-Май	0,000	0,155	0,202
Июнь	0,505	0,190	0,412
Август-Сентябрь	0,158	0,382	0,402
Октябрь	0,847	0,148	0,281

Как видно из приведенной таблицы, наилучшие связи отмечаются в слое 0-50 м, что обуславливается более выраженным годовым ходом температуры воды. Максимальные коэффициенты корреляции отмечаются в периоды интенсивной отдачи (в нашем случае октябрь, январь) и накопления (июнь) тепла. В сроки локальных минимумов (март, апрель-май) и максимумов (август-сентябрь) сезонного хода температуры воды теснота связи становится не значимой.

В слоях 0-200 и 50-200 м сезонное изменение температуры не такое значительное, что отражается на уменьшении коэффициентах корреляции. Также, следует отметить, что в этих слоях из-за смещения экстремумов годового хода температуры воды отмечается некоторый сдвиг минимумов корреляций относительно слоя 0-50 м.

Таким образом, при построении регрессионных уравнений по описанию изменчивости температуры воды в плоскости разреза НМ (T_{HM}) использовались два ряда:

- средневзвешенная температура на разрезе ФМ (станции 5-12) в соответствующем слое (T_{FM});

- разность в сроках наблюдений (Δt), выраженная в днях.

Корреляционный анализ двух независимых рядов выявил отсутствие между ними значимых статистических связей, и, соответственно, свойства мультиколлинеарности.

В общем виде регрессионные уравнения были представлены, как:

$$T_{HM} = a T_{FM} + b \Delta t + c$$

Результаты регрессионного анализа (Таблицы 3-5) показали существование высокой согласованности колебаний термики вод на рассматриваемых разрезах.

Таблица 3. Коэффициенты и характеристики уравнений регрессии для температуры воды в слое 0-50 м

Месяц	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R^2	R^2_{adj}	<i>n</i>
<i>Январь</i>	1,040	0,010	-1,047	0,955	0,949	20
<i>Март</i>	1,234	0,006	-1,974	0,871	0,857	22
<i>Апрель-Май</i>	1,181	-0,002	-1,622	0,930	0,922	22
<i>Июнь</i>	0,895	-0,012	-0,367	0,894	0,882	21
<i>Август-Сентябрь</i>	0,710	-0,005	1,695	0,816	0,796	22
<i>Октябрь</i>	0,890	0,026	0,208	0,926	0,917	20

Таблица 4. Коэффициенты и характеристики уравнений регрессии для температуры воды в слое 0-200 м

Месяц	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R^2	R^2_{adj}	<i>n</i>
<i>Январь</i>	1,018	0,009	-0,971	0,951	0,945	20
<i>Март</i>	1,262	0,003	-2,164	0,877	0,864	22
<i>Апрель-Май</i>	1,199	0,001	-1,704	0,935	0,928	22
<i>Июнь</i>	1,096	0,001	-1,610	0,952	0,947	21
<i>Август-Сентябрь</i>	1,049	-0,011	-1,234	0,706	0,675	22
<i>Октябрь</i>	1,131	0,002	-1,738	0,816	0,795	20

Таблица 5. Коэффициенты и характеристики уравнений регрессии для температуры воды в слое 50-200 м

Месяц	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R^2	R^2_{adj}	<i>n</i>
<i>Январь</i>	0,998	0,009	-0,870	0,929	0,921	20
<i>Март</i>	1,258	0,004	-2,138	0,890	0,878	22
<i>Апрель-Май</i>	1,200	0,002	-1,704	0,926	0,919	22
<i>Июнь</i>	0,968	0,004	-2,152	0,937	0,930	21
<i>Август-Сентябрь</i>	1,271	-0,014	-2,610	0,771	0,747	22
<i>Октябрь</i>	1,206	-0,005	-2,290	0,778	0,762	20

Наиболее надежные уравнения регрессии были получены для первой половины года: январь, март, апрель-май и июнь (в среднем $R^2 > 0,9$). В этот период года теснота связи вызывается достаточно высокой однородностью температуры по вертикали.

Для августа-сентября и октября сопряженность колебаний в термике вод на разрезах была несколько ниже (в среднем коэффициент детерминации около 0,8). На степени связи, вероятно, сказывается влияние сезонного термоклина, а также ослабление адвективного переноса вод. Вследствие этого температура верхних слоев на разрезе НМ слабо согласуется с термическими характеристиками вод на разрезе ФМ.

