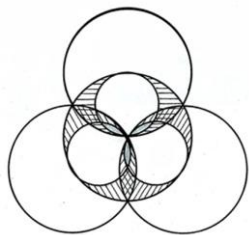


УДК 911, 656.6.052



**СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ  
ПРОЛИВОВ НА ТРАССЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ И  
АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ**

**Холопцев А.В.**<sup>1</sup> (д.геогр.н., проф.),

**Подпорин С.А.**<sup>2</sup> (к.т.н., доц.)

*ФГБОУ Севастопольский Государственный Университет, каф.  
судовождения и безопасности судоходства, г. Севастополь, РФ;*

*<sup>1</sup>kholoptsev@mail.ru; <sup>2</sup>s.a.podporin@mail.ru;*

**Аннотация.** Выявлены статистически значимые и устойчивые телеконнекции современных изменений среднемесячных значений ледовитости акваторий, через которые проходит трасса Северного Морского пути, с опережающими их по времени вариациями суммарных продолжительностей периодов преобладания в Северном полушарии Земли Элементарных Циркуляционных Механизмов, которые относятся к группам Меридиональная Южная, Меридиональная Северная и Нарушенная Зональная (по Б. Л. Дзердзеевскому).

**Ключевые слова:** ледовитость, атмосферная циркуляция, Элементарный Циркуляционный Механизм, телеконнекция, Северный Морской Путь.

**ВВЕДЕНИЕ**

Ледовитость многих акваторий Мирового океана существенно влияет на безопасность и эффективность осуществляемого на них судоходства. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования ее изменений является актуальной проблемой не только физической географии и климатологии, но и эксплуатации водного транспорта.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет в отношении водных путей, проходимость которых непосредственно влияет на условия жизни населения и состояние экономик обширных регионов мира. Одним из них является трасса Северного Морского Пути (далее СМП) – настоящая «дорога жизни», обеспечивающая завоз продовольствия и грузов, жизненно необходимых для населения и экономики большинства заполярных территорий многих регионов России.

Проходимость СМП во многом определяется ледовитостью акваторий, расположенных на подходах к проливам: Вилькицкого (или Шокальского), Дмитрия Лаптева (или Санникова), а также Лонга. Существенно влияет на безопасность движения судов по южному маршруту участка СМП, который ведет из Баренцева моря в Карское, ледовитость акваторий данных морей на подходах к проливам Карские ворота и Югорский шар. Поэтому поиск путей повышения эффективности моделирования и прогнозирования изменений ледовитости подобных акваторий представляет существенный теоретический и практический интерес.

Изучению причин и особенностей изменения ледовитости упомянутых районов Арктики на протяжении уже многих десятилетий посвящены труды ученых Государственного научного центра «Арктический и антарктический научно-

исследовательский институт (ААНИИ) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также других ведущих научных организаций России и мира [20].

Физические принципы, позволяющие осуществлять моделирование и прогнозирование ледовых условий в рассматриваемых регионах, начали разрабатываться еще в двадцатых–тридцатых годах прошлого столетия. Уже тогда стало очевидно, что рассматриваемые природные процессы являются многофакторными [5, 14]. Многие факторы изменений ледовитости арктических акваторий являются ненаблюдаемыми. Вследствие этого при моделировании и прогнозировании подобных изменений ныне эффективно применяются статистические методы.

Качество результатов, получаемых с помощью таких методов, существенно зависит от того, какие именно факторы изучаемых процессов учитываются среди предикторов соответствующих прогностических моделей. Оно может быть удовлетворительным, если связи (телеконнекции) прогнозируемого процесса и его факторов, которые учитываются в таких моделях, являются статистически устойчивыми и значимыми [2].

Следовательно, одним из путей решения рассматриваемой проблемы может являться развитие представлений об условиях, при которых телеконнекции изменений ледовитости акваторий рассматриваемых проливов на трассе СМП и прилегающих к ним арктических районов, с различными природными процессами, обладают указанным свойством.

Основы современных представлений о факторах изменений ледовитости арктических акваторий, которые могут обладать подобными свойствами, заложены в трудах Н.Н. Зубова [13], В.Ю. Визе [7], В.В. Шулейкина [21] и многих других отечественных и зарубежных ученых.

Установлено, что многие факторы влияют на эти изменения опосредованно, - через сложную связь, существенными компонентами которой являются процессы, вызывающие изменения параметров атмосферной циркуляции [1]. Поэтому в работах, посвященных моделированию и прогнозированию изменений ледовитости тех или иных регионов Арктики, проводимых, в том числе, и современными учеными, видное место занимают исследования, направленные на изучение их телеконнекций с вариациями различных характеристик макроциркуляционных процессов в земной атмосфере [5, 11,12].

Б.П. Мультановский еще в 1915 г впервые поставил вопрос о типизации упомянутых процессов. Он ввел в метеорологию понятие «элементарный синоптический процесс», - относительно устойчивое и стабильное состояние атмосферной циркуляции, сохраняющееся примерно 2 – 4 дня [17].

Дальнейшее развитие представления о типизации структур атмосферной циркуляции в Северном полушарии Земли получили в работах Г.Я. Вангейма [6], Б.Л. Дзердзеевского [9, 10] и А.А. Гирса [11].

