

УДК 551.46.06.7:551.465.5

Т.Е. Данова, к. геогр. н., Е.В. Галат, асп.

Одесский государственный экологический университет

КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЗАИМОСВЯЗИ МОРСКОГО ЛЬДА АРКТИКИ И ИНДЕКСА ГОЛЬФСТРИМ

Проводится анализ сезонной изменчивости полей коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим. Выявлена обратная корреляционная зависимость. Только в августе, октябре и ноябре отмечаются значимые коэффициенты корреляции по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами. Зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах с большими глубинами – Гренландская котловина, котловина Амундсена, Канадская котловина, а также в районах антициклональных и циклонических круговоротов.

Ключевые слова: климатология морского льда Арктики, индекс Гольфстрим, пространственное распределение коэффициентов корреляции.

Введение. Основные потребители гляциологической информации – климатологи – интересуются обычно изменениями не отдельных ледников, а всего оледенения морских бассейнов или некоторых территорий. К настоящему времени разработаны многочисленные модели динамики отдельных ледников при изменениях климата. Между тем известно, что и отдельные ледники, и оледенение водных бассейнов постоянно изменяются, приспосабливаясь к меняющемуся климату. Так, морской лед, занимающий обширные просторы Арктики, меняет своё положение в зависимости от времени года и оказывает существенное влияние на прилегающие слои атмосферы и океана. Лед является мощным изолятором, ограничивающим теплообмен океана и атмосферы. Альbedo в коротковолновой области солнечного спектра существенно уменьшается при наличии снежного покрова на морском льду [1].

Для изучения климатических процессов, связанных с морским льдом, необходимы геофизические данные в четырех областях: характеристики распространения льдов, включая общую и частные сплоченности, параметры движение льдов, информация по снежному покрову и распределение толщин льдов (<http://www.aari.ru/>).

Представленная работа посвящена вопросам климатологии морских льдов и, конкретно: сезонным изменениям распространения морского льда Арктики и взаимосвязи с аномалиями в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Как известно, глобальное потепление влияет на повышение температуры поверхности океана, что непосредственно способствует резкому снижению ледяного покрова, а также изменения океанической циркуляции неразрывно связаны с изменениями в поле температуры и солёности в океане. Именно поэтому, в качестве характеристики изменения температуры поверхности океана, выбран индекс Гольфстрим, который показывает аномалии в положении северной границы теплого течения Гольфстрим у побережья Северной Америки (<http://web.pml.ac.uk/gulfstream/data.htm>). Теплое течение Гольфстрим является важнейшей составляющей циркуляции в Северной Атлантике и оказывает огромное влияние на климат Западной и Северной Европы, а также, на распространение льдов в Северном Ледовитом океане.

Ранее, в работах [2, 3] были представлены результаты компонентного анализа полей ледовитости Арктического бассейна, который позволил выделить собственные значения. Первые из них, как известно, относятся к наиболее крупномасштабным процессам, для

исследуемого поля ледовитости Арктического бассейна, величины первых двух собственных значений исчерпывают более 80% суммарной дисперсии поля. Свойства этих процессов выявляют соответствующие ортогональные компоненты поля, которые и называются главными компонентами. Как показал анализ, поле первого собственного вектора отчетливо отображает циркуляцию океана и перенос тепла в Арктический бассейн из Северной Атлантики. Проведенный в этой же работе корреляционный анализ среднегодовых значений сплоченности морского льда и индекса Гольфстрим в каждом узле 5 градусной сетки показал наличие обратной корреляционной зависимости.

В работе [4], посвященной взаимному спектральному анализу общей сплоченности морского льда Арктического бассейна с индексом Гольфстрим за период с 1972 по 2005 год, выявлено совпадение долгопериодных колебаний исследуемых процессов, которые соответствуют годовым, четырехлетним и семилетним. Кроме того, получено опережение полугодовых и годовых колебаний индекса Гольфстрим по отношению к общей сплоченности морского льда Арктического бассейна на период практически равный длительности самих колебаний.

