

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ

Бойцов В.Д. (ПИНРО)

В настоящее время накопилось достаточно много научных фактов, подтверждающих, что развитие многих биологических систем, а также явлений в неживой природе Земли имеют достаточно стабильную циклическую форму. В связи с этим предпринимаются попытки разработать теорию цикла как метода научного познания для объяснения противоречий, существующих в различных областях знаний, создания единой теории поля и решения других научных проблем (Соколов, 1994).

Цикличность (синонимы: ритмичность, квазипериодичность) – это изменения параметра, которые не имеют постоянного во времени периода и амплитуды. В его колебаниях отмечается чередование роста значений от локального минимума до локального максимума и уменьшение от локального максимума до нового локального минимума (Дружинин, Сазонов, Ягодинский, 1974). Понятие цикличности предполагает наличие отдельных фаз развития процесса, завершенность цикла внутри каждой фазы, чередование циклов. Такую повторяемость можно оценить по средним значениям периода и амплитуды. Эти характеристики циклов позволяют дифференцировать квазипериодичности, которые генерируются под воздействием ряда факторов и присутствуют в скрытой форме, а также оценить их вклад в общую изменчивость параметров, описывающих развитие процессов и явлений.

В колебаниях многих показателей состояния атмосферы, океаносферы, климатических систем присутствуют циклические компоненты различной длительности. Например, И.В. Максимов выделял более 10 ритмов в динамике температуры морской воды, которые, по его мнению, генерируются приливообразующими силами Луны и Солнца, солнечной активностью, колебаниями оси Земли и скорости ее вращения (Максимов, 1970). Им и другими исследователями предпринимались попытки использовать это фундаментальное свойство изменчивости явлений для изучения многомерных причинно-следственных связей и разработки методов прогнозирования их параметров.

Вариации гидрометеорологических характеристик, имеющие сложную внутреннюю структуру, представляют собой комбинацию повторяемости (преимущественно не строгой) и стохастичности (случайности, когда математическое описание индивидуального характера определенного вида изменчивости не

представляется возможным). Основными компонентами их спектра являются тренд, сезонная составляющая, ритмы различной длительности с большей или меньшей регулярностью, случайные осцилляции. Тенденции за редким исключением трактуются как достаточно строгие в математическом смысле систематические изменения параметра в течение продолжительного интервала времени, которые могут быть частью циклов, период которых больше длины анализируемой выборки. Однако тренд, по-видимому, нельзя считать только детерминированной функцией времени, так как все гидрометеорологические процессы, не являющиеся ни строго причинно-обусловленными, ни строго случайными (Григоркина, Губер, Фукс, 1973).

Сезонный ход, присутствующий в колебаниях многих параметров, занимает промежуточное положение между квазидетерминированными (повторяемость) и случайными (стохастическими) компонентами. Детерминистическая модель сезонных изменений гидрометеорологических характеристик (например, аппроксимированная набором гармоник) не позволяет адекватно описать этот вид вариаций из-за присутствия в них межгодовых колебаний (Драган, Рожков, Яворский, 1987). Лишь многолетний сезонный ход, представленный среднемесячными значениями (нормами), является приближением к описанию детерминированной части процесса. При такой параметризации гидрометеорологических показателей в значительной степени отфильтровываются низкочастотные составляющие, а также исключается влияние присутствующих в их изменчивости высокочастотных компонент (с периодами менее месяца).

Как известно, колебания температуры воды в море определяются вариациями составляющих теплового баланса. В нем учитывается внешний теплообмен за счет поступления на морскую поверхность солнечной радиации (радиационный баланс) и взаимодействия с атмосферой (затраты тепла на испарение и турбулентный поток тепла), а также внутреннее перераспределение тепла в результате адвекции и теплообмена между слоями воды, обусловленного конвективным и турбулентным перемешиванием. Особенности температурного режима каждого бассейна определяются количественным соотношением вклада этих процессов (Глаголева, Скриптунова, 1979). В Баренцевом море в силу его географического положения и специфики водообмена с соседними водоемами адвективно-конвективные процессы имеют большое значение в тепловом балансе его вод (Серяков, 1979).

При исследовании влияния тепловых процессов на биологические явления предпочтение отдается изучению наиболее физически и экологически значимым циклам в изменчивости температуры. Для Баренцева моря таковыми являются суточный (циркадный), синоптический (внутримесячная изменчивость), внутригодовой

(межмесячные колебания), сезонный (период около года), межгодовой (несколько лет), долгопериодный (десятки лет) и климатический (сотни лет) ритмы.

Для репрезентативной оценки вклада изменчивости температуры воды Баренцева моря в диапазоне от внутрисуточных до многолетних колебаний необходимо иметь данные наблюдений за несколько десятилетий с дискретностью час, что является не реальным. В настоящей работе эта задача была реализована методом элиминации низкочастотных и высокочастотных составляющих относительно анализируемого масштаба изменчивости с использованием временных выборок с определенными шагами дискретизации данных наблюдений.

Внутрисуточные флуктуации. Внутрисуточные колебания температуры воды генерируются внешними и внутренними причинами. В результате взаимодействия вод верхнего слоя с атмосферой (внешние силы) могут происходить изменения параметров состояния водных масс только в приповерхностном слое моря (Джеймс, 1971). Однако амплитуда внутрисуточных колебаний метеорологических элементов во все сезоны года в Баренцевом море мала (Гирдюк, 1988). Поэтому влияние атмосферных процессов на возникновение неоднородностей океанографических параметров с масштабом менее суток незначительно, так как их энергии недостаточно для ее передачи нижележащим водам в течение небольшого временного интервала. Интенсивные дрейфовые течения и волновое перемешивание наблюдаются, главным образом, в осенне-зимний период, когда верхний квазиоднородный слой имеет достаточно большую протяженность. Поэтому в холодную часть года атмосферные процессы не могут вызывать значительные кратковременные изменения параметров водных масс, особенно в глубинных и придонных слоях. Только в прибрежных районах, где велико воздействие суши, вероятность возникновения больших по размаху внутрисуточных колебаний температуры воды верхнего слоя достаточно высока.

