

**Т.Е. Данова**, канд.географ.наук., **Е.В. Галат**, асп.

Одесский государственный экологический университет

## **ЗАВИСИМОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА АРКТИЧЕСКОГО БАСЕЙНА ОТ ИНДЕКСА ГОЛЬФСТРИМ**

*К полям общей сплоченности морского льда Арктики применен метод компонентного анализа, показано, что величины первых двух собственных значений исчерпывают более 80% суммарной дисперсии поля. Поле первой главной компоненты выявило влияние втекающих в Арктический бассейн вод на динамику морского льда. Поле второй главной компоненты, отражает влияние более теплых воздушных масс, приходящих в данный район из низких широт. Выявлено влияние течения Гольфстрим на весь Северный Ледовитый океан.*

**Ключевые слова:** концентрация морского льда, индекс Гольфстрим, корреляционная связь.

**Введение.** Известно, что теплое течение Гольфстрим является важнейшей составляющей циркуляции в Северной Атлантике и оказывает важнейшее влияние на климат Западной и Северной Европы. Любые изменения в положении и интенсивности этого течения могут иметь серьезные последствия для Европы. Изменения океанической циркуляции неразрывно связаны с изменениями в поле температуры и солёности в океане. Исследования ученых разных стран показывают, что с середины 1990-х годов в восточных районах Северной Атлантики (Северном и Норвежском море) отмечается рекордное повышение, как температуры, так и солёности воды. В то же время усиливается приток холодных и пресных вод в регионе Гренландии и Исландии. Опреснение Северной Атлантики в этих районах океана происходит вследствие усиления осадков, а также таяния снега и льда в условиях потепления климата. Изменения в характере и интенсивности распространения холодных и более пресных водных масс приводят к тому, что теплые и солёные водные массы оттесняются и попадают в Норвежское море южнее Исландии и западнее Фарерских островов.

**Исходные данные и методика исследования.** В данной работе предпринята попытка выявить взаимосвязь среднегодовых значений общей сплоченности морского льда Арктического бассейна с индексом Гольфстрим за период с 1972 по 2005 год. Источником данных послужили: Nimbus-7 SMMR Arctic Sea Ice Concentrations or DMSP SSM/I Sea Ice Concentrations using the NASA Team Algorithm.

Данные, описывающие ледовую обстановку в Арктическом бассейне представлены в виде сетки с разрешением в один градус и наполнением (максимум – 100% и минимум 0%, в зависимости от характеристик морского льда) и подготовлены в Иллинойском университете. Эти данные носят название ледовитость (Ice cover) и представляют собой процент площади, занятой льдом любой сплоченности по отношению к общей площади моря или какого-нибудь большого географического района этот район может быть глобальным, включающим площадь морей целого полушария, или какой-либо частью океана или моря. Предлагаемые к исследованию данные 1972–2007гг. получены с помощью спутника, следовательно, данные имеют высокую точность [1]. Все данные нами ранее были подвергнуты статистическому анализу [2].

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 2005 гг.

Для анализа поля ледовитости Арктического бассейна используется компонентный анализ, который позволил выделить собственные значения. Первые из них, как известно, относятся к наиболее крупномасштабным процессам. Свойства этих процессов выявляют соответствующие ортогональные компоненты поля, которые и называются главными компонентами.

В дальнейшем анализе использовалась сетка, характеризующая ледовитость Арктического бассейна с разрешением в 5°. В каждом узле полученной сетки, с целью выявления зависимости, была проведена корреляция значений ледовитости, характерных для данной точки пространства, и индекса Гольфстрим. В данных расчетах использовались среднегодовые значения исследуемых величин.

**Результаты исследования и их анализ.** Период лет 1972-2007гг., представляющий современное состояние морского льда в Арктическом бассейне можно охарактеризовать как период с резким уменьшением покрытия морским льдом, причем скорость изменений за эти годы возросла почти в 20 раз. Период колебаний характерный для данного периода составил 4,2 года (рис. 1) [3, 4].

Применение компонентного анализа позволило определить главные компоненты. Как показал анализ полученных результатов, для исследуемого поля ледовитости Арктического бассейна, величины первых двух собственных значений исчерпывают более 80% суммарной дисперсии поля.