В подходе, предложенном Б.Л. Дзердзеевским, учитываются макроциркуляционные процессы в атмосфере над Северным полушарием нашей планеты, которые обеспечивают воздухообмен между его высокими и умеренными

широтами. Подобные процессы способны существенно влиять как на таяние арктических льдов, так и на характеристики ветра, влияющего на их дрейф. Поэтому при решении рассматриваемой проблемы использование подхода к типизации макроциркуляционных процессов, предложенного Б.Л. Дзерdzeевским, представляется вполне оправданным. Тем не менее, возможности данного подхода к ее решению ныне изучены недостаточно.

Установлено [9, 10], что для многих структур атмосферной циркуляции в Северном полушарии Земли характерно расположение над Северным полюсом и многими обширными регионами Арктики области повышенного атмосферного давления, а также развитие тех или иных арктических блокингов. Поэтому количество и направление таких блокингов положено в основу классификации соответствующих макроциркуляционных процессов. Различаются также количества и расположения путей, по которым при том или ином ЭЦМ в Арктику входят южные циклоны [10, 15]

Это позволило выделить 39 элементарных циркуляционных механизмов (далее ЭЦМ), относящихся к 12 типам, которые объединены в три группы: Зональную (З), Нарушенную Зональную (НЗ) и Меридиональную Северную (МС).

В отдельную, четвертую группу – Меридиональную Южную (МЮ), объединены два ЭЦМ еще одного типа. При этих процессах, над Северным полюсом располагается область пониженного давления, блокинги отсутствуют и происходят вхождения в высокие широты трех-четырех южных циклонов. Среди всего множества ЭЦМ, которое включает всего 41 их подтип, выявлены процессы, характерные для летних месяцев [10, 15]. Их примерами являются ЭЦМ 13л (единственный летний механизм группы МЮ), 9а, 10а, 10б, 12а, 12бл, 12вл (которые относят к группе МС) и др. Выявлены расположения преобладающих траекторий арктических блокингов и южных циклонов, соответствующие каждому ЭЦМ, в том числе и упомянутым летним [9,10].

Одной из наиболее информативных характеристик значимости влияния на синоптические процессы в Северном полушарии любых ЭЦМ, является суммарная продолжительность периодов их преобладания в течение года или месяца. Обозначим суммарную продолжительность периода в течение некоторого  $k$ -месяца, в течение которого в Северном полушарии преобладает ЭЦМ  $n$ , как  $T_{nk}$ .

Особенности изменения в период с 1899 по 2008 г.  $T_{nk}$  любых ЭЦМ описаны в [15], где представлен также составленный Н.К. Кононовой календарь последовательной их смены для периода 1899-2008 гг.

Установлено, что в период современного потепления климата (после 1982 года) в любые месяцы для ЭЦМ, относящихся к группам МЮ и МС, суммарные продолжительности периодов их преобладания существенно больше, чем для ЭЦМ, принадлежащих группам НЗ и З [15, 16].

Значения  $T_{13лк}$  (для ЭЦМ 13л) в любые летние месяцы, в период с начала 80-х годов до конца XX века усиливались, а в последующем снижались. Значения аналогичной характеристики летних ЭЦМ, принадлежащих к группе МС, (в том числе ЭЦМ 8бл, 8вл, 9а, 9б, 10б, 12а, 12бл и 12 вл [15]), напротив, до конца XX века в среднем снижались, а в XXI веке - возрастают [16]. Для ЭЦМ группы НЗ, характерных для летнего сезона (3, 6, 7ал, и др.) значения  $T_{nk}$  уменьшались.

Как уже отмечалось выше, одним из процессов, происходящих в периоды преобладания перечисленных ЭЦМ, являются вхождения в Арктические и Субарктические регионы Северного полушария южных циклонов [15], которые приводят к снижению над соответствующими их регионами атмосферного давления. Последнее способно ослаблять арктические муссоны, которые непосредственно влияют на дрейф ледовых полей и способны нагонять их к рассматриваемым проливам. Поэтому утверждение [16], согласно которому изменения  $T_{нк}$  различных ЭЦМ, которые происходили в последние десятилетия XX века, могли быть одной из причин происшедшего в это время потепления климата Арктики, представляется вполне обоснованным.

Так как установлено [3], что потепление климата арктических морей способствовало уменьшению ледовитости многих их акваторий, представляется возможным выдвинуть следующую гипотезу:

**телеконнекции межгодовых изменений  $T_{нк}$ , соответствующих некоторым летним ЭЦМ, с запаздывающими по отношению к ним межгодовыми вариациями ледовитости арктических акваторий, расположенных на подходах к проливам Карские Ворота и Югорский Шар, Вилькицкого и Шокальского, Дмитрия Лаптева и Санникова, а также Лонга в месяцы навигационного периода, являются статистически устойчивыми и значимыми.**

Несмотря на то, что мониторинг изменений ледовитости всех районов Арктики размерами  $1^\circ \times 1^\circ$  систематически осуществляется с января 1982 года, а его результаты, в виде рядов среднемесячных значений этой характеристики представлены в [22], проверка адекватности данной гипотезы ранее не производилась.

Вопрос о расположении акваторий, для которых данная гипотеза является адекватной, также ранее не изучался.

Учитывая это, объектом исследования в данной работе являются межгодовые изменения среднемесячных значений ледовитости акваторий на трассе СМП, расположенных на подходах к упомянутым проливам, в месяцы навигационного периода. Как предмет исследования, в ней выбраны телеконнекции между изменениями среднемесячных значений ледовитости изучаемых акваторий в августе и сентябре (месяцы наиболее интенсивной навигации на СМП), а также опережающими их по времени вариациями  $T_{нк}$  ЭЦМ, характерных для летних месяцев.