В теплый же период интенсивность циркуляции воздушных масс уменьшается и поэтому атмосферные процессы, по-видимому, также не могут быть причиной заметных изменений температуры воды в течение суток. Как отмечают некоторые исследователи, лишь в солнечную и штилевую погоду при интенсивном дневном прогреве и ночном выхолаживании в верхнем слое наблюдаются колебания этого параметра с периодом, близким к суточному ритму (Монин, Каменкович, Корт, 1974; Рожков, 2005). К основным внутренним причинам, вызывающим флуктуации показателей состояния водных масс менее суток, относятся динамические процессы. Наибольшее значение имеют изопикническая и вертикальная адвекции, которые возникают за счет внутренних волн, среднего вертикального движения, перемешивания (Федоров, 1978). В Баренцевом море большая роль в изменчивости термохалинных полей принадлежит приливным явлениям,

особенно вблизи суши. Преобладание одной из составляющих движения в конкретный момент времени зависит от соотношения их кинетической и потенциальной энергий. Таким образом, в Баренцевом море основными причинами, вызывающими внутрисуточные и межсуточные колебания океанографических параметров, являются внутренние динамические факторы.

Анализ данных наблюдений на стандартных горизонтах на пяти суточных и двух многосуточных станциях, выполненных во все сезоны в различных районах Баренцева моря (рис. 1), показал, что вклад внутрисуточной изменчивости в колебания температуры воды в течение года не остается постоянным.

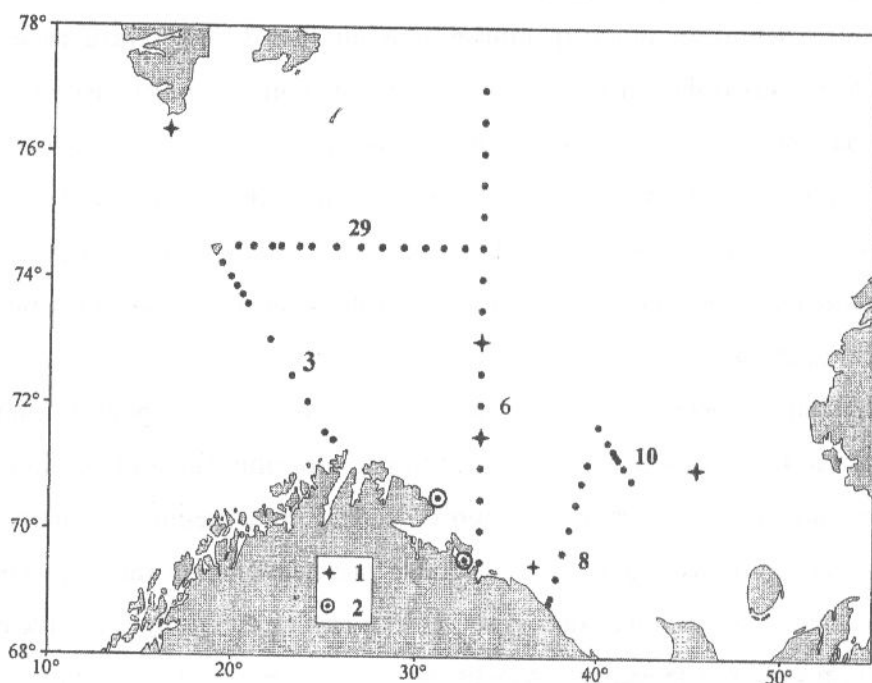


Рис. 1. Положение суточных (1), многосуточных (2) океанографических станций и некоторых стандартных разрезов Баренцева моря (цифры - номера разрезов)

В верхнем перемешанном слое внутрисуточные флуктуации температуры воды вносят около 3 % в ее изменчивость. Они имеют квазисуточный ритм, а ее полусуточная цикличность приливного характера наблюдалась ниже термоклина. Зимой в слое 0-50 м в отдельные дни размах внутрисуточных колебаний температуры воды может достигать 0,5-0,8 °С, но чаще всего он составляет 0,2 - 0,3 °С, тогда как летом в поверхностном слое иногда может достигать 3 - 5 °С. Большая амплитуда изменчивости в теплую часть года определяется процессами вертикального смещения термоклина при повышенной стратификации водных масс. Значительный размах внутрисуточной изменчивости температуры воды был также отмечен в период смены сезонов и в зонах контакта вод разного генезиса. При этом не обнаружено циклических вариаций этого параметра. В отдельные периоды колебания температуры воды в поверхностном слое и на

нижележащих горизонтах происходили достаточно синхронно, а иногда отмечалась их противофазность (рис. 2).

Наиболее часто интенсивные внутрисуточные изменения океанографических параметров, по-видимому, могут возникать при прохождении внутренних инерционно-гравитационных волн. При этом они не имеют полусуточной периодичности баротропной приливной волны (Бойцов, Несветова, 2002).