Далее были построены графики временных рядов главных компонент среднегодовых значений ледовитости (рис. 2, 3). Эти графики включают в себя не только основные колебания, но и шумовую компоненту. Избавиться от шумовой компоненты можно с помощью скользящего сглаживания, для его проведения была выявлена периодичность с максимальной энергией колебания. Так, для первой главной компоненты среднегодовых значений ледовитости значимым является колебание с периодом 3 года. В спектре второй главной компоненты среднегодовых значений ледовитости наибольшую энергию имеет девятилетние колебание.

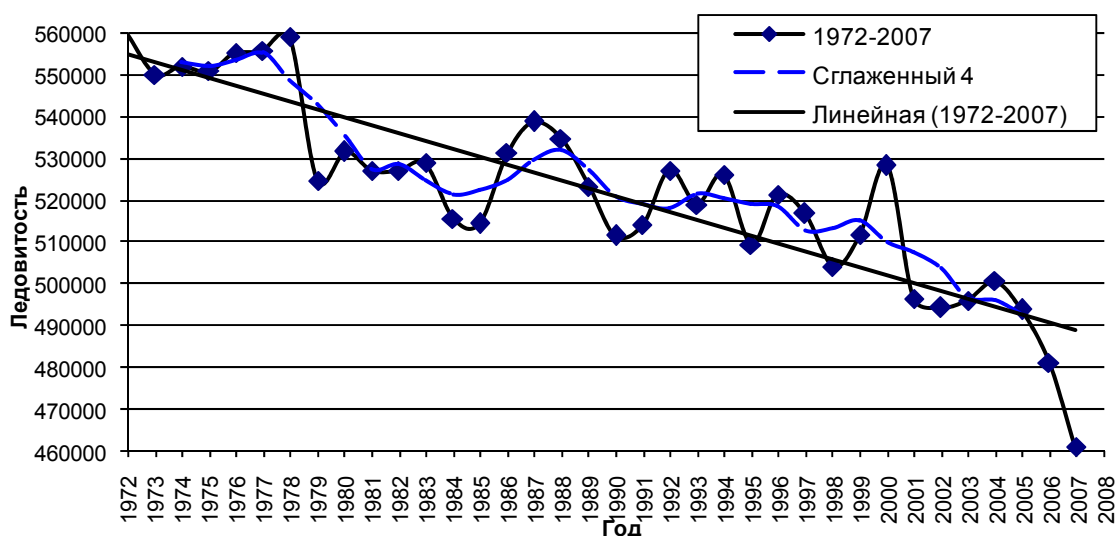


Рис. 1 – Межгодовые колебания, сглаженный ряд и линейный тренд ледовитости за период 1972-2007гг. [2].

