

Данова Т.Е., канд.геогр.наук., Галат Е.В., асп.  
Одесский государственный экологический университет

## ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ МОРСКОГО ЛЬДА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПЕРИОД 1870-2007гг.

*Анализируется динамика концентрации морского льда Арктики, рассчитаны статистические характеристики удлиненного ряда. Определены значимые периоды колебаний суммарных значений ледовитости поля  $\Sigma_{\text{поля}}$ . Проведена типизация по пяти равным градациям, соответствующим 20% изменчивости величин суммарной ледовитости поля.*

**Ключевые слова:** концентрация морского льда, динамика, статистические характеристики

**Введение.** С точки зрения научных исследований, получение информации о динамике ледяных покровов важно для изучения изменений регионального и глобального климата. Характеристики полярных ледяных покровов (протяженность акваторий морей и океанов, покрытых морским льдом, изменения границ материкового и шельфового льда Антарктиды и Гренландии, динамика отколов и разрушений айсбергов) чувствительны к изменениям климата и могут служить индикаторами сезонной и долговременной климатической изменчивости. В то же время ледяной покров влияет на условия формирования энергетических потоков в системе "океан-атмосфера" и, следовательно, оказывает влияние на динамику регионального и глобального климата.

Изучение Арктики позволяет увидеть перспективы климатических изменений в европейском регионе, а также понять, как будет меняться окружающая среда на нашей планете. Эти исследования носят не только фундаментальный характер, но имеют и немалое прикладное значение, показывая, как лучше развивать навигацию, как рациональнее вести рыболовный промысел или добычу нефти и газа в районе Арктического шельфа. Все это требует изучения динамики сложных процессов, происходящих в высоких широтах.

Как известно, климат какого-либо места обычно определяется статистическими показателями, вычисленными на основании длинных рядов наблюдений метеорологических элементов, которые характеризуют режим погоды в данном регионе. Работа посвящена статистическому анализу исторических данных о концентрации (общей сплоченности) морского льда Северного полушария.

**Исходные данные и методика исследования.** Анализируются исторические среднемесячные данные общей сплоченности морского льда Арктического бассейна за период с 1870 по 2007 год. Источником данных послужили восемь центров:

1. Danish Meteorological Institute
2. Japan Meteorological Agency
3. Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO)
4. Kelly ice extent grids (based upon Danish Ice Charts)
5. Walsh and Johnson/Navy-NOAA Joint Ice Center
6. Navy-NOAA Joint Ice Center Climatology
7. Temporal extension of Kelly data (see note below)
8. Nimbus-7 SMMR Arctic Sea Ice Concentrations or DMSP SSM/I Sea Ice Concentrations using the NASA Team Algorithm.

Данные были собраны в виде сетки с разрешением в один градус и наполнением по шкале от минимума – 0% до максимума – 100% в зависимости от характеристик морского льда, и подготовлены в Иллинойском университете.

Предлагаемые к исследованию данные разбиты на четыре группы по способу получения информации [1]:

1 группа – 1870–1900гг.

2 группа – 1901–1952гг. В первых, двух группах представлены данные, полученные из исторических источников – наблюдения береговых поселений, кораблей, находящихся в море о расположении кромки морского льда, о характеристиках льда (количестве и толщине). Наполнение периодов проводилось с учетом климатологии региона, использованы методы интерполяции. Вторая группа представляет собой более достоверные данные, чем первая, однако и к этим данным необходимо относиться с осторожностью.

3 группа – 1953–1971гг. Представляет собой полусферические наблюдения, имеющие разные источники. Безусловно, надежность измерений изменяется с каждым источником, но, в общем, данные достаточно точны и надежны.

4 группа – 1972–2007гг. Период спутника - полусферический охват, точность данных современного состояния.