Оценки методической и климатической оправдываемости, а также эффективности полученных уравнений для слоя 0-50 м, проводились по стандартной методике (Инструкции по оценке..., 1965) и их результаты приведены в Таблице 6.

Таблица 6. Методическая и климатическая оправдываемость уравнений регрессии для температуры воды в слое 0-50 м

Месяц	Длина ряда	Стандарт. отклонен.	Оправдываемость методическая, %	Оправдываемость климатическая, %	Эффективность, %
Январь	20	0,740	100,0	30,0	70,0
Март	22	0,782	95,5	45,5	50,0
Апрель-Май	22	0,725	100,0	45,5	54,5
Июнь	21	0,775	100,0	52,4	47,6
Август-Сентябрь	22	0,464	90,9	59,1	31,8
Октябрь	20	0,862	100,0	50,0	50,0

Расчитанные значения температуры воды в слое 0-50 м, только в трех случаях превысили методическую оправдываемость (0,647 стандартного отклонения). Климатическая оправдываемость была на достаточно низком уровне (30-59 %), что подтверждает необходимость выполненной работы. Общая эффективность полученных уравнений по сравнению с климатической оправдываемостью изменялась в пределах 31,8-70,0 %, при минимальной допустимой значимости 18% (Инструкции по оценке..., 1965). Для других слоев (0-200 и 50-200 м) были получены аналогичные результаты.

По полученным уравнениям регрессии удалось сделать пересчет средневзвешенных значений температуры воды в плоскости разреза НМ относительно данных разреза ФМ (Рис. 12).

Введенная в уравнения переменная, характеризующая временной сдвиг в сроках наблюдения, позволила пересчитать средние не только на дату выполнения разреза ФМ, но и на любой заданный срок (в нашем случае на середину месяца).

Многие исследования в ПИНРО, связанные с температурой воды на стандартных разрезах, базируются на временных рядах, полученных В.В. Терещенко (Терещенко, 1999). К сожалению, достаточно длинные ряды данных обрываются в середине 1990-х

годов, из-за резкого снижения океанографических наблюдений. По результатам проведенной работы удалось восстановить средние значения на разрезе НМ в период 1996-2007 гг. и представить результаты в виде принятых таблиц (Таблицы 7-9).

