

# Космогеофизические факторы и межгодовые колебания температуры воды Баренцева моря

Канд. геогр. наук В.Д. Бойцов – ПИНРО

Межгодовые колебания гидрометеорологических параметров имеют сложную полициклическую структуру, которая формируется под воздействием многих природных факторов. Считается, что каждый низкочастотный цикл, присутствующий в их изменчивости, генерируется внешней силой, потенциал которой варьирует с близкой квазипериодичностью. Наибольшее влияние на состояние водной и воздушной сред оказывают астрономические (процессы на Солнце, взаимное расположение планет, многолетний лунный прилив) и геофизические (нутация земной оси, магнитная возмущенность, изменения мгновенной скорости вращения Земли и др.) явления [Колесник Ю.А. Роль геологогеофизических процессов в динамике биосистем. Владивосток: Дальнаука, 2001. 188 с.]. К внешним факторам по отношению к тепловым процессам в морской толще можно также отнести изменения интенсивности и направленности крупномасштабных систем циркуляции водных и воздушных масс, а также колебания уровня океанов.

В спектрах многолетней динамики среднегодовой температуры воды Баренцева моря присутствуют хорошо выраженные циклические в низкочастотном и высокочастотном диапазонах (рис. 1). Ранее предпринимались попытки определить уровень сопряженности между изменениями квазипериодических составляющих в межгодовых колебаниях теплосодержания атлантических водных масс и космогеофизическими факторами, чтобы использовать это свойство для долгосрочного прогнозирования температуры воды [Бочков Ю.А., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Основные закономерности многолетних колебаний температуры воды Баренцева моря и их связь с геофизическими процессами// Тр. ПИНРО. 1968. Вып. XXIII. С. 104–114]. Однако короткие ряды наблюдений и несовершенство вычислительной техники, а также некоторые другие причины сдерживали развитие этого направления исследований.

В настоящее время некоторые из существовавших ранее ограничений устранены, что позволило на статистическом уровне вновь рассмотреть связь колебаний среднегодовой температуры воды слоя 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» (Мурманское течение Баренцева моря) с индексами основных космогеофизических сил и циркуляционных факторов атмосферы, действующих на морскую среду. Выделение циклических компонент в межгодовых колебаниях сопоставляемых параметров проводилось с применением спектрального анализа и полосовой фильтрации данных за 1951–2005 гг., поскольку за этот период имеются наиболее надежные наблюдения за температурой воды на разрезе «Кольский меридиан».

**Солнечная активность.** Солнечная радиация является основным источником энергии почти для всех природных процессов на Земле. Изменения, происходящие на Солнце, влияя также на магнитные и гравитационные поля нашей планеты [Будыко М.Л. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 326 с.; Douglass D.H., Clader B.D., and Knox R.S. Climate sensitivity of Earth to solar irradiance: Update/ In: Solar Radiation and Climate (SORCE) Meeting on Decade Variability in the Sun and the Climate// Meredith. New Hampshire, October 27–29, 2004. P. 1–16]. Поток солнечной энергии, поступающий на Землю, не остается постоянным, а зависит

от меняющегося расстояния между ней и Солнцем, а также от вариаций светимости Солнца, проявляющихся в колебаниях солнечной постоянной [Богданов М.В., Сурков А.Н. Короткопериодные изменения инсоляции, вызванные планетарными возмущениями орбиты Земли// «Метеорология и гидрология», 2006, № 1. С. 46–54.; Willson R.C. and Mordvinov A.V. Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21–32// Geophys. Res. Lett. 2002. Vol. 30. No. 5. P. 1199–2002]. В качестве индикатора колебаний интенсивности радиации, достигающей нашей планеты, используется индекс солнечной активности (числа Вольфа).

Из долгопериодных колебаний солнечной активности наиболее значимыми считаются квазивековой и 11-летний (цикл Швабе) ритмы [Crowley T.J. Causes of climate change over past 1000 years// Science, 2000. Vol. 289. No. 5477. P. 270–277]. Квазивековые вариации со средним периодом 80–90 лет [Климатология/ Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 568 с.] фиксируются на фоне межвекового тренда (рис. 2). Квазивековой ритм существует также в изменчивости других внешних сил и гидрометеорологических факторов.