Таким образом, влияние течений системы Гольфстрим на распространение льдов Арктического бассейна не вызывает сомнений, остается открытым вопрос о сезонной изменчивости этой взаимосвязи.

Материалы и методы исследования. В данной работе, посвященной климатологии морских льдов, приводятся обобщающие выводы из многолетних рядов наблюдений за ежемесячными изменениями зависимости сплоченности морского льда Арктического бассейна от аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Для выявления сезонной зависимости использовался корреляционный анализ данных общей сплоченности морского льда Арктического бассейна за 15 число каждого месяца за период с 1972 по 2005 год с индексом Гольфстрим. Источником данных об общей сплоченности морского льда послужила информация, полученная с искусственного спутника Земли Nimbus-7. Исползованные данные, описывающие ледовую обстановку в Арктическом бассейне представлены в виде сетки с наполнением (максимум – 100% и минимум 0%, в зависимости от характеристик морского льда) и подготовлены в Иллинойском университете. Данные были преобразованы в отношение, выраженное в десятых долях и описывающее общую площадь морской поверхности, покрытую льдом как часть всей рассматриваемой площади, которое, согласно Международной номенклатуре морских льдов (ВМО) называется сплоченностью морского льда (Concentration).

В качестве индикатора изменчивости температуры поверхности океана используется индекс Гольфстрим. Индекс Гольфстрим, представленный на сайте Плимутской морской лаборатории Великобритании, показывает аномалии в положении северной границы течения Гольфстрим у побережья Северной Америки. Аномалия широтного положения северной границы течения определяется на основе данных ТПО (температуры поверхности океана) в шести точках (79°, 75°, 72°, 70°, 67°, 65°з.д.) с помощью специальной методики анализа. На сайте лаборатории (<http://web.pml.ac.uk/gulfstream/data.htm>) представлены таблица и график среднемесячных и среднегодовых аномалий положения северной границы течения в регионе исследования за период наблюдений с 1966 по 2005гг. Для расчетов использовался ряд 1972-2005гг.

Данные для корреляционного анализа формировались следующим образом: сначала были подготовлены данные общей сплоченности морского льда Арктического бассейна для широт 90°, 85°, 80°, 75°, 70°, 65° и 60° с шагом в месяц за период – 1972-2005гг. для

каждой долготной точки. Потом были выбраны среднемесячные данные индекса Гольфстрим за те же годы. Расчеты коэффициентов корреляции общей сплоченности морского льда и индекса Гольфстрим были проведены в каждом узле 5 градусной сетки. Далее осуществлена проверка гипотезы о статистической значимости оценки полученных коэффициентов корреляции с помощью критерия Стьюдента согласно методике описанной в [5].

Результаты исследования и их анализ. В результате полученных расчетов нами выявлено, что все коэффициенты корреляции по модулю больше чем 0,39 являются статистически значимыми. Рассчитанные коэффициенты корреляции для поля 5 градусной сетки с координатами от 0^0 до 360^0 в долготном направлении и от 90^0 до 60^0 – в широтном были нанесены на карту Арктического бассейна с помощью нескольких графических программ. Получены карты, которые характеризуют зависимость общей сплоченности морского льда Арктического бассейна от аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим.

Для облегчения восприятия информации далее используются долготы от 0^0 до 360^0 , из которых диапазон от 0^0 до 185^0 приходится на сектор Европейской и Российской Арктики, а диапазон от 190^0 до 355^0 приходится на сектор Американской Арктики. Анализ полученных полей коэффициентов корреляции показал наличие значимых коэффициентов, выявлена обратная корреляционная зависимость. Учитывая большой объем графического материала, было принято решение представить результаты корреляционного анализа в табличном виде (табл. 1). В таблице 1 представлено пространственное распределение коэффициентов корреляции между общей сплоченности морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим и указаны значения наиболее характерных коэффициентов корреляции для разных секторов Арктики.