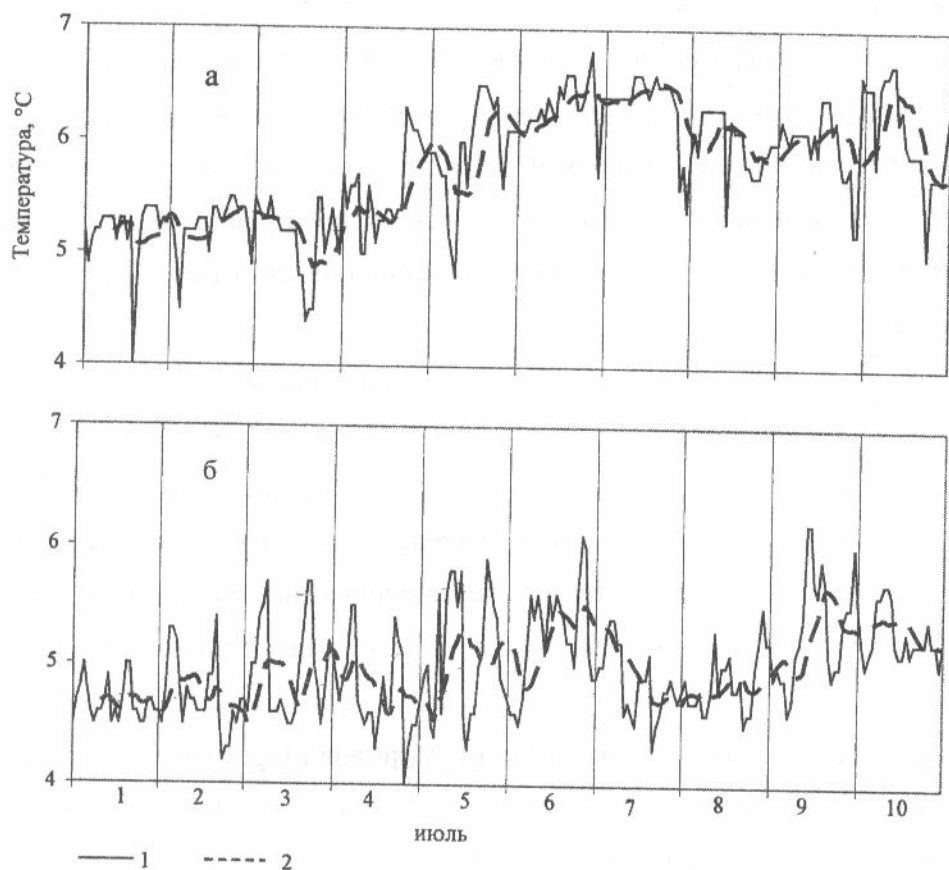


Рис. 2. Изменчивость температуры воды (1) на глубине 0,5 м (а) и 50 м (б) 1-10 июля 1996 г. на многосуточной станции с координатами 70°39' с.ш., 31°12' в.д. и ее скользящее осреднение по 9 членам (2).

Полусуточные изменения температуры воды в губах Западного Мурмана были отмечены весной. При этом чаще всего происходило ее понижение на фазе прилива и повышение при отливе. Несмотря на то, что вклад короткопериодных изменений температуры воды по величине дисперсии невысок (около 3 %), иногда в течение 2-6 часов здесь она изменялась на 0,7 – 0,8 °С.

Внутримесячная и межсезонная изменчивость. В колебаниях многих характеристик состояния водных масс умеренных и высоких широт присутствуют флуктуации от нескольких суток до нескольких месяцев. Компоненты этой части спектра изменчивости представляют собой отклик морской среды на воздействие внешних сил

гелиогеофизической и атмосферной природы, а также на развитие внутренних процессов, направленных на выравнивание неоднородностей в распределении параметров среды, возникающих в результате возмущений различной природы (Серяков, 1967; Максимов, 1970; Монин, Каменкович, Корт, 1974). Их диапазон со средним периодом от нескольких суток до нескольких месяцев следует рассматривать как внутримесячные, внутрисезонные и межсезонные колебания. Два последних частотных интервала характеризуют один и тот же класс изменчивости.

В Баренцевом море в генерировании мезомасштабных колебаний параметров среды большое значение имеют локальные неоднородности в развитии физических процессов, связанные с его географическим положением и особенностями гидрометеорологических условий. Поэтому на акватории моря могут существовать пространственные различия параметров изменчивости температуры воды в спектральной области от нескольких суток до нескольких месяцев.

В колебаниях среднесуточной температуры воды прибрежных вод в слое 0-50 м присутствуют циклические вариации со средним периодом около 100, 40, 12-15 и 7-8 суток. При этом вклад выявленных ритмов в суммарную дисперсию больше летом, чем зимой (рис.3). В теплую часть года при интенсивном сезонном увеличении теплосодержания водных масс возрастают квазициклические внутримесячные и внутрисезонные флуктуации температуры воды за счет адвективно-турбулентных факторов.

В полуизолированных от моря губах Западного Мурмана второе место по вкладу в суммарную дисперсию теплосодержания водных масс после сезонной компоненты занимают колебания с периодом около 28 суток, который соответствует продолжительности лунного месяца (рис.4). Здесь также отмечен ритм, близкий к длительности естественных синоптических периодов при прохождении атмосферных циклонов, что подтверждается наличием таких же вариаций в изменчивости атмосферного давления и температуры воздуха (Бойцов, 2002).

В верхнем 50-метровом слое с учетом сезонной и межгодовой изменчивости температуры воды ее внутримесячные и внутрисезонные колебания вносят около 4 % ее суммарной дисперсии. В слое 50-200 м их вклад составляет около 5 %. Он несколько меньше (4 %) в колебаниях температуры воды слоя 150-200 м.

Сезонные колебания. Сезонные изменения температуры воды Баренцева моря имеют большое значение для поддержания его высокой биологической продуктивности. Охлаждение водных масс зимой вызывает их конвективное перемешивание и восстановление концентраций питательных веществ в фотическом слое до уровня, необходимого для продуцирования первичного органического вещества. Радиационный

прогрев верхнего слоя весной и летом формирует слой скачка плотности, который играет важную роль в развитии планктонных организмов.