Первичная подготовка данных включала в себя: декодировку данных, разбивку помесячно, по годам, по группам, осреднение данных проводилось по годам, по группам и по всей выборке в целом составляющей 138 лет. Все данные были подвергнуты статистическому анализу, четвертая группа данных, характеризующая период с 1972 по 2007 год, является фактической информацией, полученной с помощью спутника, обработана более тщательно с помощью методов статистического анализа. Методика, применяемая для обработки материала, предложена ранее в [2]. В качестве основы для типизации ледяного покрова морей Арктики использованы величины суммарной ледовитости, которые определялись путем суммирования значений концентрации (общей сплоченности) морского льда, характерных для середины каждого месяца за соответствующий период. Для характеристики всего исследуемого поля введено суммарное значение ледовитости поля  $\Sigma_{\text{поля}}$ .

**Результаты исследования и их анализ.** На основании осредненных данных для каждого периода лет были построены графики, характеризующие межгодовые колебания суммарных значений концентрации морского льда  $\Sigma_{\text{поля}}$  (рис. 1-5).

Для выявления значимых периодов колебаний данные каждой группы лет были подвергнуты анализу с помощью программы “SKR”. Согласно полученным результатам, по значимым периодам было проведено сглаживание исследуемых рядов и добавлен тренд. Анализ полученных графиков и расчетов показал, что 1 группе лет 1870-1900гг. характерен двухлетний период колебаний и небольшое уменьшение концентрации морского льда в Арктическом бассейне; 2 группе лет 1901-1952гг. – 6 и 3,6-летние периоды, а также значительный рост суммарной значений концентрации морского льда  $\Sigma_{\text{поля}}$ . Напомним, что данные этих периодов относятся к историческим [1]. Фактические данные периоды лет 1953-1971гг. и 1972-2007гг., представлены рисунками 3 и 4. Периоду лет 1953-1971гг. характерен рост значений ледовитости, что подтверждает тенденцию, наблюдаемую с 1870 по 1952гг., однако, с уменьшением скорость роста значений, а также период колебаний близкий к двухлетнему – 1,9 лет. Период лет 1972-2007гг. можно охарактеризовать как период с резким уменьшением суммарных значений концентрации морского льда в Арктическом бассейне, причем скорость изменений возросла почти в 20 раз. Период колебаний характерный для данного периода составил 4,2 года. Учитывая, что данные представленные в первых двух группах вполне отвечают тенденциям последующих периодов, мы включили их в общую выборку, период которой составил 138 лет, с 1870 по 2007гг. Данный период лет характеризуется полиномиальным трендом, сглаживание проводилось по 16,7-летнему периоду (рис. 5).

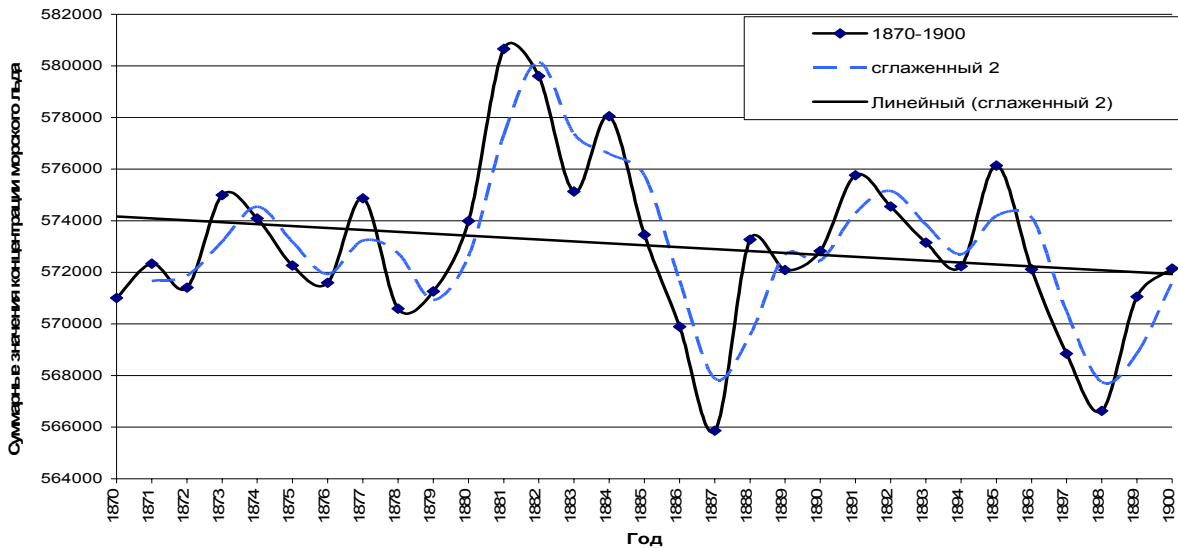


Рис. 1 – Межгодовые колебания общей сплоченности морского льда (1870-1900).