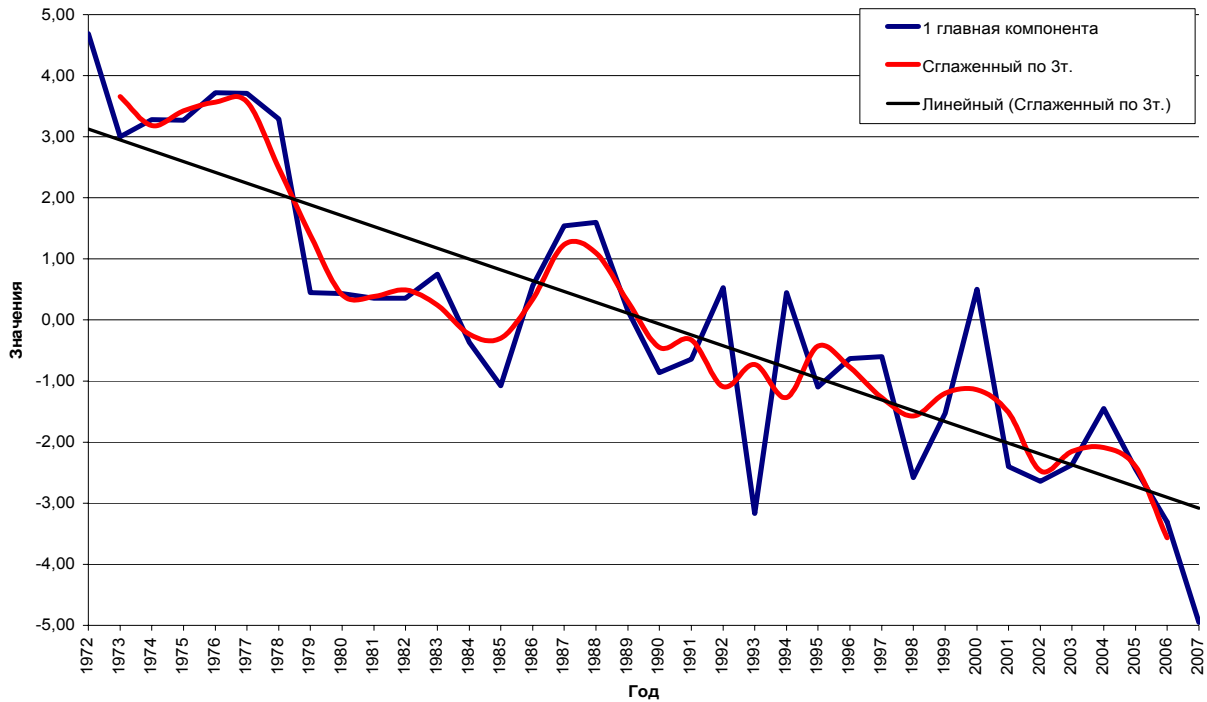


Рис. 2 – Временной ряд первой главной компоненты среднегодовых значений ледовитости Арктического бассейна.

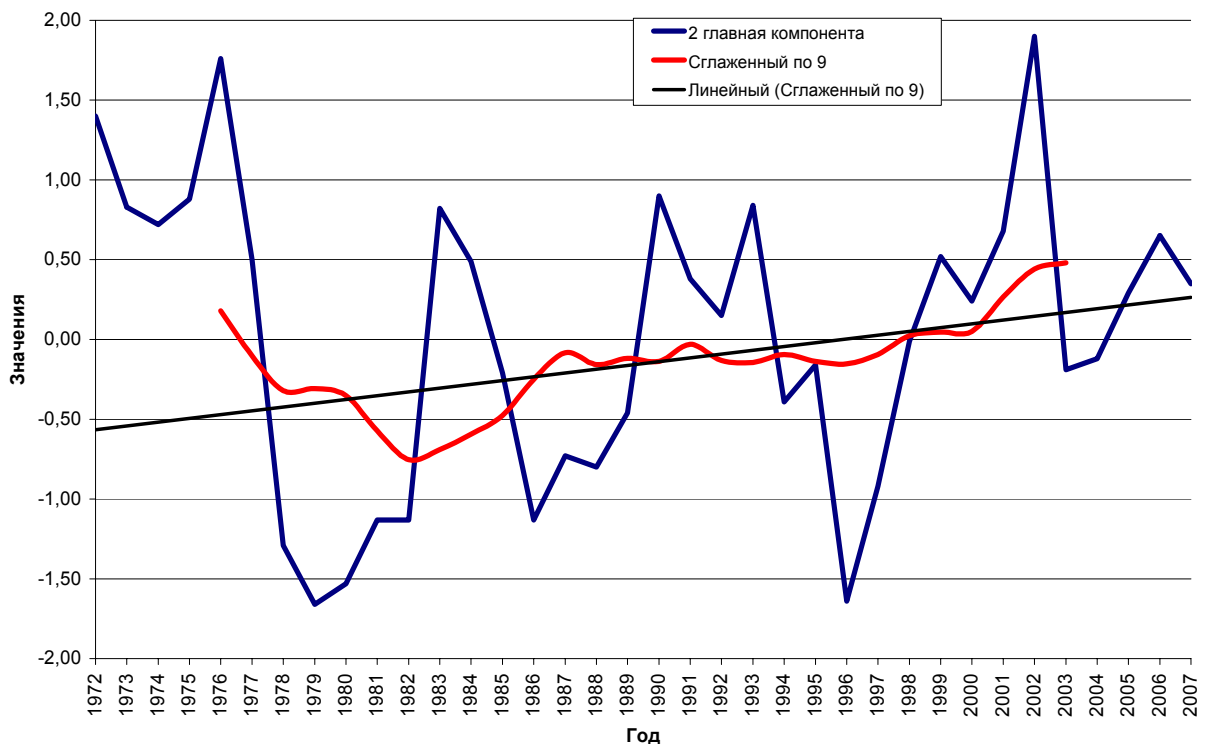


Рис. 3 – Временной ряд второй главной компоненты среднегодовых значений ледовитости Арктического бассейна.