Таблица 1 – Пространственное распределение коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим

Месяц	Европейский и Российский сектор Арктики		Американский сектор Арктики	
	долгота зоны	коэффициенты корреляции	долгота зоны	коэффициенты корреляции
Январь	0-185 ⁰	от -0,50 до -0,75	190-355 ⁰	от -0,17 до -0,28
Февраль	0-185 ⁰	от -0,22 до -0,38	190-355 ⁰	от -0,25 до -0,34
Март	0-185 ⁰	от -0,28 до -0,45	190-355 ⁰	от -0,29 до -0,38
Апрель	0-185 ⁰	от -0,33 до -0,84	190-355 ⁰	от -0,34 до -0,84
Май	0-185 ⁰	от -0,26 до -0,38	190-355 ⁰	от -0,28 до -0,38
Июнь	0-185 ⁰	от -0,22 до -0,34	190-355 ⁰	от -0,25 до -0,35
Июль	0-185 ⁰	от -0,22 до -0,34	190-355 ⁰	от -0,21 до -0,71
Август	0-185 ⁰	от -0,46 до -0,82	190-355 ⁰	от -0,39 до -0,83
Сентябрь	0-185 ⁰	от -0,52 до -0,74	190-355 ⁰	от -0,20 до -0,74
Октябрь	0-185 ⁰	от -0,65 до -0,79	190-355 ⁰	от -0,57 до -0,79
Ноябрь	0-185 ⁰	от -0,52 до -0,73	190-355 ⁰	от -0,47 до -0,73
Декабрь	0-185 ⁰	от -0,19 до -0,24	190-355 ⁰	от -0,41 до -0,68

Учитывая, что все коэффициенты корреляции по модулю больше чем 0,39 являются статистически значимыми, можно сделать некоторые выводы. Как видим, в феврале и марте наблюдается поле незначимых коэффициентов корреляции, только в марте в зоне действия Нордкапского течения, вблизи береговой линии отмечается несколько точек от 5° до 60° со значимыми коэффициентами корреляции от -0,39 до -0,45. В апреле на общем фоне незначимых коэффициентов корреляции четко выражена зона с максимальными коэффициентами корреляции -0,84, которая расположена в глубоководном районе центральной части Северного Ледовитого океана – котловине Амундсена. Малоградиентным полем незначимых коэффициентов корреляции характеризуется май и июнь, только в июле в Американском секторе Арктики в Канадской котловине, фиксируются коэффициенты корреляции от -0,71 до -0,73.

В августе, когда в Арктике начинается перестройка полей приземной температуры воздуха и атмосферного давления, значимые коэффициенты корреляции наблюдаются во всем Северном Ледовитом океане от -0,39 до -0,82 в районе полюса. Для сентября характерно поле значимых коэффициентов корреляции до -0,74 в секторе Европейской и Российской Арктики. В октябре значимые коэффициенты фиксируются во всем Арктическом бассейне с максимумами -0,79, та же картина сохраняется в ноябре. В декабре значимые коэффициенты корреляции от -0,41 до -0,68 отмечаются только в Американской части Арктики.

Таким образом, общая сплоченность морских льдов Арктического бассейна хорошо откликается на изменения индекса Гольфстрим, рассчитанного на основании температуры поверхности океана. Однако существует несколько месяцев в году, когда эта связь отсутствует – это февраль, май и июнь, а в марте и апреле отклики фиксируются только в локальных зонах: в районе прихода теплых вод Северной Атлантики – Гренландской котловине и районе Северного полюса и моря Лаптевых – котловине Амундсена.

Фактически, только в августе, октябре и ноябре значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами.

Зоны расположения максимальных коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим в Арктическом бассейне, а так же значения этих коэффициентов представлены в таблице 2. В таблице жирным шрифтом выделены месяцы, когда значимые коэффициенты корреляции наблюдаются во всем Арктическом бассейне.

Анализ табличных значений показал, что зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах прихода более теплых вод Северной Атлантики, в районе Северного полюса, а также в районе архипелага Северная Земля – море Лаптевых ($100-140^{\circ}$ в.д.) и моря Бофорта ($130-160^{\circ}$ з.д.). Все эти области характеризуются большими глубинами – район прихода вод Северной Атлантики – Гренландская котловина, район Северного полюса и моря Лаптевых – котловина Амундсена, моря Бофорта – Канадская котловина.