Наиболее хорошо выраженным является 11-летний цикл солнечной активности (см. рис. 2), причиной существования которого считаются квазипериодические изменения радиуса Солнца и солнечной постоянной. Эти параметры возрастают в годы максимума 11-летней ритмичности [Чистяков В.Ф. Солнечные циклы и колебания климата. Владивосток: Дальнаука, 1997. Вып. 1. 153 с.].

В межгодовых колебаниях температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», по данным 1951–2005 гг., выделена ритмическая компонента с периодом, близким к 11-летней вариации

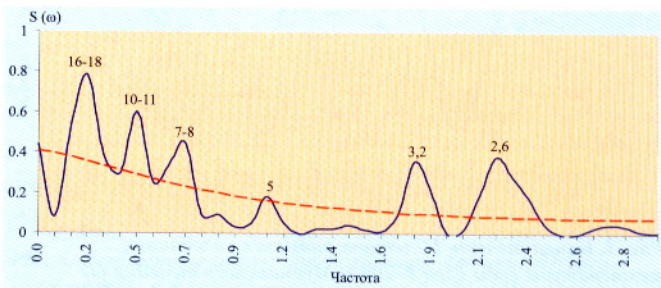


Рис. 1. Спектр колебаний среднегодовой температуры воды слоя 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан». Данные за 1951–2005 гг. (пунктиром обозначен спектр «красного шума»)

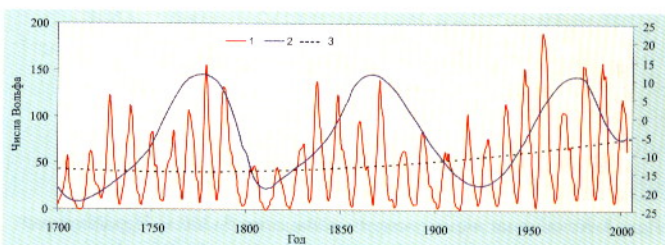


Рис. 2. Изменчивость среднегодовых значений чисел Вольфа (1), их квазивековая (2) и межвековая (3) компоненты



солнечной активности (см. рис. 1). В сопряженности этих параметров на данной частоте присутствует лаг, который в среднем составляет 3 года (коэффициент корреляции  $r = 0,78$ ). Возможной причиной существования временного сдвига является то, что в пределах каждого цикла чисел Вольфа рост солнечной активности длится в течение 3–4 лет, а спад – 7–8 лет. В изменчивости же температуры воды указанные показатели примерно равны. Однако начиная с 1985 г. статистическая связь между индексами солнечной активности и температурой воды была наибольшей при сдвиге в два года ( $r = 0,94$ ), поскольку с этого периода время роста 11-летнего цикла солнечной радиации увеличилось, а спада – уменьшилось (рис. 3).

Нестационарность временного лага могла быть вызвана также фазово-амплитудной модуляцией солнечно обусловленной составляющей температуры воды и ее компоненты, которую генерирует квазидесятилетний ритм в изменениях скорости вращения Земли [Сидоренков Н.С. *Межгодовые колебания системы атмосфера – океан – Земля*// «Природа», 1999, № 7. С. 26–34]. Наличие запаздывания в колебаниях температуры воды относительно чисел Вольфа на частоте, соответствующей 11-летнему циклу, может быть использовано в прогностических целях.

**Деклинационный прилив.** В межгодовых изменениях температуры воды Мурманского течения был также выделен 16–18-летний цикл (см. рис. 1), близкий по продолжительности к многолетнему лунному деклинационному приливу (18–19 лет), механизм влияния которого на гидрометеорологические процессы впервые был исследован И.В. Максимовым [Геофизические силы и воды океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 448 с.].