Для среднегодовых значений индекса Гольфстрим значимым является колебание с периодом 2 года (рис. 4). С учетом полученных значимых периодов колебаний было проведено сглаживание.

Анализ сглаженного временного ряда первой главной компоненты среднегодовых значений ледовитости Арктического бассейна, которая характеризует крупномасштабные процессы, показал, что наблюдаемая динамика процесса и трендовая составляющая хорошо соответствует изменениям ледовитости с 1972 по 2007г (рис. 1).

Известно, что полярные регионы связаны с остальной частью климатической системы Земли сложными путями, зависящими от сочетания атмосферного потока и океанической циркуляции. По нашему мнению, первая главная компонента описывает зависимость катастрофического снижения ледовитости Арктического бассейна от процесса увеличения глобальной средней температуры воздуха у поверхности земли и, соответственно, от увеличения температуры поверхности океана.

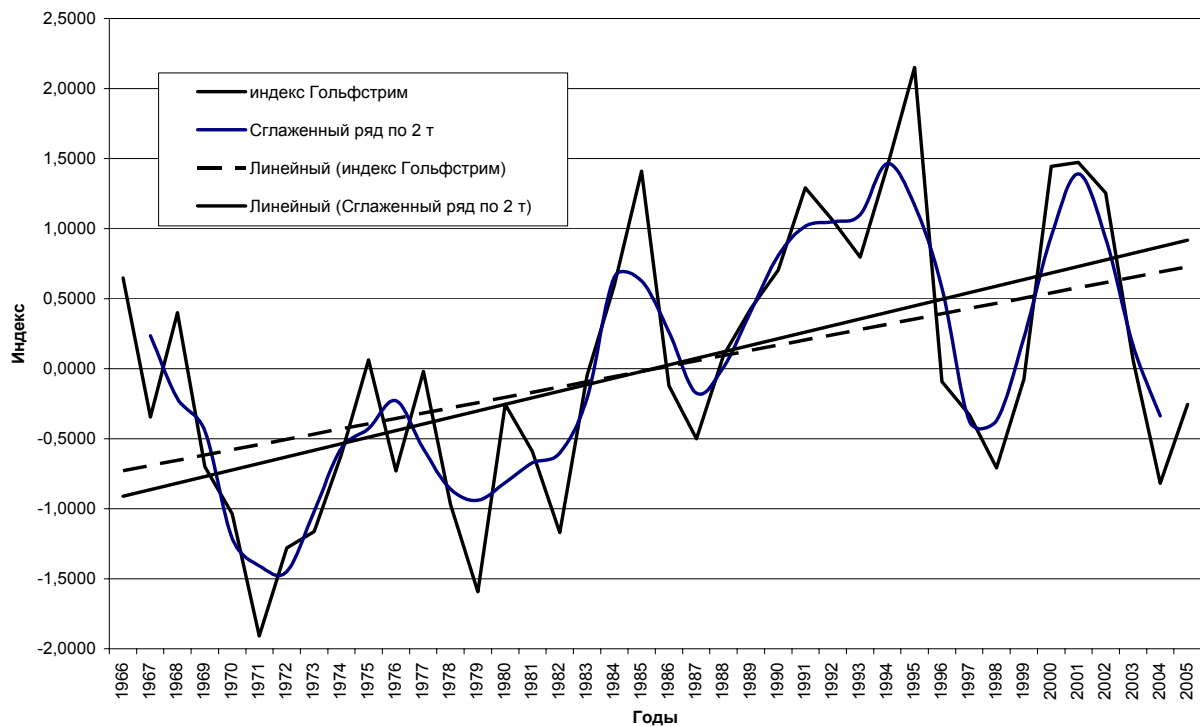
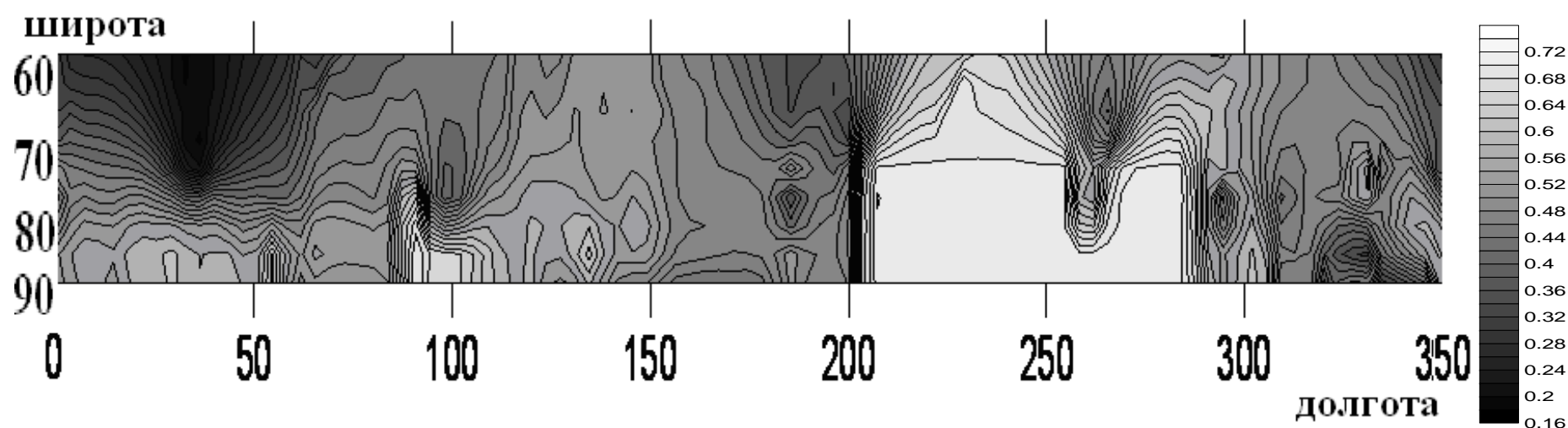