По многолетним данным разреза "Кольский меридиан" на акватории моря от побережья до 74° с.ш. в слое 0-150 м сезонный минимум температуры наблюдается в апреле. В нижележащем столбе воды до дна он приходится на май. На отдельных участках вблизи дна сезонный минимум отмечается на 1-4 месяца позже относительно сроков его наступления в вышележащих слоях (рис.5). При этом время запаздывания не зависит от глубины места.

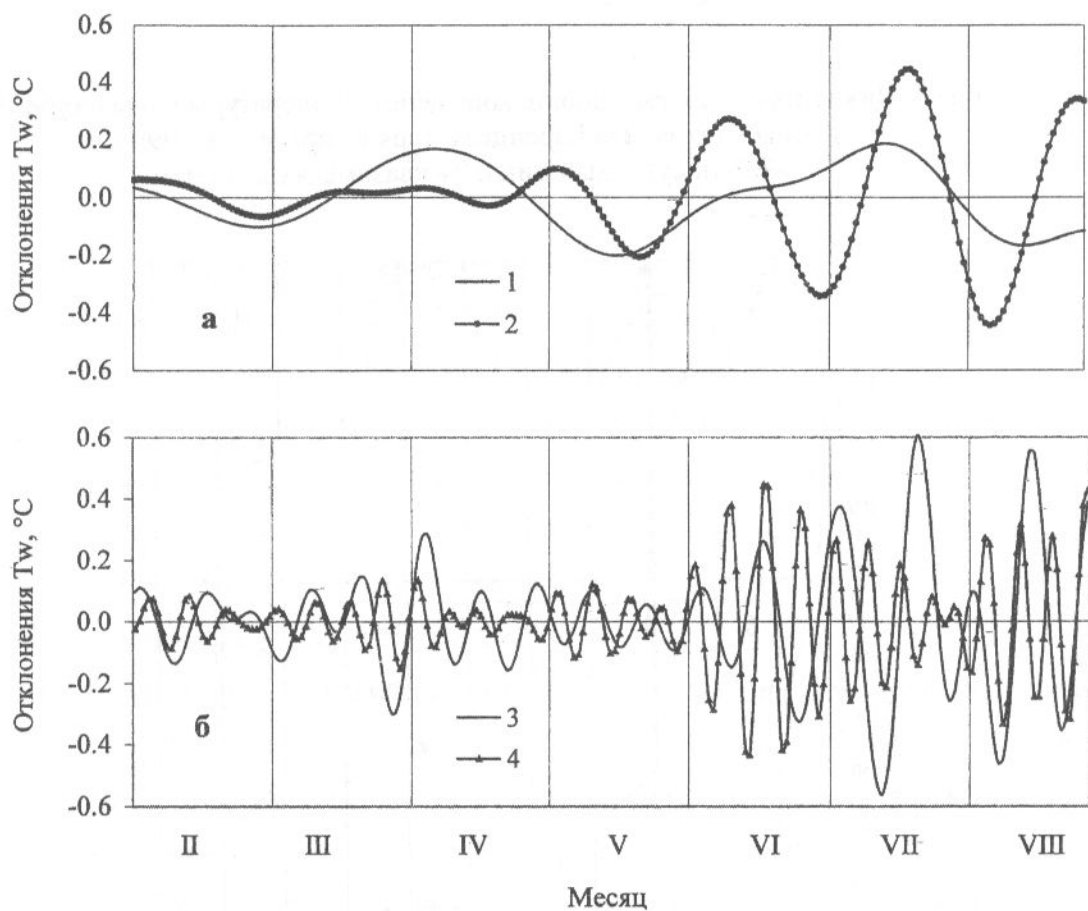


Рис.3. Циклические межсезонные 100-суточные (1) колебания и внутрисезонные 40-суточные (2) (а), 12-15-ти суточные (3), 7-8-ми суточные (4) флуктуации температуры прибрежных вод полуострова Варангер в феврале-августе 1996 г. (б)

Время наступления климатического сезонного максимума температуры воды определяется сроками формирования верхнего квазиоднородного слоя и глубиной залегания его нижней границы. В поверхностном слое продолжительность увеличения температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» до наступления сезонного максимума в августе составляет 4 месяца, а наибольшая скорость роста наблюдается от июня к июлю, когда она увеличивается на 4 °С вблизи берега и на 2 °С на широте 74° с.ш. На глубине 50 м сезонный максимум температуры воды приходится на сентябрь, а в некоторых районах

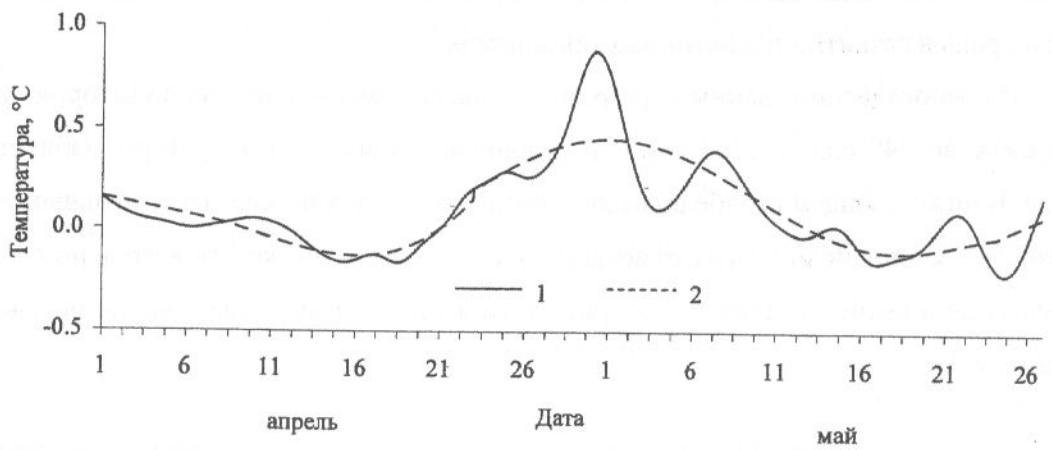


Рис.4. Циклические составляющие колебаний температуры воды в губе Ура Мотовского залива Баренцева моря в апреле-мае 1999 г.
1-7-9-ти суточный цикл; 2 - квазимесячный ритм