При сопоставлении 16–18-летней компоненты в колебаниях температуры Мурманского течения и потенциала приливообразующей силы Луны за более чем 50-летний период выявлено несопадение времени наступления максимумов и минимумов этих циклическостей (рис. 4). Кросскорреляционный анализ показал, что с 1951 по 1973 г. наиболее высокая статистическая связь ( $r = 0,96$ ) наблюдалась при запаздывании температуры воды относительно потенциала приливообразующей силы Луны на 4–5 лет. С 1974 по 2005 г. временной лаг, при котором также отмечается наиболее

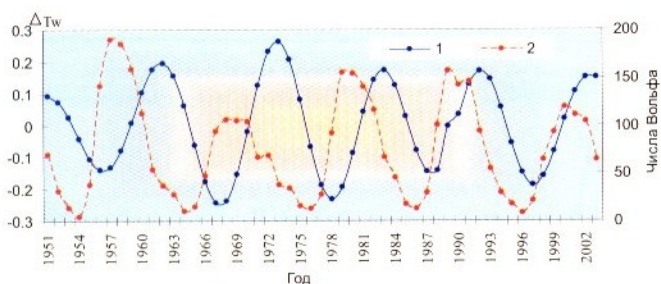


Рис. 3. Изменчивость 11-летних ритмов в колебаниях температуры воды слоя 0–200 м Мурманского течения (1) и чисел Вольфа (2)

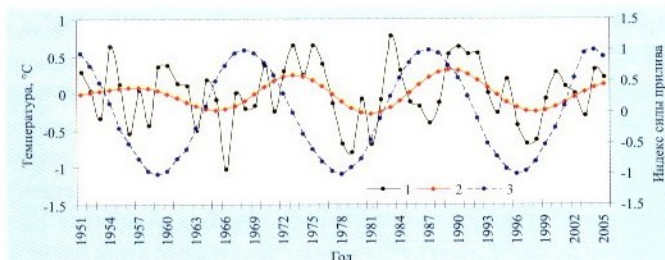


Рис. 4. Колебания температуры воды слоя 0–200 м Мурманского течения без квазивековой компоненты (1), ее 16–18-летняя составляющая (2) и потенциал 18–19-летних вариаций приливообразующей силы Луны (3)

высокая сопряженность этих параметров ( $r = 0,96$ ), составил 2–3 года. Наличие запаздывания позволяет использовать закономерности колебаний потенциала приливообразующей силы Луны для заблаговременных оценок 16–18-летнего ритма температуры воды Баренцева моря. Как отмечалось выше, в колебаниях 11-летних циклов солнечной активности и температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» также выявлены изменения лага в сроках наступления их максимумов и минимумов.

**Магнитная напряженность Земли.** В спектре колебаний геофизического фактора, каким является магнитная активность Земли, по данным 1951 – 2005 гг., наибольшую спектральную энергию имеет 11-летний цикл. Это подтверждает зависимость магнитной напряженности нашей планеты от колебаний солнечной активности. Наиболее высокая корреляционная связь между этими параметрами ( $r = 0,91$ ) наблюдается при сдвиге на два года, при запаздывании изменения магнитной напряженности относительно вариаций солнечной активности. Кроме того, в межгодовых колебаниях интенсивности магнитного поля Земли выделен 8-летний ритм, который может быть косвенной причиной аналогичных циклов в динамике характеристик состояния атмосферы и океана.

**Скорость вращения Земли.** В межгодовых вариациях скорости вращения Земли присутствует 10-летний цикл, который может определяться гравитационным воздействием со стороны Луны, Солнца и планет Солнечной системы на несферичные и неоднородные оболочки Земли. Это приводит к изменениям в ее ядре, определяя связанные с ними многолетние вариации геомагнитного поля. В то же время внешнее гравитационное воздействие и другие факторы вызывают колебания в распределении воздушных масс, снежного и ледяного покровов, осадков, уровня Мирового океана и других климатических характеристик, что и влияет на флуктуации скорости вращения Земли. При ускорении вращения планеты (когда длительность суток уменьшается) увеличивается масса льда в Антарктиде, усиливается интенсивность зональной циркуляции, повышается темп роста температуры в Северном полушарии. При замедлении скорости вращения Земли наблюдается противоположная динамика гидрометеорологических процессов [Сидоренков, 1999].