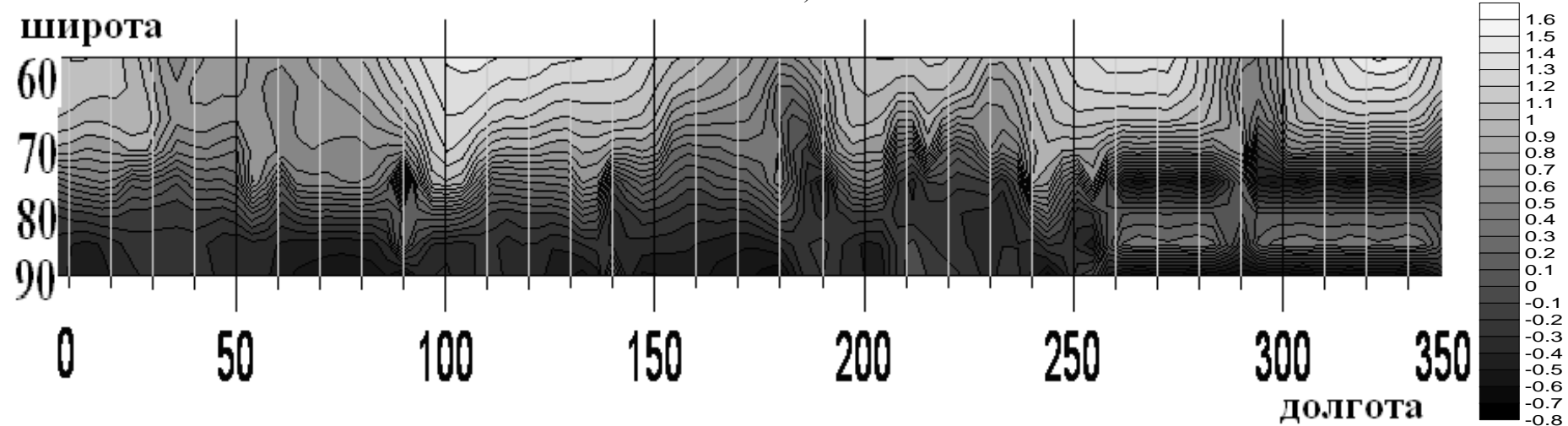
Рис. 4 – Временной ряд первой главной компоненты среднегодовых значений индекса Гольфстрим.