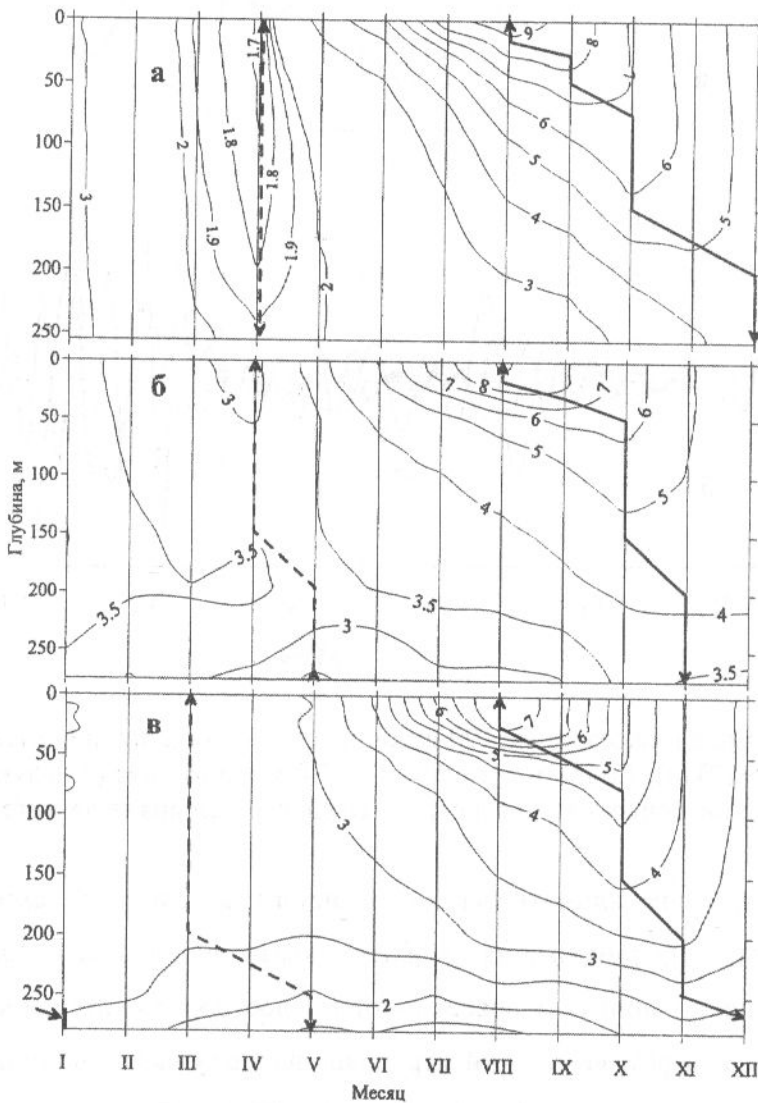


Рис.5. Изоплеты норм температуры воды на 1 (а), 5 (б) и 9 (в) станциях разреза «Кольский меридиан» (пунктир - сезонный минимум, сплошная линия - сезонный максимум температуры воды)

на октябрь. В эти месяцы наибольший уровень теплосодержания водных масс наблюдается до горизонта 150 м. На глубоководных участках в слое 200-250 м сезонный максимум температуры воды чаще всего бывает в ноябре, а в придонном слое не зависимо от глубины места он приходится на декабрь-январь.

В период уменьшения температуры воды после сезонного максимума наибольшее ее понижение в слое 0-30 м наблюдается от сентября к октябрю и составляет 1,3 - 2,0 °С. С глубиной происходит достаточно быстрое уменьшение максимума скорости изменения температуры, а сроки его проявления наблюдаются несколько позднее. На глубине 50 м наибольшее сезонное понижение температуры наблюдается от октября к ноябрю, а на горизонте 150 м от декабря к январю.

В холодные годы в весенне-летний период темпы увеличения температуры прибрежных вод в верхнем 50-метровом слое больше, чем при высоком уровне теплозапаса водных масс Баренцева моря. В зоне действия Мурманского течения значения этого параметра, примерно, одинаковы. Вблизи Полярного фронта в теплые годы скорость сезонного роста выше, чем в холодные. В глубинных слоях отмечается противоположная ситуация – в теплые годы скорость роста меньше, чем в холодные.

Размах сезонных колебаний температуры воды в верхнем 20-метровом слое выше в теплые годы, чем в холодные. Ниже до глубины 100 м в прибрежных водах и вблизи Полярного фронта наблюдается обратная закономерность. В глубинных и придонных слоях значения этого параметра в годы с различным уровнем теплосодержания водных масс примерно одинаковы.

Сравнительный анализ параметров сезонного хода температуры воды по данным нескольких стандартных разрезов Баренцева моря (см. рис.1) позволил установить особенности их пространственного распределения. В водах атлантического происхождения значения сезонных экстремумов температуры воды слоя 0-50 м уменьшаются от западной границы Баренцева моря в восточном и северо-восточном направлениях. Такое же распределение этих показателей наблюдается на акватории от южного побережья моря в сторону его открытой части. При этом разность сезонных максимумов между наиболее удаленными из рассматриваемых разрезов № 3 и № 10 меньше, чем минимумов (соответственно, 1,6°С и 2,4°С).