**Нутация оси Земли.** Еще одним фактором не космического, а геофизического характера, имеющего планетарный масштаб, являются колебания мгновенной оси вращения Земли (нутации), под воздействием которых центробежная сила планеты не остается постоянной. Это явление, получившее название «полюсной прилив», вызывает изменения уровня Мирового океана. Вариации мгновенной оси вращения Земли с периодичностью 18–19 и 6–7 лет могут оказывать влияние на траектории крупномасштабных систем воздушных потоков и морских течений [Рудяев Ф.И. *Изменения скорости вращения Земли, обусловленные зональным приливом, и их проявление в поле атмосферного давления*// «Изв. ВГО АН СССР», 1985. Вып. 2. С. 120–126; Слепцов-Шевлевич Б.А. *Вращение Земли и колебания уровня Атлантического океана*// «Изв. РГО», 1998. Т. 130. Вып. 5. С. 68–73].

Так, долгопериодные колебания мгновенной оси вращения Земли вызывают увеличение или уменьшение скорости Гольфстрима на 10–15 см/с, что является достаточно большой величиной при длительном влиянии внешней силы [Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь А.И. *Долгосрочные метеорологические прогнозы*. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 243 с.]. В свою очередь, динамические процессы в атмосфере и морской среде во многом определяют циклические вариации теплосодержания водных масс с близкой частотой.

**Северо-Атлантическое колебание.** По данным наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» за более чем 50-летний период (с 1951 г.), в колебаниях температуры воды Баренцева моря с помощью полосовой фильтрации была выделена циклическость



несколько большей длительности (7–8 лет), чем «полюсной прилив». Как показали исследования, наиболее значительное проявление ритмичности, по продолжительности близкой к нутационным колебаниям оси Земли и ее магнитной возмущенности, существует в изменчивости атмосферных барико-циркуляционных процессов [Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю. *Северо-Атлантическое колебание и климат*. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1998. 122 с.]

В Северной Атлантике наличие центров действия атмосферы (Исландская депрессия и Азорский максимум) определяет преобладание над Северной Атлантикой зонального переноса воздушных потоков. Интенсивность и направленность результирующего перемещение масс воздуха меняется во времени, поскольку наблюдается пространственное смещение атмосферных образований и степень их выраженности. Для их характеристики наиболее часто используется индекс Северо-Атлантического колебания – *NAO* (*North Atlantic Oscillation*).

При уменьшении атмосферного давления в Исландском минимуме и интенсификации зонального переноса над Северной Атлантикой (положительные значения *NAO*) усиливаются меридиональные потоки воздушных масс с севера на юг у побережья Восточной Канады и с юга на север – в районе водораздела Норвежского и Баренцева морей. Это приводит к повышению температуры воздуха над Баренцевым и Гренландским морями, увеличению переноса атлантических вод в Баренцево море и уменьшению ледовитости в Северо-Европейском бассейне. При ослаблении западного переноса над Северной Атлантикой (отрицательная фаза *NAO*) гидрометеорологическая ситуация меняется на противоположную [Многолетние колебания ледовых условий и атмосферной циркуляции в приатлантической Арктике и Северной Атлантике/ Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Смирнов А.Н., Смирнов Н.П.// «Метеорология и гидрология», 1998, № 9. С. 87–98].

В долгопериодной изменчивости индекса *NAO* с 1951-го по конец 1970-х годов преобладала отрицательная фаза, а в последующий период доминировали его положительные значения. Анализ частотной структуры межгодовых колебаний этого индекса, по данным наблюдений за 1951 – 2005 гг., показал наличие в его динамике 18- и 7–9-летних циклов. Последний ритм имеет наибольшую спектральную энергию. Его сопоставление с 7–8-летним циклом температуры воды Мурманского течения показало, что с 1951 по 1985 г. между ними существовала высокая сопряженность при сдвиге показателя теплосодержания водных масс на один год вперед ( $r = 0,95$ ). Причем, их амплитуды изменялись с высокой степенью согласованности (рис. 5).

После 1985 г. время запаздывания 7–8-летнего ритма температуры воды относительно индекса *NAO* стало быстро увеличиваться, достигнув в 1999 г. 3–4 лет (см. рис. 5). В середине 1980-х годов также произошел сбой в колебаниях 11-летнего цикла солнечной активности и теплосодержания водных масс Баренцева моря, когда фазовый угол между ними, наоборот, уменьшился с трех лет до одного года. По-видимому, это не случайное совпадение, а результат проявления взаимодействия глобальных природных процессов. Следовательно, 7–8-летний цикл температуры воды Мурманского течения может косвенно определяться соответствующей изменчивостью интенсивности зонального переноса воздушных масс над Северной Атлантикой.