Диаметрально отличается график второй главной компоненты, которая описывает растущее влияние некоторого явления, на изменения ледяного покрова Арктика. Как известно, глобальное потепление влияет также и 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. Хорошо просматривается соответствие графиков временного ряда второй главной компоненты среднегодовых значений ледовитости Арктического бассейна и временного ряда первой главной компоненты среднегодовых значений индекса Гольфстрим.

Поля первых двух собственных векторов построены с помощью программы Surfer и представлены на рис. 5 (а, б), рядом представлены шкалы соответствия определенного цвета значению первых двух собственных векторов.



а)



б)

Рис. 5 – Поле первого собственного вектора (а) и поле второго собственного вектора (б), представленные в прямоугольной проекции.

Поле первого собственного вектора, представленное на рисунке 5(a), характеризуется одним главным максимумом значений, находящимся практически в центре Арктического бассейна со смещением в сторону Американской Арктики в районе глубоководной части бассейна (от  $200^{\circ}$  до  $280^{\circ}$  в прямоугольной проекции и от  $100^{\circ}$  до  $160^{\circ}$  з.д.) (рис. 6 - а).

Данный максимум хорошо интерпретируется максимальным количеством морского льда в данном районе и отлично иллюстрируется спутниковыми снимками, представляющими Северный полюс, полученными прибором AMSRE-E со спутника Аква космической станции NASA. Изменения в распространении морского льда, характерные для 1979-1981гг., а также для 16 сентября 2007г. представлены на (рис.6-б) [5].

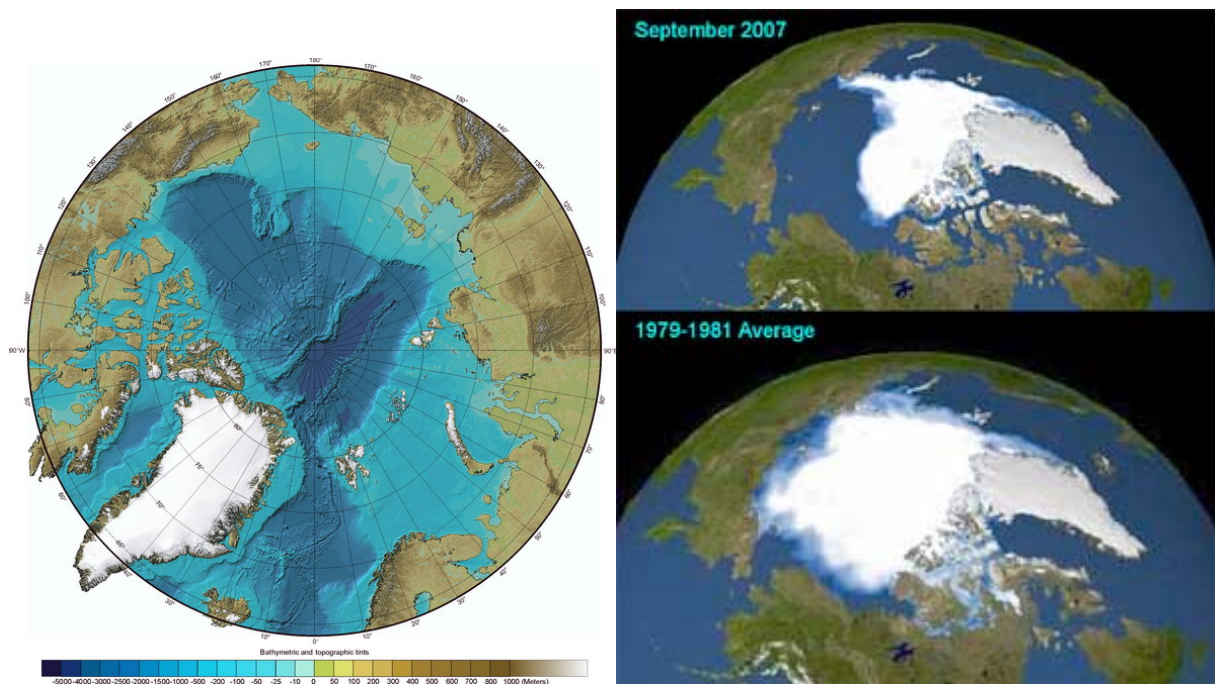


Рис. 6 – Северный ледовитый океан (а) и его вид из космоса, полученные прибором AMSRE-E со спутника Аква космической станции NASA. Изменения 1979/1981 по 2007 год (16 сентября 2007г.) (б) [5].