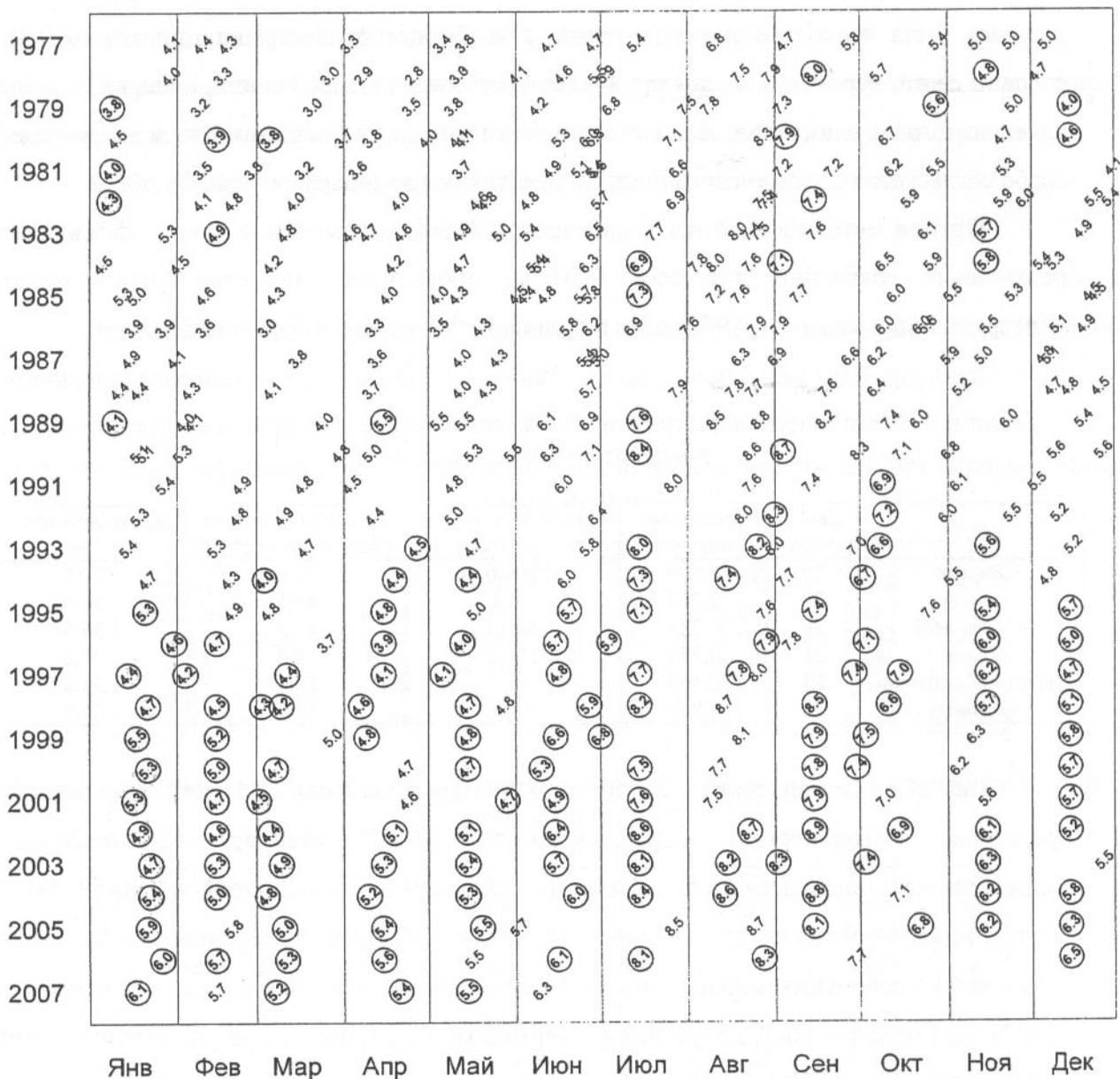


Рис. 12. Наблюдаемые и восстановленные (выделенные окружностями) значения температуры воды на 2-6 станциях разреза НМ в слое 0-50 м

Заключение

В ходе исследования проведен анализ сопряженности термохалинных показателей вод между разрезами ФМ и НМ. Рассчитаны и построены поля корреляций температуры и солености, а также стандартных отклонений параметров вод в плоскости разреза НМ. По характеру распределения области повышенных значений коэффициентов корреляции и с учетом величины стандартного отклонения, были определены оптимальные диапазоны пространственного осреднения. Для температуры воды оптимальным диапазоном

Таблица 7. Рассчитанная средняя температура воды Основной ветви Нордкапского течения (разрез №3, ст. 2-6) в слое 0-50 м, °С

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	4.71	4.68	4.52	3.91	3.97	5.69	7.70	7.85	8.01	6.79	5.98	5.02
1997	4.39	4.70	4.53	4.10	4.16	4.81	7.67	7.82	7.98	6.97	6.16	4.70
1998	4.75	4.49	4.32	4.66	4.72	5.78	8.21	8.37	8.52	6.53	5.72	5.06
1999	5.52	5.19	4.92	4.78	4.84	6.64	7.61	7.77	7.92	7.21	6.40	5.83
2000	5.41	5.02	4.86	4.63	4.69	5.32	7.52	7.68	7.83	6.99	6.19	5.72
2001	5.37	4.73	4.57	4.27	4.33	4.87	7.58	7.74	7.89	6.97	6.16	5.68
2002	4.92	4.57	4.40	5.05	5.11	6.39	8.55	8.71	8.86	6.93	6.13	5.23
2003	4.74	5.25	5.08	5.29	5.35	5.68	8.08	8.24	8.39	7.07	6.27	5.05
2004	5.51	5.04	4.88	5.25	5.31	5.91	8.44	8.60	8.75	7.03	6.22	5.82
2005	5.99	5.32	5.15	5.40	5.46	5.52	7.82	7.97	8.13	7.00	6.20	6.30
2006	6.15	5.66	5.50	5.64	5.70	6.06	8.11	8.27	8.42	7.41	6.68	6.46
2007	6.18	5.53	5.37	5.43	5.49	6.43						

Таблица 8. Рассчитанная средняя температура воды Основной ветви Нордкапского течения (разрез №3, ст. 2-6) в слое 0-200 м, °С