**Типы атмосферной циркуляции.** Наиболее часто для характеристики развития атмосферных процессов над океанами и материками используется их классификация, предложенная Г.Я. Вангенгеймом. Для анализа гидрометеорологической ситуации в районе Баренцева моря наибольший интерес представляет многолетняя динамика западного типа макросиноптических процессов (*W*). Этот показатель, как и индекс *NAO*, в целом характеризует перенос воздушных масс в восточном направлении.

Нелинейный тренд в межгодовых колебаниях индекса западной формы атмосферной циркуляции над Северо-Европейским бассейном имеет высокую сопряженность с изменчивостью температуры воды Баренцева моря. При уменьшении повторяемости западного переноса воздушных масс понижалась температура воды и воздуха Баренцева моря, но возрастала его ледовитость. Такая климатическая ситуация отмечена с середины 60-х до начала 80-х годов прошлого столетия. В 1950-е годы и до середины 1960-х годов, а также после 1985 г. наблюдалась повышенная повторяемость переноса воздушных масс с запада на восток (рис. 6). В эти периоды отмечены рост температуры воды и воздуха Баренцева моря и уменьшение его ледовитости.

Кроме нелинейного тренда в многолетних колебаниях повторяемости западной формы циркуляции была выделена 8–9-летняя вариация (см. рис. 6). Следует отметить, что с середины 1980-х годов произошло значительное уменьшение амплитуды этого цикла и его вклада в общую изменчивость западного переноса. Близкие квазипериоды отмечены в изменчивости индексов *NAO*, температуры воды Баренцева моря и некоторых других факторов.

Таким образом, проведенные исследования показали достаточно высокую вероятность того, что сложная структура долгопериодных колебаний температуры воды Баренцева моря формируется в результате как прямого, так и косвенного воздействия космогеофизических сил. Некоторые циклы в изменчивости показателя теплосапаса водных масс генерируются в результате непосредственного поступления энергии на морскую поверхность от внешних факторов, интенсивность которых меняется с близкой частотой.

Так, выделенная квазивековая составляющая в изменчивости температуры воды присутствует также в колебаниях солнечной активности, магнитной возмущенности, скорости вращения и нутациях Земли, индексов Северо-Атлантического колебания и повторяемости зонального переноса воздушных масс (таблица). Скорее всего, ее наличие определяется наиболее энергетически мощным фактором, каким является поступление на Землю солнечной энергии. Присутствующий в многолетних колебаниях температуры воды Мурманского течения Баренцева моря 11-летний цикл также является солнечно обусловленным.

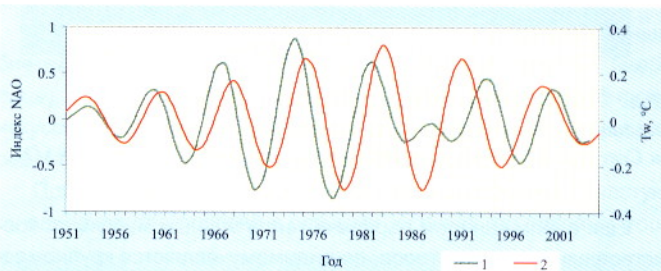


Рис. 5. Семилетние циклы индекса Северо-Атлантического колебания (1) и температуры воды слоя 0–200 м Мурманского течения (2)

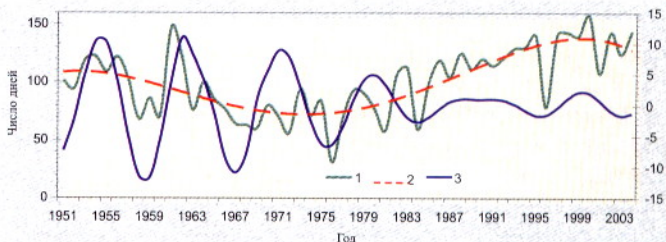


Рис. 6. Межгодовая изменчивость повторяемости в течение года западной формы циркуляции в Атлантико-Европейском секторе (1), ее нелинейный тренд (2) и 8-летний цикл (3)