Целью работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых телеконнекции изменений ледовитости изучаемых акваторий, с вариациями  $T_{нк}$  ЭЦМ, характерных для летних месяцев, являются значимыми и устойчивыми.

### **ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

При достижении указанной цели как фактический материал использованы временные ряды среднемесячных значений ледовитости рассматриваемых районов Арктики, за период с января 1982 г., которые представлены в [22]. Информация о соответствующих значениях  $T_{нк}$  рассматриваемых ЭЦМ получена из календаря последовательной смены ЭЦМ [15], а также [23].

Как известно, классическим методом оценки значимости статистической связи между стационарными нормальными случайными процессами является корреляционный анализ, с последующим применением критерия Стьюдента [2]. Изучаемые процессы, ни нормальными, ни стационарными не являются. Поэтому упомянутый подход может быть использован лишь для приближенной оценки значимости изучаемых телеконнекций.

Для повышения адекватности получаемых с его помощью оценок и ослабления влияния нестационарности рассматриваемых процессов, в каждом из них был предварительно выделен и скомпенсирован линейный тренд.

Телеконнекция между каким-либо изучаемым процессом и его фактором признавалась значимой, если значение коэффициента парной корреляции между соответствующими фрагментами их временных рядов по модулю превышало уровень 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента. Этот уровень определялся с учетом числа степеней свободы данных фрагментов. Как известно [18], статистическая связь между изучаемым процессом, а также неким его фактором считается надежной и может быть использована при его прогнозировании, если соответствующее значение коэффициента парной корреляции рассматриваемых фрагментов их временных рядов не менее чем в 6-10 раз превышает вероятное отклонение, обусловленное ограниченностью длины этих фрагментов.

Установлено, что указанными свойствами обладают фрагменты откорректированных временных рядов изучаемых процессов, содержащие от 15 до 25 членов. Поэтому оценка статистической устойчивости изучаемых телеконнекций производилась для фрагментов соответствующих временных рядов именно такой длины.

Как известно, статистическая связь между двумя процессами признается устойчивой, если ее значимость имеет место для любых фрагментов их временных рядов, длина которых позволяет этот факт установить [2]. Поэтому решение об устойчивости телеконнекции изменений ледовитости какой-либо изучаемой акватории и их фактора, принималось, если установлена ее значимость для любого отрезка времени продолжительностью от 15 до 25 лет, который полностью укладывается в интервал с 1982 по 2008 гг.

Области, локализирующие выявленные акватории, отображены на контурных картах с использованием метода триангуляции Делоне [19].

Так как для ЭЦМ 13л изменения соответствующих значений  $T_{13лк}$  в [23] описаны для периода до 2012 г., адекватность выдвинутой гипотезы для него проверена для всего этого периода.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ**

С использованием описанной методики оценена значимость и устойчивость телеконнекций изменений в августе и сентябре среднемесячных значений ледовитости акваторий Арктики, размером  $1^\circ \times 1^\circ$ , расположенных южнее параллели  $86^\circ N$ , а также между меридианами  $35^\circ E$  и  $165^\circ W$ , с вариациями  $T_{нк}$  всех летних ЭЦМ (по классификации Б.Л. Дзердзеевского), которые опережают их по времени на 0-4 месяца.

Установлено, что для некоторых ЭЦМ, характерных для летних месяцев, в морях прилегающих к проливам Карские ворота и Югорский Шар, Вилькицкого и Шокальского, Дмитрия Лаптева и Санникова, а также Лонга существуют обширные области, в пределах которых, телеконнекции межгодовых изменений ледовитости их акваторий в августе и сентябре, а также  $T_{нк}$ , при определенных значениях сдвигов по времени, с достоверностью не ниже 95%, значимы и устойчивы. Тем самым адекватность выдвинутой гипотезы с указанной достоверностью подтверждена.

Условия, при которых телеконнекции межгодовых изменений  $T_{нк}$  тех или иных ЭЦМ, а также среднемесячных значений ледовитости акваторий на подходах к рассматриваемым проливам, с достоверностью 95% в изучаемый период являются устойчивыми и значимыми, отображены в таблице 1.

*Таблица 1. ЭЦМ, для которых временные ряды за 1982-2008 гг.  $T_{нк}$ , а также среднемесячных значений ледовитости акваторий на подходах к рассматриваемым проливам, при некоторых сдвигах по времени связаны между собой значимо и устойчиво.*

Изменения ледовитости	Август			Сентябрь		
	май	июнь	июль	июнь	июль	август
Проливы Карские ворота и Югорский Шар	3	9а	7ал	9а	9а	3
	6	12а	9а	12а	12а	9а
	12а	12бл	12вл	12вл	12вл	12а
	13л	12вл	13л	13л	13л	12бл
		13л				12вл
						13л
Пролив Вилькицкого и Шокальского	12а	6	3	6	3	12вл
	13л	9а	9а	7ал	6	13л
		13л	12бл	9а	9а	
			13л	12вл	12бл	
				13л	13л	
Проливы Дмитрия Лаптева и Санникова	12бл	7ал	3	7ал	3	12бл
	13л	9а	9а	9а	9а	13л
		12бл	12а	12а	12а	
		13л	12бл	12вл	12бл	
			12вл	13л	12вл	
		13л		13л		
Пролив Лонга	3	6	3	6	3	12вл
	6	7ал	9а	7ал	9а	13л
	7ал	9а	12бл	9а	12бл	
	13л	13л	13л	13л	12вл	
					13л	

Как видно из таблицы 1, среди ЭЦМ, для которых телеконнекции вариации  $T_{нк}$  в апреле – августе с межгодовыми изменениями среднемесячных значений ледовитости акваторий, расположенных на подходах к рассматриваемым проливам, значимы и

устойчивы, присутствуют процессы, относящиеся к группам МЮ, МС (9а, 12бл, 12вл), НЗ (3,6,7ал).