Амплитуда сезонных колебаний температуры воды зависит от абсолютных значений экстремумов. В слое 0-50 м этот показатель минимальный на западе Баренцева моря, а максимальный в прибрежной зоне Мурмана (рис. 6). Вблизи Кольского полуострова амплитуда в 1,5 раза больше, чем на водоразделе Норвежского и Баренцева морей. На юго-востоке моря размах сезонной изменчивости температуры воды также высокий и составляет 4,5 °С.

Минимум климатического сезонного хода средней температуры воды в слое 50-200 м, как и 0-50 м, чаще всего приходится на апрель, а пространственные различия его величины незначительны. На востоке в апреле он наступал в два раза, а на прибрежном участке разреза «Кольский меридиан» более чем в шесть раз чаще, чем в марте (табл. 1).

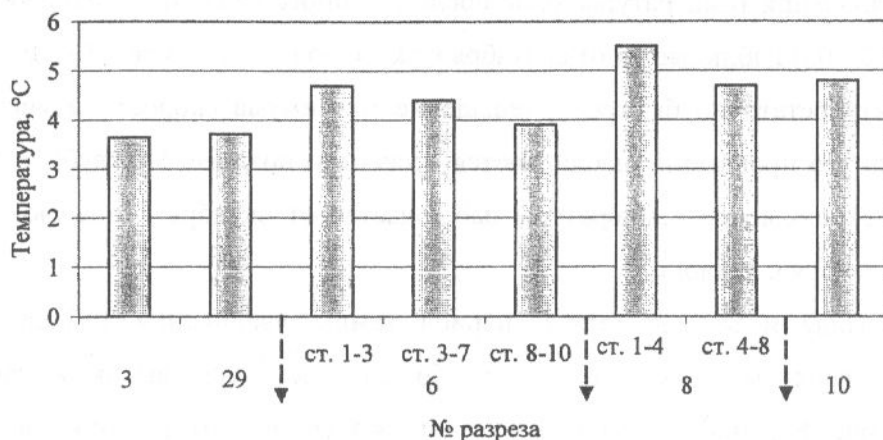


Рис. 6. Размах сезонных колебаний температуры воды в слое 0-50 м на разрезах Баренцева моря по многолетним данным

Наибольший размах сезонных колебаний среднемесячных величин температуры слоя 50-200 м, также как и в верхней 50-метровой толще, наблюдается в прибрежных водах Мурмана (рис. 7). Здесь в районе разреза «Кольский меридиан» он почти в два раза больше, чем на юго-западе и юго-востоке Баренцева моря. Это связано с более интенсивно протекающими динамическими процессами вблизи берега.

Таблица 1. Частота наступления сезонного минимума и максимума средней температуры воды в слое 50-200 м на разрезах Баренцева моря в течение 1951-1995 гг. (в %)

№ разреза	№ станции	Минимум				Максимум					
		месяц									
		I-II	III	IV	V	VIII	IX	X	XI	XII	
3	2-6	4	22	63	11	0	4	72	24	0	
29	8-12	9	23	59	9	2	12	60	24	2	
	1-3	2	13	81	4	0	10	68	22	0	
6	3-7	2	16	60	22	0	2	38	49	11	
	8-10	11	20	58	11	0	23	57	20	0	
	1-4	0	23	75	2	0	0	42	51	7	
8	4-8	2	21	58	19	0	7	49	37	7	
10	1-6	0	28	56	16	0	9	40	30	21	

Климатический сезонный ход температуры воды в слое 0-50 м вносит около 57 % в ее общую изменчивость с учетом внутригодовых и межгодовых колебаний. В слое 50-200 м вклад сезонной компоненты составляет 50 %, а в слое 150-200 м - около 36 %.

Межгодовые колебания. Спектральный состав межгодовых колебаний среднегодовой температуры атлантических вод в различных районах южной части Баренцева моря в целом идентичен. Отмечаются только изменения во вкладе отдельных циклических компонент в общую изменчивость теплосодержания водных масс. Они состоят в том, что от западной границы моря на восток уменьшается доля дисперсии тренда и увеличивается значимость ритма с периодом около 7 лет (рис. 8).

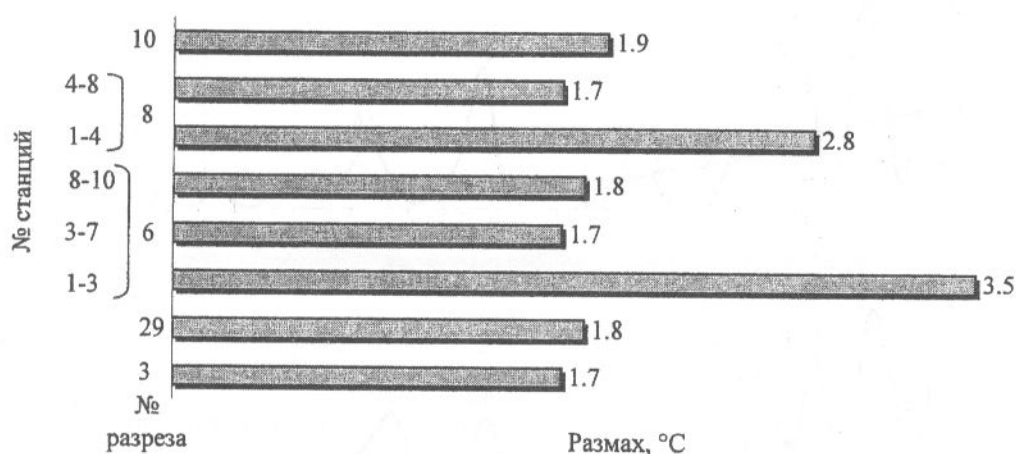


Рис. 7. Размах сезонных колебаний температуры воды в слое 50-200 м на разрезах Баренцева моря по многолетним данным