Долгопериодные составляющие в колебаниях космогеофизических и гидрометеорологических показателей

Показатель	Продолжительность цикла, лет			
	Квазивековой	-	11	-
Солнечная активность	То же	18–19	-	-
Приливообразующая сила Луны и Солнца	- « -	-	11	8
Магнитная возмущенность Земли	- « -	-	10	-
Скорость вращения Земли	- « -	18–19	-	6–7
Нутация оси Земли	- « -	18	-	7–9
Северо-Атлантическое колебание	- « -	-	-	8–9
Температура воды Мурманского течения	- « -	16–18	10–11	7–8



Рис. 7. Схема воздействия космогеофизических сил на гидрометеорологические процессы Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна при положительной фазе NAO

Еще одним каналом передачи тепла водным массам от космогеофизических факторов, по-видимому, являются крупномасштабные системы атмосферной и океанической циркуляции Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна, а также колебания уровня океана. Изменения этих факторов определяют вариации температуры воды Баренцева моря в различных частотных диапазонах. При этом наблюдаются фазовые сдвиги в колебаниях ее отдельных компонент относительно соответствующих циклических флуктуаций внешних факторов. Так, 16–18-летний цикл в колебаниях теплосодержания атлантических вод Баренцева моря генерируется непосредственно не приливообразующей силой Луны, а долгопериодной ритмичностью смены направления и интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой, близкой к периодичности лунного деклинационного прилива.

В изменчивости температуры воды Мурманского течения существует также восьмилетний цикл. Из космогеофизических фак-

торов ритм такой же продолжительности выделен в колебаниях магнитного поля Земли. По данным за 1951 – 2005 гг., при запаздывании теплосодержания водных масс на один год коэффициент корреляции между этими параметрами достаточно большой ( $r = 0,79$ ). Однако вряд ли изменчивость магнитной напряженности может оказывать прямое воздействие на генерирование составляющей такой же продолжительности в межгодовой изменчивости теплосодержания водных масс. Потенциально нутация оси вращения Земли, которая также имеет квазисемилетнюю вариацию, может вызывать близкие по продолжительности ритмические колебания в динамике барико-циркуляционных процессов в Северной Атлантике и Северо-Европейском бассейне. Так, между вариациями 7–9-летнего цикла индекса NAO, спектральная энергия которого в колебаниях этого параметра наибольшая, и 7–8-летнего ритма температуры воды Мурманского течения Баренцева моря коэффициент корреляции равен 0,62 ( $n = 54$ ) при сдвиге последнего параметра на один год вперед.

Возможный механизм формирования долгопериодной изменчивости температуры воды Баренцева моря под воздействием космогеофизических сил и циркуляционных факторов атмосферы схематично представлен на рис. 7.

Наличие фазовых сдвигов в колебаниях крупномасштабных ритмических компонент температуры воды относительно соответствующих циклических вариаций космогеофизических и циркуляционных факторов, которые были выявлены в данной работе, использовано при разработке одного из методов долгосрочного прогноза теплосодержания водных масс Баренцева моря.

**Boitsov V.D.**

**Cosmogeophysical factors and year-to-year variations in the Barents Sea temperature**

*Using spectral analysis and bandpass filtering the long-term cycles in variations in water temperature of the Barents Sea Murmansk Current, cosmogeophysical forces and circulation parameters of the atmosphere over the North Atlantic for 1951-2005 were defined, and their conjugation with different time shifts was estimated.*

*It is more probable that the quasi-centennial and 11-year cycles in water temperature variations are generated by solar activity rhythms, which are close in duration. The 16-18 year variations in the Barents Sea water temperature are, obviously, caused not by a direct influence of the moon tide-generating force on water column, but by the rhythm in the changing of the direction and intensity of air transport over the North Atlantic which is close to the periodicity of the moon declination tide. The dynamics of baric and circulation processes may also have an influence on the 7-8 year rhythm of water temperature. Phase shifts between cause and effect are used in the long-term forecasting of the Barents Sea water temperature.*