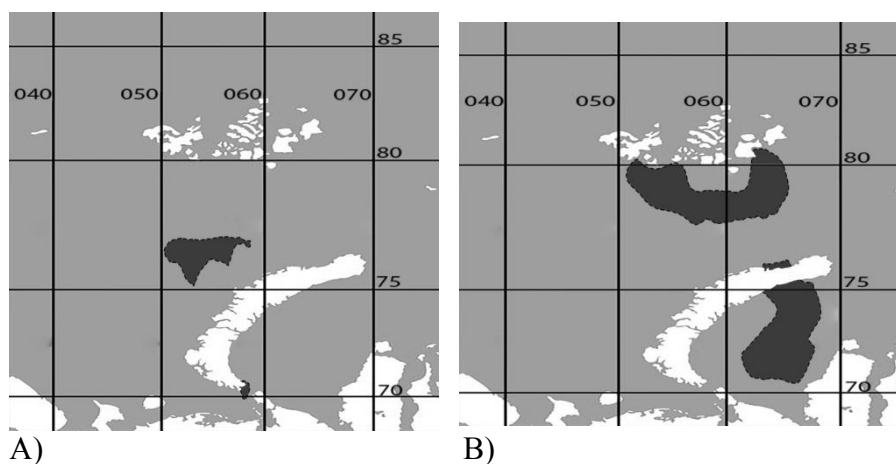
Достоверность статистических выводов о значимости и устойчивости указанных телеконнекций составляет не менее 95%. Последнее позволяет утверждать, что выдвинутая гипотеза является адекватной с неменьшей достоверностью.

При временных сдвигах между рассматриваемыми процессами менее 1 месяца и более 3 месяцев столь же устойчивых и значимых их телеконнекций не выявлено, что вполне соответствует представлениям [13, 21] об инерционности изменений ледовитости океанических акваторий, которые обусловлены ветровым дрейфом ледовых полей.

Расположения акваторий арктических морей, для которых выдвинутая гипотеза является адекватной, также представляют немалый теоретический и практический интерес. Эти расположения выявлены для каждого месяца, в котором рассматриваются изменения ледовитости, а также каждого ЭЦМ, упомянутого в таблице 1.

Рассмотрим некоторые примеры областей, где локализованы выявленные акватории.

На рисунке 1, представлены расположения акваторий Карского и Баренцева морей, прилегающих к проливу Карские ворота, для которых выявлена устойчивость и значимость телеконнекций межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре с опережающими их по времени вариациями  $T_{13л,k}$ .



**Рис. 1.** Акватории Баренцева и Карского морей, где межгодовые изменения их ледовитости в августе и сентябре устойчиво и значимо связаны с вариациями  $T_{13л,k}$   
А) август,  $k=6$  (ЭЦМ в июне); Б) сентябрь,  $k=8$  (ЭЦМ в августе).

Из рисунка 1А видно, что с межгодовыми вариациями  $T_{13л,6}$  значимо и устойчиво связаны межгодовые изменения среднемесячных значений в августе ледовитости акваторий Баренцева и Карского морей, одна из которых расположена непосредственно в проливе Карские ворота, а другая – южнее архипелага Земля Франца-Иосифа. Корреляция этих процессов значима и отрицательна.

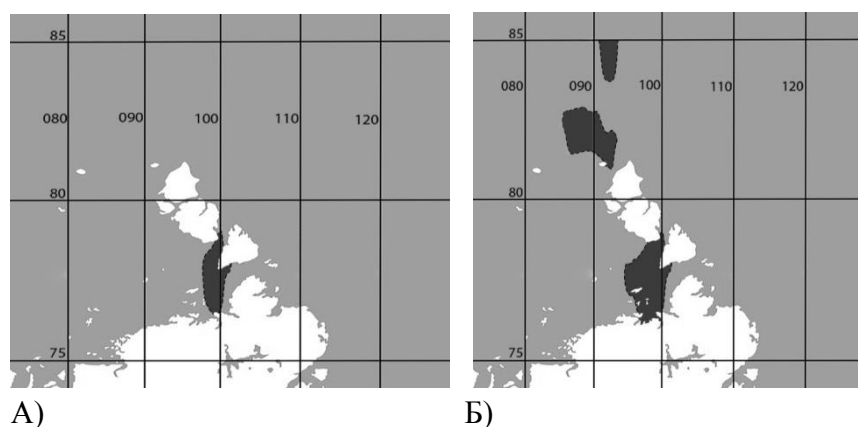
Рисунок 1Б показывает, что межгодовые изменения сентябрьских среднемесячных значений ледовитости ряда районов Баренцева и Карского моря столь

же устойчиво и значимо связаны с вариациями  $T_{13л,8}$ . Области, в которых локализованы подобные районы, расположены в Баренцевом море южнее архипелага Земля Франца-Иосифа, а в Карском море - к северу от Байдарацкой губы.