В Северном Ледовитом океане четко проявляются два основных направления дрейфа льдов: трансарктический в Евразийском секторе Арктики и антициклональный в Американском. Трансарктический поток распространяется от Восточно-Сибирского моря через Северный полюс к северо-востоку от Гренландии. В этот же поток втягиваются льды из Карского моря и моря Лаптевых. В районах между Северной Америкой (Аляской и Канадой) и Северным полюсом льды движутся по часовой стрелке в соответствии с

антициклонической циркуляцией. Здесь возникает замкнутый круговорот льдов, называемый спиралью Бофорта. Следует заметить, что максимальные коэффициенты корреляции характерны именно для районов антициклональных и циклонических круговоротов. К таким течениям относятся Антициклонический круговорот вод Арктического бассейна и система циклонических течений Северно-Европейского бассейна, а также, циклонический круговорот в районе морей Баренцевом и Лаптевых. Льды из этих районов частично попадают в трансарктический поток, с которым выносятся в Северную Атлантику, а часть из них совершает повторный круговорот.

Таблица 2 – Положение зон максимальных коэффициентов корреляции, а также их значение

Месяц	Европейский и Российский сектор Арктики		Американский сектор Арктики	
	долгота зоны максимальных коэффициентов корреляции	значение максимальных коэффициентов корреляции	долгота зоны максимальных коэффициентов корреляции	значение максимальных коэффициентов корреляции
Январь	50-65 ⁰ 165-185 ⁰	-0,75	-	-
Февраль	-	-	-	-
Март	5-60 ⁰	-0,45	-	-
Апрель	100 ⁰	-0,84	290 ⁰	-0,84
Май	-	-	-	-
Июнь	-	-	-	-
Июль	-	-	210-230 ⁰	-0,74
Август	0-195⁰	-0,82	210-240⁰ 345-355⁰	-0,82
Сентябрь	0-160-185 ⁰	-0,74	195 ⁰	-0,74
Октябрь	160-185⁰	-0,79	190-240 260, 270, 295	-0,79
Ноябрь	60-65⁰ 160-185⁰	-0,73	190-240⁰ 295-305⁰	-0,73
Декабрь	-	-	190-240 ⁰ 295-305 ⁰ 340-345 ⁰	-0,68

Причины, по которым значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами только в августе, октябре и ноябре, могут быть пояснены следующим образом.

Известно, что для Баренцева моря наиболее распространенной является атлантическая водная масса, занимающая юго-западную часть моря и часть его центральной области. Это самая устойчивая водная масса, сохраняющая свои характеристики в течение всего года и отличающаяся повышенными значениями температуры и солености. В поверхностном слое их характерные значения составляют 34,5-35,0‰ и 3,0-5,0°C зимой, 8,0-10,0°C летом; с глубиной температура понижается, но в

течение всего года остается положительной [6]. Именно эта водная масса является проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим. Известно, что приток атлантических вод усиливается зимой и именно в это время происходит интенсивное ледообразование. Видимо, поэтому максимальная (по площади распространения) зависимость общей сплоченности морского льда Арктического бассейна от индекса Гольфстрим характерна для тех месяцев, когда происходит сезонная перестройка как барического, так и термического полей, что приводит к интенсификации процесса ледообразования.

Что касается причин, по которым максимальные коэффициенты корреляции фиксируются в районах циклонических круговоротах, то здесь можно сделать некоторые предположения.

Система течений большинства арктических морей изучена недостаточно хорошо. Как в Баренцевом море, так и в морях Лаптева и Бофорта существует сложная система поверхностных и глубинных течений, самым общим свойством которых является движение вод против часовой стрелки, то есть, система циркуляции в этих морях циклоническая. Мы не будем касаться причин образования круговорота воды против часовой стрелки в исследуемых морях, однако для названных арктических морей характерно следующее: скорости течений, образующих круговорот, малы и не превышают нескольких десятков см/с, внутри круговорота течения неустойчивые по направлению и очень слабые. [7]. Таким образом, водная масса являющаяся проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим попадая в район циклонических и антициклонических круговоротов, остается в этих районах достаточно долгое время в силу неустойчивых по направлению и очень слабых течений внутри круговоротов, оказывает наибольшее влияние на характеристики общей сплоченности морского льда.