Это поле также отчетливо отображает циркуляцию океана и перенос тепла в Арктическом бассейне. Известно, что основная струя течения движется с небольшой скоростью (несколько сантиметров в секунду) через Северный полюс. Теплое течение, поступающее из Атлантического океана, является наиболее существенным источником тепла. Основная часть атлантических вод проходит через Фареро-Шетландский пролив, оставшаяся незначительная доля атлантических вод проходит между Исландией и Фарерскими островами, этот поток в виде течения Ирмингер огибает Исландию с запада.

На рис. 5 (а) хорошо прослеживается этот поток теплого течения – черный цвет (от  $85^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ с.ш. и от  $0^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ в.д.). Второй, более слабый приход вод осуществляется через Берингов пролив, наблюдается от  $180^{\circ}$  до  $200^{\circ}$  в прямоугольной проекции.

Более сложной структурой характеризуется поле второго собственного вектора (рис. 5 (б)). Здесь наблюдается две области противоположных знаков, одна (черный цвет) – характеризует холодный центр арктического бассейна, другая (белый цвет) – приход теплых воздушных масс из южных широт.

Считается, что по сравнению со средними величинами теплообмена за счет радиации роль океанической адвекции в Арктическом бассейне мала. Общеизвестно о влиянии теплых океанических течений на ледовитость Арктического бассейна, однако, остается открытым вопрос о распространении этого влияния. В качестве показателя теплого океанического течения воспользуемся индексом Гольфстрим.

Далее используются данные, которые, согласно Международной номенклатуре морских льдов (ВМО) называются сплоченностью морского льда (Concentration) – это отношение, выраженное в десятых долях и описывающее общую площадь морской поверхности, покрытую льдом как часть всей рассматриваемой площади. Суммарная сплоченность включает все существующие стадии развития, частично может относиться к объему частной стадии или частной формы льда и представляет только часть суммарной сплоченности.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции сплоченности морского льда и индекса Гольфстрим в каждом узле 5 градусной сетки. В результате анализа выявлена обратная корреляционная зависимость. Для построения поля коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями сплоченности морского льда и индексом Гольфстрим использовалась 5 градусная сетка. Анализ полученных результатов представлен в прямоугольной проекции с помощью программы Surfer (рис. 7).

Как видим, в прямоугольной проекции ярко прослеживаются высокие коэффициенты корреляции в районе прихода теплых вод Северной Атлантики, далее через весь район Северного полюса, и далее до 180<sup>0</sup> долготы.

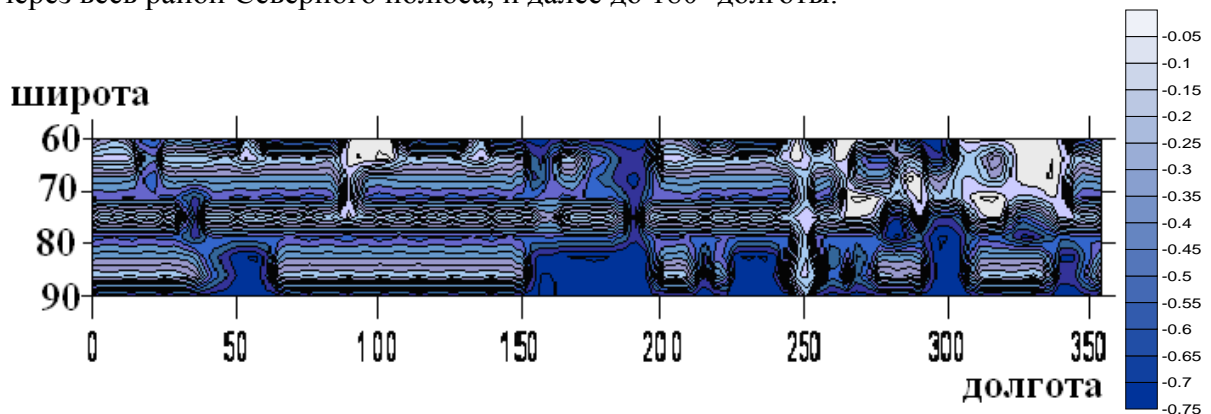


Рис. 7 – Поле коэффициентов корреляции сплоченности морского льда и индексом Гольфстрим (5 градусная сетка).