Как следует из [15], в период действия ЭЦМ 13л. в Арктику через Гренландию, Гренландское и Баренцево море с юга приходят окклюдированные циклоны. Чем дольше существует в некотором месяце данный процесс, тем ниже над соответствующим регионом среднемесячное значение атмосферного давления. Последнее, по-видимому, может ощутимо снижать скорости над данным регионом северных ветров, что способно ослаблять ветровой нагон к рассматриваемым проливам с севера дрейфующего льда.

Как видим, полученные статистические результаты допускают вполне понятную причинно-следственную интерпретацию и свидетельствуют о том, что межгодовые вариации  $T_{13л,6}$  действительно способны влиять на ледовитость акваторий на подходах к проливам Карские ворота и Югорский Шар.

На рисунке 2 показаны районы Карского моря, для которых телеконнекции межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре с опережающими их по времени вариациями  $T_{13л,5}$  и  $T_{12вл,8}$ , являются значимыми и устойчивыми.



**Рис. 2.** Акватории Карского моря, где межгодовые изменения их ледовитости в августе и сентябре устойчиво и значимо связаны с опережающими их по времени вариациями  $T_{13л,5}$  и  $T_{12вл,8}$ . А) август,  $T_{13л,5}$ ; Б) сентябрь,  $T_{12вл,8}$ .

Из рисунка 2А нетрудно заметить, что в Карском море существуют районы, где в августе межгодовые изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с опережающими их по времени вариациями  $T_{13л,5}$ . Выявленные районы расположены на входах в проливы Вилькицкого и Шокальского. В море Лаптевых аналогичных районов не обнаружено.

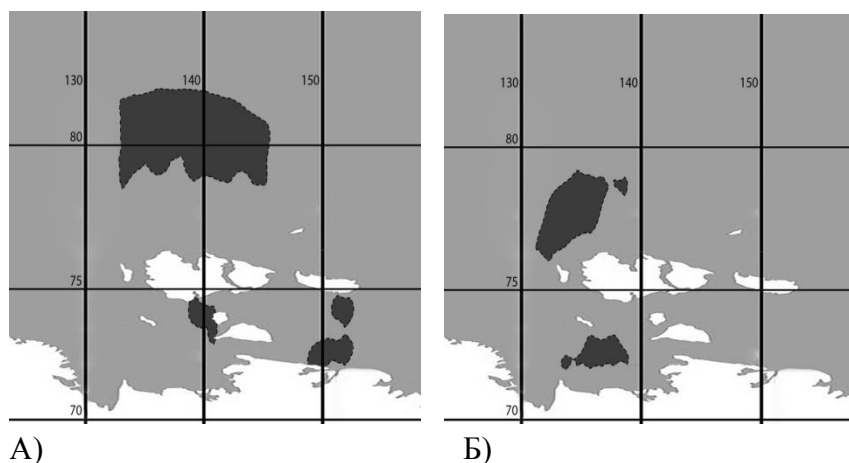
Рисунок 2Б показывает, что аналогичные районы существуют и в сентябре, но изменения их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями  $T_{12вл,8}$ . Следует отметить, что корреляция рассматриваемых процессов для выявленных районов является отрицательной.

Данный результат соответствует представлениям [15] об атмосферных процессах в период действия ЭЦМ 13л и 12вл. Причины, по которым вариации  $T_{13л,5}$

ЭЦМ13л, способны влиять на ледовитость выявленных районов, рассмотрены выше. Как известно [10, 15] для ЭЦМ 12вл также характерно наличие не только трех арктических блокингов, но и трех вхождений в Арктику южных циклонов. Одно из этих вхождений происходит непосредственно через рассматриваемый ее район. Поэтому чем больше их продолжительность  $-T_{12вл,8}$ , тем ниже над ним среднемесячное значение атмосферного давления в августе, а также слабее северные ветры, нагоняющие дрейфующие льды в проливы Вилькицкого и Шокальского.

Следовательно, и для рассматриваемого участка СМП статистические связи межгодовых изменений ледовитости выявленных его акваторий в августе и сентябре с вариациями  $T_{13л,5}$  и  $T_{12вл,8}$ , обладают свойствами, которые позволяют допускать целесообразность учета данных факторов при их прогнозировании.

На рисунке 3 отображены районы моря Лаптевых и Восточно–Сибирского моря, для которых установлено наличие статистической устойчивости и значимости связей межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре с опережающими их по времени вариациями  $T_{7ал}$ ,  $T_{12бл}$ .



**Рис. 3.** Районы моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, для которых телеконнекции межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре связаны с опережающими их по времени вариациями  $T_{7ал}$  и  $T_{12бл}$ , устойчивы и значимы

*А) август,  $T_{7ал5}$ ; Б) сентябрь,  $T_{12бл8}$ .*

Как следует из рисунка 3А, в августе один из выявленных районов расположен непосредственно в проливе Санникова, и Дмитрия Лаптева, а еще два в Восточно-Сибирском море на подходах к нему и проливу Дмитрия Лаптева (между островом Новая Сибирь и Хромской губой). Во всех этих районах корреляция рассматриваемых процессов является отрицательной.

Рисунок 3А подтверждает данные таблицы 1, согласно которым значимое влияние на межгодовые изменения ледовитости акваторий рассматриваемого района способны оказывать вариации  $T_{7ал5}$ . ЭЦМ7ал относится к группе НЗ, а средняя продолжительность периода его преобладания максимальна именно в мае [15]. При этом процессе над Северной Америкой происходит вторжение на юг языка арктического воздуха, над Арктическим бассейном располагается явно выраженный

антициклон, а циклоны с Северной Атлантики над северными регионами России, а также Карским морем и морем Лаптевых перемещаются на восток по зональным траекториям.