Выводы. Анализ пространственного распределения и значений коэффициентов корреляции между общей сплоченностью морского льда Арктического бассейна и индексом Гольфстрим позволяет сделать некоторые выводы:

- Общая сплоченность морских льдов Арктического бассейна хорошо откликается на изменения в положении северной границы теплого течения Гольфстрим, рассчитанного на основании температуры поверхности океана, выявлена обратная корреляционная зависимость.
- Значимые коэффициенты корреляции отмечаются по всему полю Арктического бассейна с ярко выраженными максимумами только в августе, октябре и ноябре, когда происходит сезонная перестройка как барического, так и термического полей, что приводит к интенсификации процесса ледообразования.
- Зоны максимальных коэффициентов корреляции расположены в районах с большими глубинами, а также в районах антициклонических и циклонических круговоротов, где водная масса, являющаяся проводником изменений аномалий в положении северной границы теплого течения Гольфстрим, остается достаточно долгое время, оказывает наибольшее влияние на характеристики общей сплоченности морского льда.

Список литературы

1. Глазырин Г.Е., Кодама Ю. Оценка изменения оледенения в переходном режиме при изменениях климата – Материалы гляциологических исследований, №95, Москва. – 2003. – С. 212–215.
2. Т.Е. Danova, E.V. Galat Climatology of sea ice of the Northern hemisphere // Тези Міжнародної наукової конференції "Міжнародний полярний рік в Україні: підсумки та перспективи." – Харків. – 2009. – С.60.
3. Данова Т.Е., Галат Е.В. Зависимость сплоченности морского льда Арктического бассейна от индекса Гольфстрим // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – Вип. 6. – С.242-249.
4. Данова Т.Е., Галат Е.В. Применение метода взаимного спектрального анализа к концентрации морского льда Арктики и индексу Гольфстрим. // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2009. – Вип. 1(9). – С.183-188.
5. Школьный С.П., Лоева И.Д., Гончарова Л.Д. «Обработка та аналіз гідрометеорологічної інформації». – Одесса. – 1999р.–600с.
6. Никифоров Е. Г., Шнайхер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 270с.
7. Новицкий В.П. Постоянные течения северной части Баренцева моря // Труды ГОИН. -1961. - Вып. 64. - С.3-32.

Кліматологічні характеристики сезонних змін взаємозв'язку морського льоду Арктики та індексу Гольфстрім. Т.Є. Данова, Є.В. Галат

Проводиться аналіз сезонних змін полів коефіцієнтів кореляції між загальною згуртованістю морського льоду Арктичного басейну та індексом Гольфстрім. Виявлена обернена кореляційна залежність. Тільки в серпні, жовтні та листопаді відмічаються значущі коефіцієнти кореляції по полю Арктичного басейну з визначеними максимумами. Зони максимальних коефіцієнтів кореляції розташовані в районах з великими глибинами – Гренландська котловина, котловина Амундсена, Канадська котловина, а також в районах антициклонічних і циклонічних коловоротів.

Ключові слова: кліматологія морського льоду Арктиці, індекс Гольфстрім, просторовий розподіл коефіцієнтів кореляції.

Seasonal changes climatological features of interrelation of Arctic sea ice and the Gulf-stream index.

T.E. Danova, E.V. Galat

The analysis of seasonal variability of fields of factors of correlation between the general unity of sea ice of the Arctic pool and an index Gulf Stream is carried out. Return correlation dependence is revealed. Only in August, October and November significant factors of correlation on all fields of the Arctic pool with strongly pronounced maxima are observed. Zones of the maximum factors of correlation are located in areas with the big depths - the Greenland hollow, Amundsen's hollow, the Canadian hollow, and also in areas anticyclonic and cyclonic circulations.

Keywords: climatology sea ice of Arctic regions, an index Gulf Stream, spatial distribution of factors of correlation.