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	4.64	4.41	4.33	3.91	3.88	4.76	5.44	5.78	6.12	6.04	5.98	4.92
1997	4.22	4.56	4.47	3.99	3.96	4.26	5.40	5.74	6.08	5.89	5.83	4.49
1998	4.73	4.24	4.16	4.63	4.60	4.94	5.70	6.05	6.39	6.00	5.94	5.01
1999	5.41	5.32	5.07	4.93	4.90	5.63	5.65	5.99	6.33	6.48	6.41	5.69
2000	5.55	4.99	4.90	4.58	4.55	4.54	5.40	5.75	6.09	6.16	6.10	5.83
2001	5.24	4.79	4.71	4.28	4.25	4.36	5.62	5.97	6.31	6.25	6.19	5.52
2002	4.85	4.52	4.44	4.81	4.78	5.61	6.33	6.67	7.01	6.49	6.43	5.13
2003	4.66	5.08	5.00	5.10	5.07	5.20	6.05	6.40	6.74	6.49	6.43	4.94
2004	5.42	4.86	4.77	5.17	5.14	5.42	6.31	6.66	7.00	6.70	6.64	5.70
2005	5.97	5.31	5.23	5.36	5.33	5.47	5.95	6.29	6.63	6.64	6.57	6.25
2006	6.07	5.55	5.47	5.61	5.58	5.56	6.45	6.79	7.13	7.02	6.79	6.34
2007	6.14	5.36	5.28	5.45	5.42	5.81						

Таблица 9. Рассчитанная средняя температура воды Основной ветви Нордкапского течения (разрез №3, ст. 2-6) в слое 50-200 м, °С

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	4.63	4.39	4.27	3.86	3.92	4.21	4.63	5.06	5.49	5.92	5.76	4.91
1997	4.18	4.58	4.47	3.90	3.96	4.15	4.57	5.00	5.44	5.60	5.44	4.46
1998	4.73	4.21	4.10	4.56	4.62	4.31	4.73	5.17	5.60	6.00	5.85	5.01
1999	5.38	5.24	5.13	4.91	4.97	4.59	5.01	5.44	5.87	6.33	6.18	5.65
2000	5.59	5.03	4.92	4.50	4.56	4.24	4.66	5.10	5.53	5.97	5.81	5.87
2001	5.20	4.86	4.74	4.22	4.28	4.57	4.99	5.42	5.85	6.12	5.97	5.48
2002	4.83	4.57	4.46	4.66	4.72	5.12	5.54	5.97	6.41	6.47	6.32	5.11
2003	4.64	5.09	4.98	4.98	5.04	4.96	5.38	5.82	6.25	6.41	6.25	4.92
2004	5.39	4.84	4.73	5.08	5.14	5.16	5.58	6.02	6.45	6.81	6.66	5.67
2005	5.95	5.37	5.26	5.29	5.35	5.39	5.36	5.79	6.23	6.73	6.57	6.23
2006	6.03	5.58	5.46	5.54	5.60	4.94	6.00	6.44	6.87	6.91	6.73	6.31
2007	6.12	5.36	5.25	5.39	5.45	5.58						

осреднения был определен участок разреза НМ между 3 и 6, для солености – между 4 и 7 станциями.

Произведенный регрессионный анализ позволил получить достаточно надежные статистические зависимости с коэффициентами детерминации 0,675-0,949 между средними значениями температуры воды на рассматриваемых разрезах для всех рассматриваемых месяцев. Связь между показателями солености вод на разрезах была несколько ниже (коэффициенты детерминации 0,70-0,78), а для октября оказалась незначимой. Полученные регрессионные уравнения позволяют заполнять пропуски во временных рядах. Однако, для более надежных оценок рассматриваемых характеристик необходимы дополнительные и более детальные исследования.

Выполненное исследование показало возможность восстановления пропусков во временных сериях наблюдений на океанографических разрезах в западной части Баренцева моря. На основе предложенного методического подхода произведено восстановление данных средних значений температуры воды на разрезе Нордкап-Медвежий в слоях 0-50, 0-200 и 50-200 м в период с 1996-2007 гг.

Несмотря на то, что средние значения температуры воды на разрезе НМ до 1996 г. и после были получены разными способами, тем не менее, в первом приближении вполне допустимо их совместное использование.

Литература

Адров Н.М. Трансформация водных масс системы Гольфстрима. - Апатиты, 1993. - 173 с.