Поскольку эти циклоны доставляют теплый, влажный воздух и в рассматриваемый район, а также снижают в нем атмосферное давление, не удивительно, что увеличение продолжительности периода преобладания ЭЦМ7ал приводит к снижению ледовитости некоторых его акваторий.

Как видно из рисунка 3Б межгодовые изменения ледовитости в сентябре некоторых районов моря Лаптевых значимо и устойчиво связаны с вариациями  $T_{126л8}$ . К ним относится район, расположенный на входе в пролив Дмитрия Лаптева, между островом Столбовой и побережьем Янского залива. Корреляция рассматриваемых процессов здесь значима и отрицательна.

При ЭЦМ 12бл происходят три блокирующих процесса и три вхождения южных циклонов, одно из которых происходит непосредственно через район проливов Дмитрия Лаптева и Санникова. Последнее подтверждает адекватность предположения, что изменения продолжительности действия в августе ЭЦМ 12бл, способны значимо влиять на вариации ледовитости выявленных акваторий.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о том, что прогнозы ледовитости выявленных акваторий в августе и сентябре, основанные на учете результатов мониторинга вариаций  $T_{7ал}$  и  $T_{126л8}$ , целесообразно учитывать при планировании навигации через проливы Дмитрия Лаптева либо Санникова

Выявленные акватории Восточно-Сибирского и Чукотского моря, расположенные вблизи пролива Лонга, в которых межгодовые изменения их ледовитости в августе и сентябре устойчиво и значимо связаны с опережающими их по времени вариациями  $T_{13л7}$  представлены на рисунке 4.

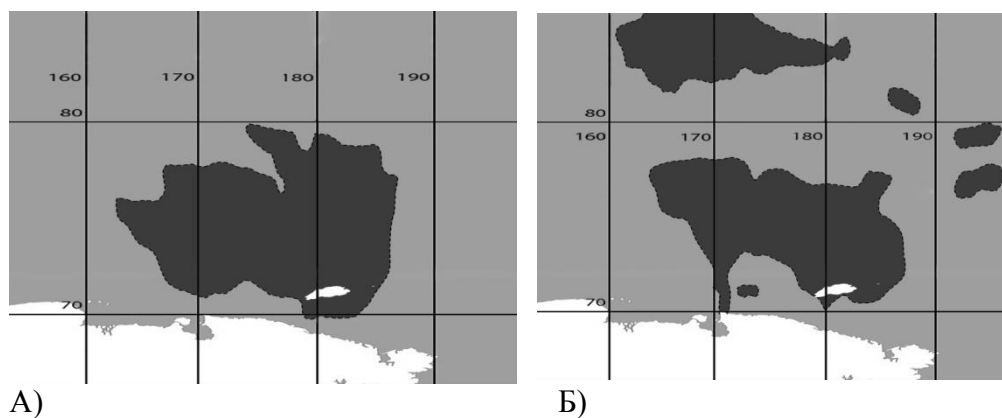
Из рисунка 4А нетрудно установить, что акватории, в которых межгодовые изменения среднемесячных значений их ледовитости значимо и устойчиво связаны с вариациями  $T_{13л7}$ , расположены в основном севернее южного маршрута СМП, проходящего через южную часть пролива Лонга.

Тем не менее, прогноз ледовитости для этих акваторий вовсе не лишен смысла. Он становится весьма актуальным, если маршрут, через южную часть пролива Лонга, перекрыт паковыми льдами. В подобных случаях суда обходят остров Врангеля с севера, через акватории, в которых межгодовые изменения среднемесячных значений их ледовитости в августе значимо и устойчиво связаны с вариациями  $T_{13л7}$ .

Из рисунка 4Б видно, что область Восточно-Сибирского моря, в которой межгодовые изменения сентябрьских среднемесячных значений ледовитости его акваторий значимо и устойчиво связаны с вариациями  $T_{13л7}$ , имеет значительные размеры и полностью перекрывает трассу СМП на траверзе мыса Шелагский (вход в Чаунскую губу, порт Певек).

Корреляция рассматриваемых процессов в отличие от всех предыдущих случаев положительна. Последнее, по-видимому, обусловлено тем, что уменьшение среднемесячных значений атмосферного давления над изучаемым районом, как и в других рассмотренных выше примерах, ослабляет действующие в нем ветры. Вследствие этого влияние на дрейф льдов поверхностного течения, которое несет их с

запада (в том числе к проливу Лонга), усиливается, что и приводит к увеличению в августе и сентябре ледовитости выявленных акваторий в годы, когда значения  $T_{13.7}$  повышены.



**Рис. 4.** Районы Восточно-Сибирского и Чукотского моря, для которых телеконнекции межгодовых изменений их ледовитости в августе и сентябре, с опережающими их по времени вариациями  $T_{13.7}$ , устойчивы и значимы. А) август; Б) сентябрь.

Приведенные примеры позволяют предположить, что выявленные телеконнекции значимы и устойчивы, благодаря тому, что их причиной является единый процесс, существующий в периоды преобладания соответствующих ЭЦМ. Установлено, что аналогичное предположение вполне правомочно и для всех прочих выявленных ЭЦМ (приведенных в таблице 1).

Это предположение представляется парадоксальным, ведь по классификации Б. Л. Дзердиевского, данные ЭЦМ, относятся к разным группам. Тем не менее, единый атмосферный процесс, способный влиять на синоптическое положение над морями российского сектора Арктики при любых выявленных ЭЦМ, существует.