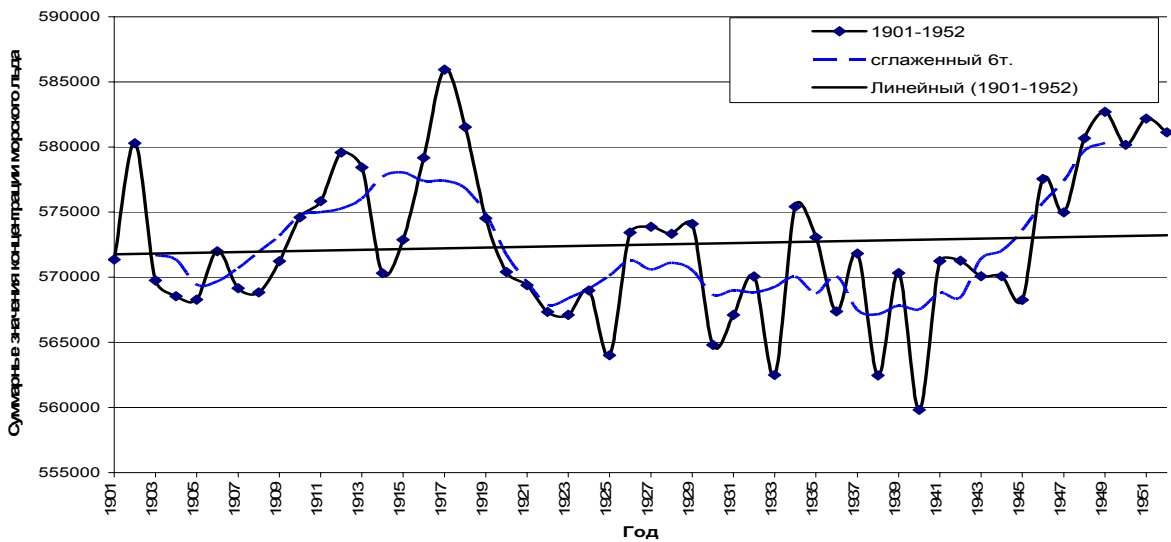


Рис. 2 – Межгодовые колебания общей сплоченности морского льда (1901-1952).