С глубиной значительных различий в частотной структуре колебаний температуры воды на разрезе "Кольский меридиан" не происходит. Неоднородность проявляется только в изменениях вклада отдельных компонент в ее межгодовую изменчивость. В слое 0-50 м наибольший вес имеет 14-17 летний цикл. С глубиной происходит увеличение его периода и уменьшение вклада в суммарную дисперсию, тогда как 9-11 летний ритм наоборот дает наибольший взнос в изменчивость температуры воды в слое 150-200 м. В верхнем 200-метровом слое основными циклическими составляющими являются квазивековой ритм, 16-18, 10-11, 7-8, 5 лет и 2-3 года. Существует достаточно высокая вероятность того, что наиболее длительные циклы в колебаниях температуры воды Баренцева моря являются результатом как прямого, так и косвенного воздействия космогеофизических сил, а также барико-циркуляционных процессов в Северной Атлантике и Северо-Европейском бассейне (Бойцов, 2007). Межгодовые колебания температуры воды на разрезе "Кольский меридиан" в слое 0-50 м вносят около 33 %, в

слое 50-200 м - 38 %, а в слое 150-200 м - около 58 % в изменчивость ее суммарной дисперсии (рис.9).

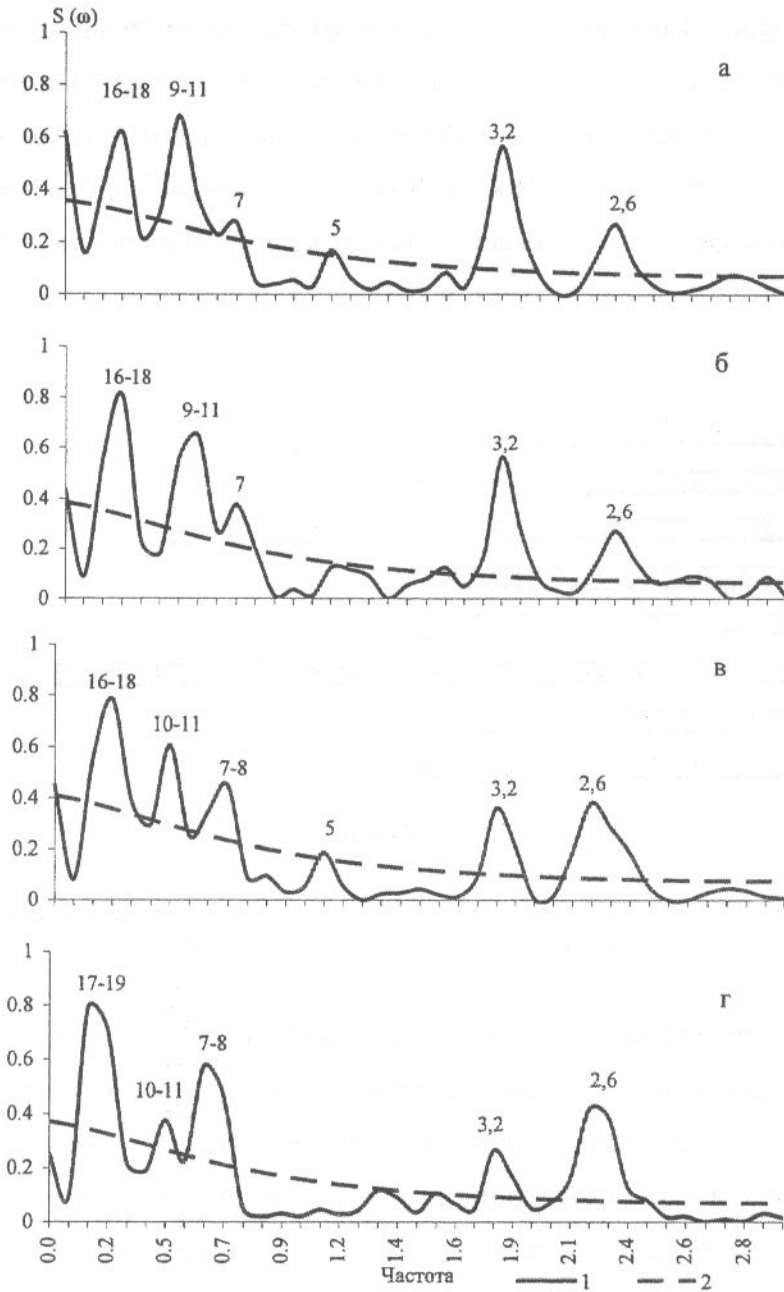


Рис. 8. Спектры (1) колебаний среднегодовой температуры воды слоя 0-200 м (1951-1993 гг.) на разрезах 3 (а), 29 (б), 6 (в), 8 (г) и спектр "красного шума" (2)

В слое 0-200 м не зависимо от горизонта суммарный вклад внутрисуточных, внутримесячных и внутрисезонных колебаний температуры воды составляет около 5-7 % ее общей дисперсии. Доля суммарной изменчивости климатического сезонного хода этого параметра уменьшается с глубиной, а доля межгодовых вариаций увеличивается (от 33 % в слое 0-50 м до 58 % в слое 150-200 м). Это значит, что в поверхностном слое и в промежуточных слоях на колебания температуры воды преобладающее влияние

оказывают внешние составляющие теплового баланса - радиационный баланс, потоки тепла за счет турбулентного теплообмена с атмосферой, затраты тепла на испарение. Ниже 150 м межгодовые изменения интенсивности горизонтальных потоков тепла (адвекция) и турбулентного внутриводного обмена тепловой энергией оказывают определяющее влияние на межгодовую изменчивость температуры воды.