Как следует из [10, 15], в периоды действия всех подобных ЭЦМ один из путей, по которому происходит вхождение в Арктику южных циклонов, проходит через ее российский сектор. Их приход на акватории соответствующих арктических морей наверняка приводит к снижению над ними атмосферного давления. Последнее не может не вызывать ослабления летних муссонов, способствующих нагону дрейфующих льдов к побережьям Евразии и проливам на трассе СМП.

Как видно из рисунков 1-4, следствием ослабления приводных ветров может являться как снижение ледовитости выявленных акваторий, так и ее увеличение (в зависимости от соотношения между характеристиками приводного ветра и поверхностного течения).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что подход к типизации макроциркуляционных процессов, который предложен Б.Л. Дзердзеевским, основан на учете природных явлений, существенно влияющих не только на синоптическое положение над арктическими морями России, но и на изменения ледовитости многих их акваторий. Вследствие этого представляется вероятным, что выявленные связи

носят не только статистический, но и причинный характер. Последнее позволяет предполагать возможность разработки с их учетом прогнозов ледовитости выявленных акваторий, которые являются достаточно эффективными. Учитывая расположение данных акваторий на подходах к проливам, определяющим проходимость СМП, разработка таких прогнозов весьма актуальна при планировании эксплуатации здесь водного транспорта.

Вместе с тем адекватность подобного предположения нуждается в дополнительной оценке, поскольку известно, что прогнозы, которые построены с учетом статистических связей, выявленных по предыстории изучаемого процесса и его факторов, адекватны не всегда. Они могут описывать действительность лишь при осуществлении сценария будущего, при котором закономерности, обуславливающие учитываемые связи, сохранятся неизменными.

Таким образом, установлено:

1. Межгодовые изменения  $T_{нк}$ , которые соответствуют выявленным ЭЦМ, обладают статистическими свойствами, при которых их связи с запаздывающими по времени вариациями среднемесячных значений ледовитости в августе и сентябре многих акваторий, определяющих проходимость трассы СМП, с достоверностью не менее 95% могут быть признаны значимыми и устойчивыми. Следовательно, выдвинутая гипотеза адекватна.

2. Характер фактических межгодовых изменений ледовитости выявленных акваторий соответствует современным представлениям о возможных ее вариациях, обусловленных макроциркуляционными процессами, характерными для периодов преобладания в Северном полушарии соответствующих ЭЦМ, относящихся к группам МЮ, МС и НЗ по классификации Б.Л. Дзерdzeевского.

3. Наиболее существенное влияние на межгодовые изменения ледовитости выявленных акваторий оказывают вхождения южных циклонов, которые приносят в изучаемые районы Арктики теплый воздух, что вызывает снижение в них атмосферного давления и изменения характеристик преобладающих приводных ветров, непосредственно влияющих на дрейф ледовых полей.

4. Подход к типизации макроциркуляционных процессов, предложенный Б. Л. Дзердиевским, является продуктивным при исследованиях реакций на изменения характеристик общей циркуляции атмосферы не только метеорологических процессов и климата, но ледовитости многих арктических акваторий.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абузяров З.К., Шамраев Ю.И. Морские гидрологические информации и прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 219 с.
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.
3. Алексеев Г.В. Исследования изменений климата Арктики в XX столетии/ Г. В. Алексеев // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446. – С. 6-21.
4. Белинский Н.А. Использование некоторых особенностей атмосферных для долгосрочных прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – 203 с.

5. Белинский Н.А., Глаголева М.Г. Метод расчета температуры воды в верхнем моря в теплую часть года // Метеорология и Гидрология. – 1960. – № 7. – С. 14-21.
6. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики //Труды Аркт. науч.-исслед. ин-та. – 1952. –Т. 34. – 314 с.
7. Визе В.Ю. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей // Труды ААНИИ. – 1944. – Т. 190. – 273 с.
8. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л. Гидрометеиздат, 1974. – 488 с.
9. Дзердзеевский Б.Л. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов [Текст] / Б. Л. Дзердзеевский, В. М. Курганская, З. М. Витивицкая // Тр. Н.-и. учреждений Гл. упр. Гидрометеорол. Службы при Совете Министров СССР. Сер.2 Синоптическая метеорология. – 1946. – Вып. 21. – С. 80.
10. Дзердзеевский, Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. – М., 1968. – 240 с.
11. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 12. – С. 82–94.
12. Думанская И.О. Проблемы разработки методик долгосрочных ледовых прогнозов в условиях современных изменений климата // Метеостар. – 2008. – № 4. – С. 25-30.
13. Зубов Н.Н. Морские воды и льды. – М.: Гидрометиздат, 1938. – 454 с.
14. Кан С.И. Современное состояние методов ледовых прогнозов на морях СССР // Океанология. – 1967. – Т. 7., Вып. 5. – С. 786-792.
15. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому // М. ИГ РАН. – 2009. – 370 с.
16. Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX – начале XXI века и их отражение в климате // Сложные системы. – 2014. – № 2 (11). – С. 11–36.
17. Мультиановский Б. П. Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. – М.: Издательство ЦУЕГМС, 1933. – 140 с.
18. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть. III. Служба морских гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 143 с.
19. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.
20. Фролов И.Е. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Е. Г. Ковалев, В. М. Смоляницкий // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2007. – вып. 75. – С.149-160.
21. Шулейкин В.В. Физика моря. – М.: Наука, 1968. – 1083с.
22. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html/>
23. URL: <http://www.Atmospheric-circulation.ru>