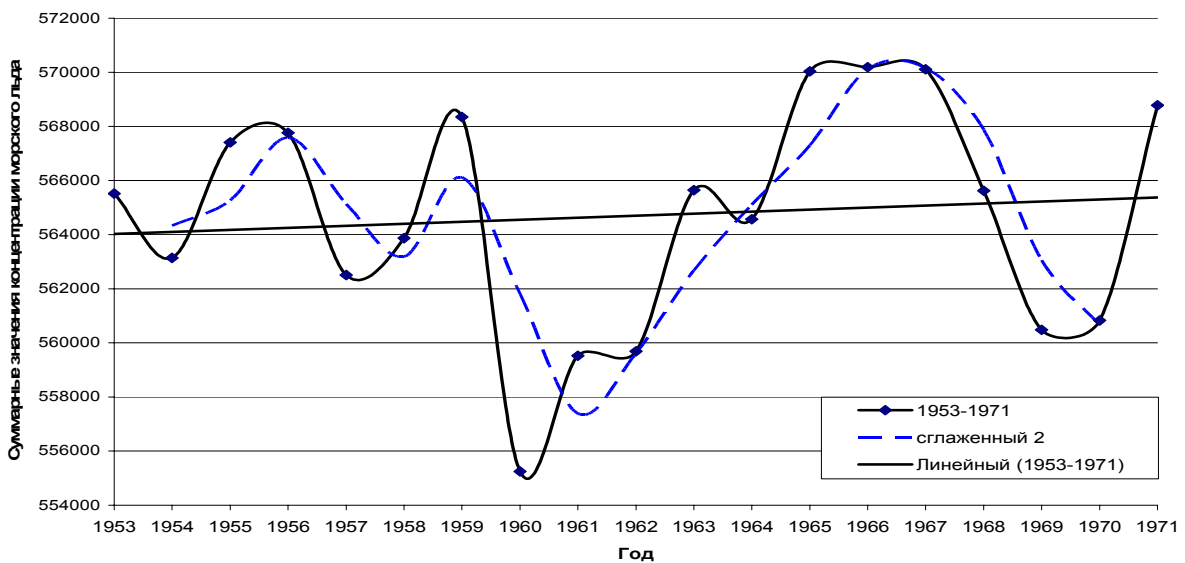


Рис. 3 – Межгодовые колебания общей сплоченности морского льда (1953–1971).

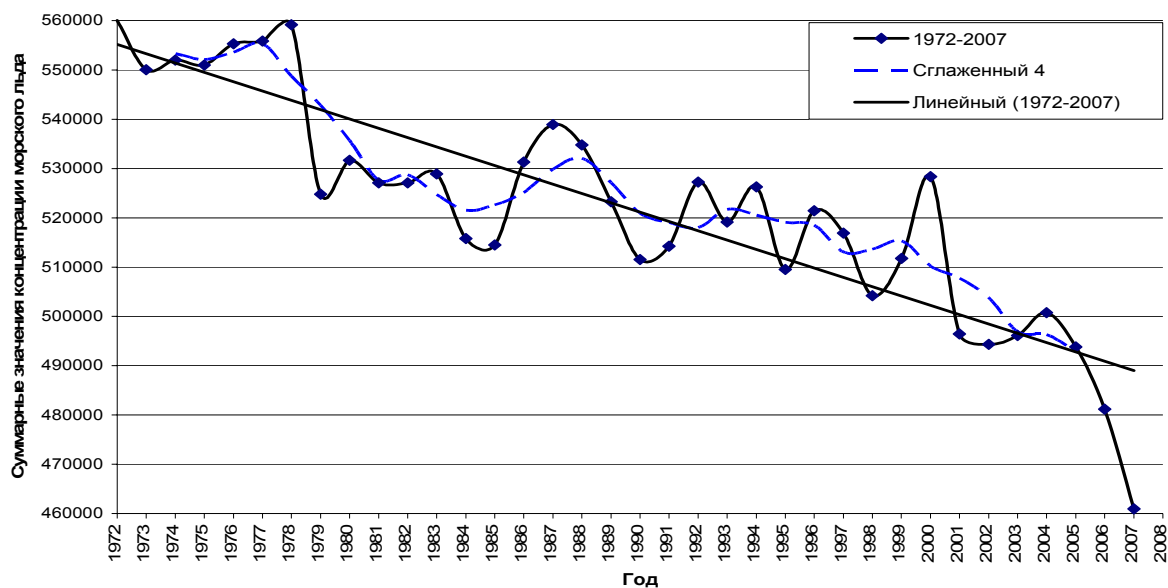


Рис. 4 – Межгодовые колебания общей сплоченности морского льда (1972–2007).