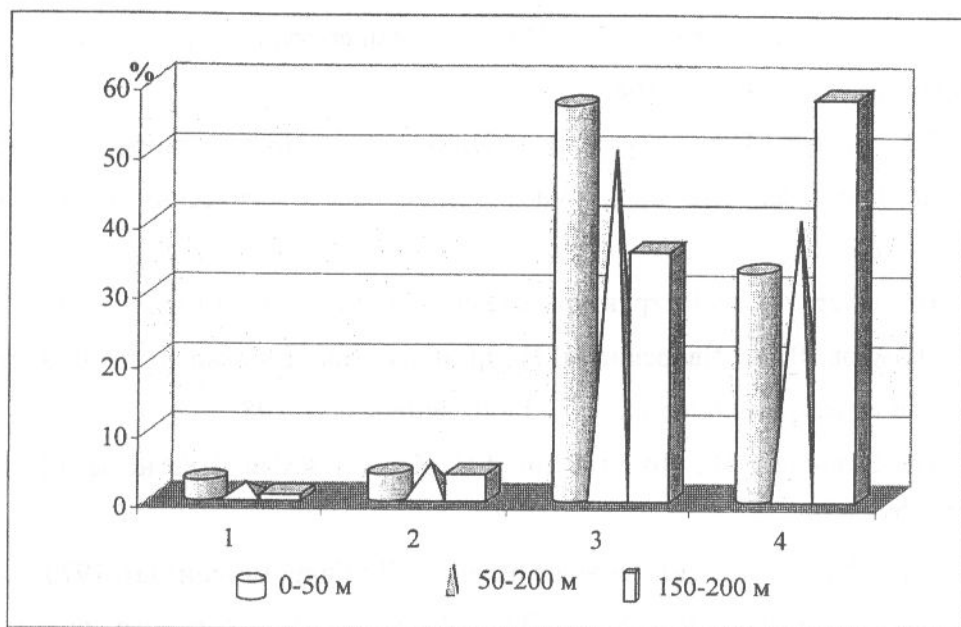


Рис. 9. Вклад (%) в изменчивость температуры воды слоя 0-50 м, 50-200 м и 150-200 м внутрисуточных (1) внутримесячных и внутрисезонных (2), сезонных (3) и межгодовых колебаний различной длительности (4)

На основе результатов спектрального анализа межгодовых колебаний температуры воды Мурманского течения разработан аддитивный метод прогноза среднегодовой температуры воды слоя 0-200 м с заблаговременностью один и два года. Его проверка показала значительное превышение оправдываемости методических прогнозов по сравнению с прогнозами по норме (Бойцов, 2006).

Литература

- Бойцов В.Д. Структура внутримесячных колебаний температуры воды в губе Ура Мотовского залива Баренцева моря весной 1999 г. //Биоресурсы и аквакультура в прибрежных районах Баренцева и Белого морей: Сб. науч. тр./ПИНРО. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2002. - С. 3-12.
- Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006 (в печати).
- Бойцов В.Д. Космогеофизические факторы и межгодовые колебания температуры воды Баренцева моря//Рыбное хозяйство. - 2007. - № 1 (в печати).

- Бойцов В.Д., Несветова Г.И. Внутрисуточная изменчивость физико-химических параметров вод Баренцева моря//Биоресурсы и аквакультура в прибрежных районах Баренцева и Белого морей: Сб. науч. тр./ПИНРО. - Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2002. - С. 13-36.
- Гирдюк Г. В. Тепловой баланс свободной ото льда поверхности Баренцева моря//Природа и хозяйство Севера. - 1988. - Вып. 16. - С. 19-26.
- Глаголева М. Г., Скриптунова Л. И. Прогноз температуры воды в океане. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 168 с.
- Григоркина Р.Г., Губер П.К., Фукс В.Р. Прикладные методы корреляционного и спектрального анализа крупномасштабных океанологических процессов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. - 172 с.
- Джеймс Р. Прогноз термической структуры океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 160 с.
- Драган Я.Г., Рожков В.А., Яворский И.Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 319 с.
- Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос-Земля. Прогнозы. М.: Мысль, 1974. - 288 с.
- Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 448 с.
- Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана - Л.: Гидрометеиздат, 1974 - 264 с.
- Оверстрит Р., Рэттри М. О роли вертикальной скорости и турбулентной теплопроводности в поддержании термоклина// Формирование, структура и флуктуации верхнего термоклина в океане. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - С. 8-25.
- Рожков В.А. Статистическая гидрометеорология как статистическая наука//Мировой океан, водоемы суши и климат: Доклады XII съезда РГО (Кронштадт, 2005). - Санкт-Петербург, 2005. - С. 137-142.
- Серяков Е. И. Долгосрочные прогнозы теплового состояния в Северной Атлантике. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 165 с.
- Серяков Е. И. Расчет составляющих теплового баланса Поверхности Северной Атлантики за короткие периоды времени по материалам массовых наблюдений//Тр. ЛГМИ. - 1967. - Вып 24. - С. 42-53.
- Соколов Ю. Н. Основные положения теории цикла//Циклические процессы в природе и обществе/Материалы Второй международной конференции "Циклические процессы в природе и обществе" и Третьего Международного семинара "Золотая пропорция и проблемы гармонии систем" (г. Ставрополь, 18-23 октября 1994 г.). - Ставрополь: Изд-во Ставропольского университета, 1994. - Вып. 2. - С. 7-26.

Федоров К.Н. Анализ пространственно-временной изменчивости температуры и солёности в океане методом разложения аномалий на составляющие//Океанология. - 1978. - Т. 18, вып. 5. - С. 805-811.