Как известно, аномалия широты северной границы течения Гольфстрим определяется на основе данных ТПО (температуры поверхности океана) в шести долготных точках (79°, 75°, 72°, 70°, 67°, 65°з.д.) у побережья Северной Америки с помощью специальной методики анализа.

Однако наш анализ поля коэффициентов корреляции показал, что влияние исследуемого теплого течения простирается практически на весь Северный Ледовитый океан, максимальные коэффициенты корреляции регистрируются в основной струе течения, которое движется с небольшой скоростью через Северный полюс.

**Выводы.** Анализ результатов, полученных в данной работе, позволил сделать следующие выводы:

- Анализ временных рядов первой и второй главных компонент среднегодовых значений ледовитости Арктического бассейна показал тренд снижения для первой и тренд роста для второй компоненты.

- Первая главная компонента описывает косвенную зависимость катастрофического снижения ледовитости Арктического бассейна от процесса увеличения глобальной средней температуры воздуха у поверхности земли и, соответственно, и прямую – от увеличения температуры поверхности океана (выявлено влияние втекающих в Арктический бассейн вод на динамику морского льда).
- Рисунок поля второй главной компоненты отражает влияние более теплых воздушных масс, приходящих в данный район из низких широт.
- Определена взаимосвязь с системой Гольфстрим, выявлена обратная корреляционная зависимость.
- Влияние системы Гольфстрим простирается на весь Северный Ледовитый океан, максимальные коэффициенты корреляции регистрируются в основной струе течения, которое движется через Северный полюс.

### Список литературы.

1. *T.E. 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.
2. *Данова Т.Е., Галат Е.В.* Динамика концентрации морского льда северного полушария за период 1870-2007гг. // Український гідрометеорологічний журнал.– 2009. – Вип. 5. – С.243-249.
3. *Ковалев П.С., Галат Є.В.* Статистические характеристики современных данных концентрации морского льда Арктического бассейна за период лет 1953-2007 гг. // Тези доповідей конференції молодих вчених ОДЕКУ. – 2009. – С.75.
4. *Домніч В.Н., Галат Є.В.* Статистические характеристики исторических данных концентрации морского льда Арктического бассейна за период лет 1870-1952гг. // Тези доповідей конференції молодих вчених ОДЕКУ. – 2009. – С.79.
5. Отчет «Панарктической ледовой дрейфующей экспедиции» (ПАЛЭКС, [www.paicex.ru](http://www.paicex.ru))

#### **Залежність згуртованості морського льоду Арктичного басейну від індексу Гольфстрім. Т.Є. Данова, Є.В. Галат**

*До полів загальної згуртованості морського льоду Арктики застосований метод компонентного аналізу, показано, що величини перших двох власних значень вичерпують більше 80% сумарної дисперсії поля. Поле першої головної компоненти виявив вплив вод, які впадають в Арктичний басейн на динаміку морського льоду. Поле другої головної компоненти, відображає вплив більш теплих повітряних мас, що приходять в даний район з низьких широт. Виявлений вплив течії Гольфстрім на весь Північний Льодовитий океан.*

**Ключові слова:** концентрація морського льоду, індекс Гольфстрім, кореляційний зв'язок.

#### **Interconnection of sea ice concentration of north hemisphere with index Gulf-stream.**

**T.E. Danova, E.V. Galat.**

*A method of component analysis is applied to the fields of sea ice of arctic of general concentration, it is shown that the sizes of first two own values amount more than 80% of total dispersion of field. Field of first main components was exposed of influent in the Arctic pool of waters on the dynamics of sea ice. Field of second main components, reflects influencing the more warm air masses, coming in the given area from the low latitudes. Influencing a flow is exposed Gulf-stream on all Arctic Ocean.*

**Keywords:** concentration of sea ice, index Gulf-stream, correlation communication.