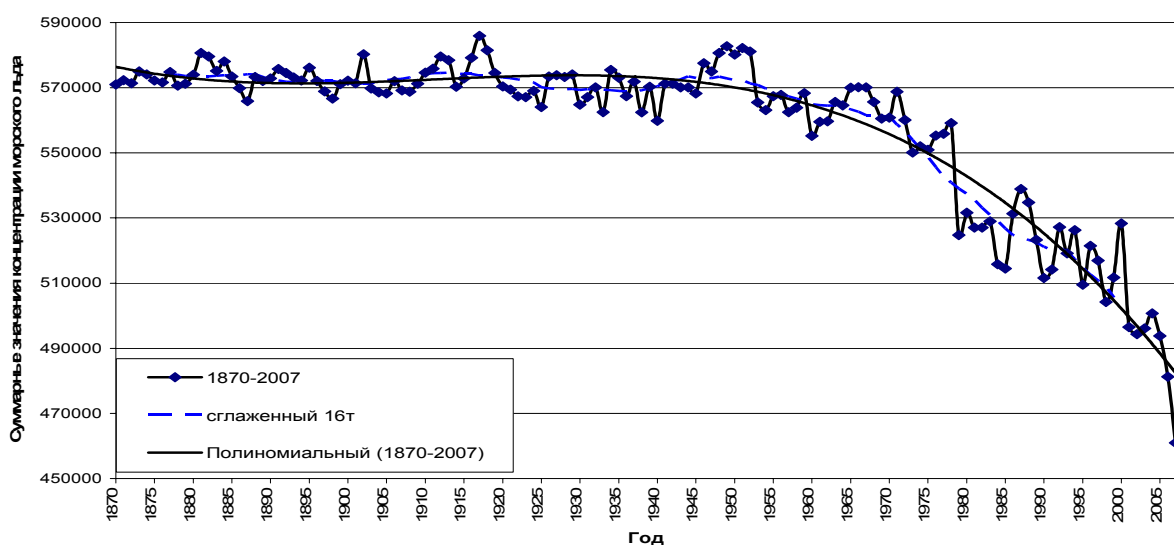


Рис. 5 – Межгодовые колебания общей сплоченности морского льда (1870–2007).

Расчет скрытых периодичностей выявил несколько значимых периода колебаний с вероятностью 68%, среди которых присутствуют и двухлетние (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики тенденций и периоды колебаний общей сплоченности морского льда Арктического бассейна

Период наблюдений	n	Характеристика тенденции		Периоды колебаний
		значение	скорость ед./год	
1870-1900	31	-1150	37	2,160
1901-1952	52	9757	188	6,126 / 3,599
1953-1971	19	3257	171	1,876
1971-2007	36	-99096	2753	4,166
1870-2007	138	-110031	797	16,663 / 7,477 / 2,454 / 2,173

Учитывая максимальное суммарное значение концентрации льда в акватории Арктического бассейна за исследуемый 138-летний период и уменьшение концентрации льда за этот же период, мы пришли к выводу о 19% потери морских льдов от максимальной концентрации льда в Арктическом бассейне. Известно, что в Канадском секторе Арктического бассейна кромка льда заметно сместилась к северу приблизительно на 2-3 градуса, что подтверждает спутниковую информацию о сокращении площади ледового покрова в этом районе почти на 30% за последние два десятилетия (Cavaliery et al., 1997).

Важно определить период лет, на который приходятся максимальные потери плавучих льдов Арктики, а также точку отсчета, с которой начался процесс. Анализируя многолетние изменения концентрации морского льда в Арктическом бассейне за период 1870-2007гг., приходим к выводу, что точкой отсчета в процессе уменьшения плавучих льдов можно считать 1953г. Именно с 1953 года и по 2007 год наблюдается устойчивая тенденция уменьшения концентрации льда в Арктическом бассейне [1]. На рис. 6 представлен весь 138-летний ряд, как видим: период лет 1870-1952гг. характеризуется почти нулевым линейным трендом, а период 1953-2007гг. описывается также линейным трендом с резко отрицательной тенденцией и для него характерен период колебаний близкий к шестилетнему. Учитывая, что данный период лет 1953-2007гг. представлен наиболее точными и надежными данными, то полученные результаты являются, безусловно, верными.