**CONTEMPORARY CHANGES OF THE ICE COVER ON THE NORTHERN SEA  
ROUTE AND ATMOSPHERIC CIRCULATION**

**Kholoptsev A.V.**<sup>1</sup>, (Dr. Sci. (Geography).),

**Podporin S.A.**<sup>2</sup> (Cand. Sci. (Engineering))

*Sevastopol State University, Navigation and security navigation Department, Sevastopol,  
Russian Federation;*

<sup>1</sup>*kholoptsev@mail.ru;* <sup>2</sup>*s.a.podporin@mail.ru*

**Abstract.** Statistically significant and sustained teleconnection modern changes of mean monthly values of sea ice extent of water areas through which the Northern Sea route trail passes with time series of total duration of the predominance periods in the Northern hemisphere of Elementary Circulation Mechanisms, which refer to groups of Meridional Southern, Meridional Northern and Azonal (by B.L. Dzerdzevsky) were revealed.

**Key words:** ice cover, atmospheric circulation, the Elementary Circulation Mechanism, teleconnection, the Northern Sea route.

#### REFERENCES

1. Abuzjarov Z.K., Shamraev Ju.I. Morskie gidrologicheskie informacii i prognozy. L.: Gidrometeoizdat, 1974, 219 p.
2. Ajvazjan S.A., Mhitarjan V. S. Prikladnaja statistika i osnovy jekonometriki. M.: Juniti, 1998, 1022 p.
3. Alekseev G. V. Issledovanija izmenenij klimata Arktiki v HH stoletii/ G. V. Alekseev. *Trudy AANII*, 2003, vol. 446, pp. 6-21.
4. Belinskij N.A. Ispol'zovanie nekotoryh osobennostej atmosferyh dlja dolgosrochnykh prognozov. L.: Gidrometeoizdat, 1957, 203 p.
5. Belinskij N.A., Glagoleva M.G. Metod rascheta temperatury vody v verhnem morja v tepluju chast' goda. *Meteorologija i Gidrologija*, 1960, no. 7, pp. 14-21.
6. Vangengejm G. Ja. Osnovy makrocirkuljacionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlja Arktiki. *Trudy Arkt. nauch.-issled. in-ta.*, 1952, vol. 34, 314 p.
7. Vize V. Ju. Osnovy dolgosrochnykh ledovyh prognozov dlja arkticheskikh morej. *Trudy AANII*, 1944, vol. 190, 273 p.
8. Girs, A. A. Makrocirkuljacionnyj metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov. L. Gidrometeoizdat, 1974, 488 p.
9. Dzerdzevskij, B. L. Tipizacija cirkuljacionnyh mehanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskikh sezonov. B. L. Dzerdzevskij, V. M. Kurganskaja, Z. M Vitivickaja. *Tr. N.-i. uchrezhdenij Gl. upr. Gidrometeorol. Sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser.2 Sinopticheskaja meteorologija*, 1946, vol. 21, P. 80.
10. Dzerdzevskij, B. L. Cirkuljacionnye mehanizmy v atmosfere Severnogo polusharija v HH stoletii. *Materialy meteorologicheskikh issledovanij*. M., 1968, 240 p.
11. Dumanskaja I.O., Fedorenko A.V. Analiz svjazi ledovyh harakteristik morej evropejskoj chasti Rossii s makrocirkuljacionnymi atmosferynymi processami. *Meteorologija i gidrologija*, 2008, no. 12, pp. 82–94.
12. Dumanskaja I. O. Problemy razrabotki metodik dolgosrochnykh ledovyh prognozov v uslovijah sovremennyh izmenenij klimata. *Meteorol.*, 2008, no. 4, pp. 25-30.
13. Zubov N. N. Morskie vody i l'dy. M.: Gidrometizdat, 1938, 454 p.
14. Kan S.I. Sovremennoe sostojanie metodov ledovyh prognozov na morjah SSSR. *Okeanologija*, 1967, vol. 7, no. 5, pp. 786-792.
15. Kononova, N. K. Klassifikacija cirkuljacionnyh mehanizmov Severnogo polusharija po B. L. Dzerdzevskomu. M. IG RAN, 2009, 370 p.
16. Kononova, N. K. Osobennosti cirkuljacionnyh mehanizmov atmosfery Severnogo polusharija v konce XX – nachale XXI veka i ih otrazhenie v climate [Features northern hemisphere atmospheric circulation in the late XX – beginning of XXI century and their reflection in climate] *Slozhnye sistemy – The complex systems*, 2014, no. 2 (11), pp. 11–36.
17. Mul'tanovskij, B. P. Osnovnye polozenija sinopticheskogo metoda dolgosrochnykh prognozov pogody. M.: Izdatel'stvo CUEGMS, 1933, 140 p.

18. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3, chast'. III. Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov. L.: Gidrometeoizdat, 1982, 143 p.
19. Skvorcov A. V. Trianguljacija Delone i ee primenenie/ A. V. Skvorcov. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002, 128 p.
20. Frolov I. E. Klimaticheskie izmenenija ledovyh uslovij v arkticheskikh morjah Evrazijskogo shel'fa. I. E. Frolov, Z. M. Gudkovich, V. P. Karklin, E. G. Kovalev, V. M. Smoljanickij. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2007, vol. 75, pp. 149-160.
21. Shulejkin V.V. Fizika morja. M.: Nauka, 1968, 1083 p.
22. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html/>
23. URL: <http://www.Atmospheric-circulation.ru>