Бойцов В.Д. Климатические границы водных масс Баренцева моря// Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна: Сб. науч. тр. ПИНРО. - Мурманск, 1995. - С.5-22

Бойцов В.Д. Вероятностный метод прогноза урожайности поколений северо-восточной арктической трески Баренцева моря // Рыб. хоз-во. - 2005. - № 2. - С. 42-44.

Бочков Ю.А. О климатических нормах температуры воды на стандартных разрезах в Баренцевом море//Физико-химические условия формирования биологической продукции Баренцева моря. – Апатиты, 1980. – С.10-18.

Зубов Н.Н. Сведения температуры гидрологической станции и гидрологического разреза//Записки по гидрографии. – 1926. – Т. 51. – С. 169-174.

Инструкции по оценке качества методов и оправдываемости морских гидрологических прогнозов. – М: Гидрометеиздат, 1965. – 88 с.

Карсаков А.Л., Гузенко В.В., Никифоров А.Г. Комплексный метод прогнозирования температуры воды на разрезе "Кольский меридиан"//Материалы конференции молодых ученых, посвященной 80-летию ПИНРО. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2001. - С. 3-13.

Кисляков А.Г. Горизонтальная циркуляция вод на водоразделе Норвежского и Баренцева морей//Тр. ПИНРО. - 1964. - Вып. XVI. - С. 215-225.

Кисляков А.Г. О связи термики вод Норвежского и Нордкапского течений//Тр. ПИНРО. - 1969. - Вып. 23. - С. 143-156.

Книпович Н.М. Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана. - СПб., 1906. - 1510 с.

Кудло Б.П. Температурная инерция в прибрежной части разреза "Кольский меридиан"//Тр. ПИНРО. - 1970. - Вып. XXVII. - С. 46-52.

Мухина Н.В., Двинина Е.А. Влияние гидрологических условий на формирование численности поколений трески //Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна: Сб.научн.тр./ПИНРО. - Мурманск, 1989. - С.118-125.

Ожигин В.К., Ившин В.А. Водные массы Баренцева моря. -Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. - 48 с.

Пенин В.В. Устойчивость температурных аномалий в Норвежском и Баренцевом морях//Тр. ПИНРО. - 1973. - Вып. XXXIV. - С. 166-171.

Терещенко В.В. Гидрометеорологические условия в Баренцевом море в 1985-1998 гг. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1999. - 176 с.

Фукс Ю.А. Прогноз среднемесячных аномалий температуры воды на вековых разреза Баренцева моря//Тр. Гидрометеоцентра СССР. - 1980. - Вып. 221. - С. 20-26.

Цехоцкая Л.К. Водные массы// Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. - Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1985. -С. 42-46.

Ingvaldsen R., Asplin L., Loeng H. Short time variability in the Atlantic inflow to the Barents Sea//ICES CM - 1999/L:05. - 12 pp.

Ivshin V., A.Pedchenko, O. Skagseth & R. Ingvaldsen. Study of the spatial variability in thermohaline characteristics and water structure on the standard sections in the western Barents Sea //Long term bilateral Russian-Norwegian scientific co-operation as a basis for sustainable management of living marine resources in the Barents Sea. 12th Norwegian-Russian Symposium. - Tromso, 21-22 August 2007. - P. 27-41.

Knipovitsch N. Uber die russischen Untersuchungen nach dem Programm der Conferenz in Stockholm//2 Conf. Int. pour l'explor. de la mer. - Bergen, 1901. - Suppl.6. - 4 pp.

Loeng H. Stommolinger i omradet Fugloya-Bjoroya i perioden juni1978-mars 1979//Fisken og havet. - 1979. - Nr. 9. - 84 s.

Loeng H., V. Ozhigin, B. Aadlandsvik. 1997. Water fluxes through the Barents Sea// ICES Journal of Marine Science. – 1997. – Vol. 54. – P. 310-317.

Tereshchenko V.V. Results from long-period oceanographic observations along the Barents Sea standard sections during 0-group fish survey//ICES C.M. 1992/C:18. – 25 pp.

Tereshchenko V.V. Seasonal and year-to-year variations of temperature and salinity along the Kola meridian transect//ICES C.M. 1996/C:11. – 24 pp.

100 years of oceanographic observations along the Kola Section in the Barents Sea: сб. докл. Междунар. симп./ отв. ред. В. К. Ожигин. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. - 314 с.