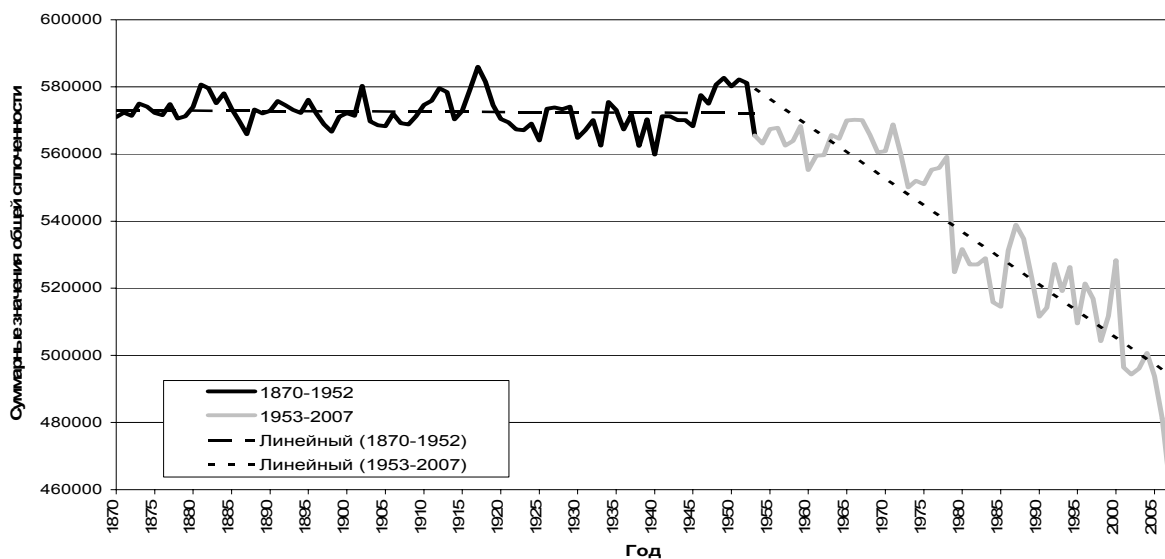


Рис. 6 – Межгодовые колебания и линейные тренды общей сплоченности морского льда за период 1870–2007гг.

Данные группы лет 1870-1952гг. подтверждены многолетними наземными и морскими наблюдениями. Безусловно, к этим данным необходимо относиться с известной долей скепсиса, но результаты расчетов показали, что данный ряд хорошо описывает климатические характеристики Арктического бассейна в этот период лет с устойчивым ледяным покровом Арктического бассейна, а значимый период колебаний составляет 10,0 и 3,5 лет и не выпадают из общих результатов.

Далее были рассчитаны основные статистические характеристики концентрации морского льда арктического бассейна для всех исследуемых периодов лет (табл. 2). Как видим, наиболее часто наблюдается левосторонняя асимметрия, что подтверждает факт уменьшение значений концентрации морского льда в указанные периоды. Также для

периодов инструментальных измерений характерна сплюснутая кривая распределения по сравнению с кривой нормального распределения, что говорит о колебаниях значений концентрации морского льда в широком диапазоне.

Таблица 2 – Статистические характеристики общей сплоченности морского льда Арктического бассейна

Период	min	max	As		Э	
1870 -1900	561828	580661	-0,23	левосторонняя слабая	0,16	вытянутая кривая
1901 -1952	559806	585947	0,19	правосторонняя слабая	-0,52	сплюснутая кривая
1952 -1971	555250	570191	-0,49	левосторонняя умеренная	-1,1	сплюснутая кривая
1971 -2007	460971	560067	-0,16	левосторонняя слабая	-0,45	сплюснутая кривая
1870 -2007	460971	585947	-1,56	левосторонняя сильная	1,67	вытянутая кривая

Была проведена типизация изменчивости концентрации морского льда Арктического бассейна за период 1972-2007гг. по пяти равным градациям, соответствующим 20% изменчивости величин суммарной ледовитости поля  $\Sigma_{\text{поля}}$ , полученная типизация представлена в табл. 3. Данная типизация позволяет более точно оценить влияние внешних факторов на льдообразование, что необходимо учитывать при разработке методов прогноза.

Таблица 3 – Каталог лет 20% изменчивости общей сплоченности морского льда Арктического бассейна за период 1972-2007гг.

20%-е пределы изменчивости $\Sigma_{\text{поля}}$		Годы	Тип
460971	480790,1	2007	минимальная
480790,2	500609,3	2001, 2002, 2003, 2005, 2006,	умеренно минимальная
500609,4	520428,5	1985, 1984, 1990, 1991, 1993, 1995, 1997, 1998, 1999, 2004,	средняя
520428,6	540247,7	1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1986, 1988, 1989, 1992, 1994, 1996, 2000,	умеренно максимальная
540247,8	560066,9	1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978	максимальная

Здесь: 1 тип - минимальное накопление ледовитости; 2 тип - умеренно минимальное накопление ледовитости; 3 тип - среднее накопление ледовитости; 4 тип - умеренно максимальное накопление ледовитости; 5 тип - максимальное накопление ледовитости.

Как видим, 2007 год характеризуется минимальными значениями концентрации морского льда Арктики, что подтверждается данными американских исследователей, на 16 сентября 2007 года площадь арктического ледяного панциря достигла исторического минимума, составив 4,13 миллиона квадратных километров, сообщает Колорадский университет в Боулдере (University of Colorado at Boulder). Об этом же сообщается в специальном отчете Arctic Report Card, составленном Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы США, а также в [3].

Отчет был подготовлен по результатам наблюдений, проведенных 46 учеными из 10 стран. Климатологам удалось установить, что средняя температура в Арктике выше нормы на пять градусов по Цельсию.

Основной причиной столь высоких температур ученые называют таяние арктических льдов. Исчезновение ледяного покрова приводит к тому, что океан поглощает большее количество солнечной энергии. Это, в свою очередь, приводит к повышению температуры воздуха.

#### **Выводы.**

- Расчет скрытых периодичностей исследуемых рядов выявил несколько значимых периода колебаний с вероятностью 68%, среди которых наиболее характерны – двухлетние.
- Наиболее часто наблюдается левосторонняя асимметрия, что подтверждает факт уменьшения значений концентрации морского льда в исследуемые периоды.
- Для периодов инструментальных измерений характерна сплюснутая кривая распределения по сравнению с кривой нормального распределения, что говорит о колебаниях значений концентрации морского льда в широком диапазоне.
- Точкой отсчета в процессе уменьшения плавучих льдов можно считать 1953г. Именно с 1953 года и по 2007 год наблюдается устойчивая тенденция уменьшения концентрации льда в Арктическом бассейне.
- В 2007 году площадь арктических льдов достигла своего минимума за всю историю наблюдений. Это означает, что изменения в атмосфере, ледовом покрове и ледниках Гренландии носят катастрофический характер.

#### **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.Є.* Звіт з НДР: «Оцінка стану кліматичної системи Західної Антарктики (району Антарктичного півострова) у світлі мінливості циркуляції тропосфери і низької стратосфери, термічних та динамічних характеристик південного океану, а також динаміки зледеніння». Розділ: 6 «Оцінка стану льодовитості в західному секторі Антарктичної частини Атлантики» № 0104U000958 Одеса, ОДЕКУ – 2006.
3. *Zhang, X. and J.E. Walsh.* 2006: Toward a seasonally ice-covered Arctic Ocean: scenarios from the IPCCAR4 model simulations //J. Climate. – 2006. – №19. – P.1730-1747.

#### **Dynamics of concentration of sea ice of north hemisphere for 1870-2007 period.**

**Danova T., Galat E.**

*A dynamics of concentration of sea ice of arctic is analyzed; statistical descriptions of lengthened row are calculated. Meaningful periods of vibrations of total concentration of sea ice are definite. Typification on five equal gradations is conducted, proper 20% changeability of sizes of total concentration of sea ice fields.*

**Keywords:** concentration of sea ice, dynamics, statistical descriptions

#### **Динаміка концентрації морського льоду північної півкулі за період 1870-2007рр.**

**Данова Т.Є., Галат Є.В.**

*Аналізується динаміка концентрації морського льоду Арктики, розраховані статистичні характеристики подовженого ряду. Визначені значимі періоди коливання сумарних значень льодовитості поля  $\Sigma_{\text{поля}}$ . Проведена типізація по п'яти рівних градаціях, які відповідають 20% мінливості величин сумарної льодовитості поля.*

**Ключові слова:** концентрація морського льоду, динаміка, статистичні характеристики