

**МЕТЕОРОЛОГИЯ***И.В. Лаврова, А.И. Угрюмов***СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОЕ КОЛЕБАНИЕ В ОКЕАНЕ  
И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ  
В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ***I.V. Lavrova, A.I. Ugriumov***NORTHERN ATLANTIC OSCILLATION IN THE OCEAN  
AND ITS INFLUENCE ON THE WEST ARCTIC ICE COVER**

*Рассматривается Северо-Атлантическое колебание в океане. Предложен численный показатель этого колебания, описывающий температурный режим теплых и холодных течений. Исследуется влияние Северо-Атлантического колебания на изменчивость ледяного покрова в западном секторе Арктики.*

*Ключевые слова: Северная Атлантика, температура воды, длительные колебания, ледовый покров.*

*Northern Atlantic Oscillation in the ocean is considered. The index of this oscillation describing the temperature regime of the warm and cold currents is constructed. The influence of Northern Atlantic Oscillation on the ice cover variability in the West Arctic is analyzed.*

*Key words: northern Atlantic, water temperature, sustained oscillations, ice cover.*

В Арктический бассейн водные массы проникают главным образом из Атлантики через Норвежское море, а оттуда распространяются как к востоку, вдоль кромки Евразийского континентального шельфа, так и к полюсу, сопровождаясь адвекцией тепла. Хотя численно величина адвекции относительно небольшая, приходящее тепло играет важную роль, как в поддержании циркуляции в Арктическом бассейне, так и в соотношении воды и льда [Перри, 2000]. Таким образом, возникновение аномалии температуры воды в Северной Атлантике должно сказываться на изменении площади ледяного покрова в западном секторе Арктики. Есть основания полагать [Дуванин, 1977; Sandstrom, 1942; Угрюмов, 1981; Нестеров, 1981; Смирнов, 1982], что длительные изменения температурного поля океана являются частью единого процесса, называющегося Северо-Атлантическим колебанием. Проявления данного колебания в атмосфере изучены к настоящему времени довольно подробно: предложены численные показатели колебания и исследованы особенности их временных изменений [Смирнов, 1998]. Для температурного поля океана показатели Северо-Атлантического колебания еще не разработаны. В данной статье мы постараемся решить эту задачу для зимнего и летнего периодов и далее исследовать связи предложенного показателя с колебанием ледовитости Арктического бассейна.

Для исследования использованы данные аномалии температуры поверхности воды (ТПО) в Северной Атлантике осредненные по квадратам  $5^\circ \times 5^\circ$  из массива данных ESRL (Earth System Research Laboratory) [10]. Акватория ограничена по широте  $40^\circ$  с.ш. и  $70^\circ$  с.ш. для периода январь–март и  $20^\circ$  с.ш. и  $80^\circ$  с.ш. – для периода июнь–август. Данные отобраны для зимних месяцев за период с 1940 по 2008 гг., для периода июль–август – с 1940 по 2007 гг.

Для начала выполнено районирование поля аномалии температуры воды в зимний и летний периоды по принципу однородности изменения аномалии ТПО во времени. Для этого были рассчитаны коэффициенты корреляции между аномалиями ТПО для всех квадратов, т.е. каждый квадрат поочередно брался как центр корреляции.

Полученная матрица коэффициентов корреляции с помощью метода кластерного анализа (метода  $k$ -средних) разбивалась на классы [Кулаичев, 2006]. Классификация была выполнена последовательно для 4, 5 и 6 классов. Наиболее подробным и физически определенным получилось разделение акватории на 6 классов – районов, внутри каждого из которых отмечается однородное во времени изменение аномалии ТПО. Результаты районирования представлены на рис. 1.

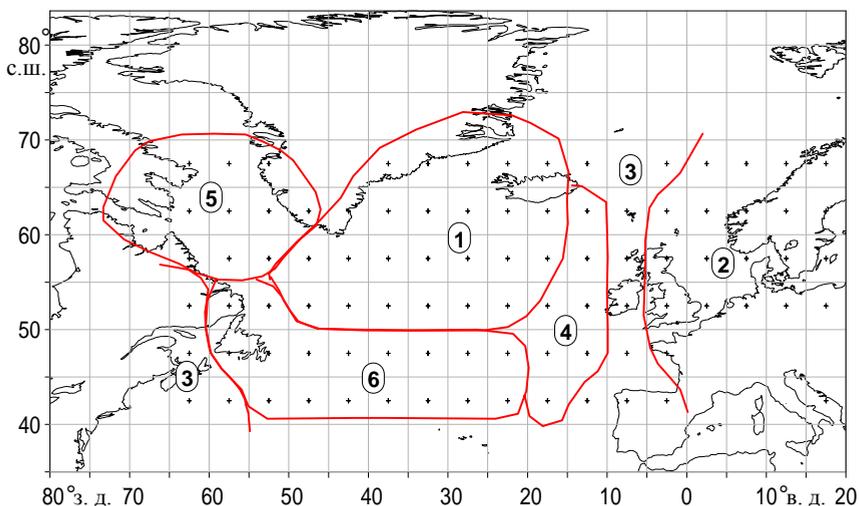


Рис. 1. Районирование поля аномалии температуры поверхности океана (ТПО) Северной Атлантики в зимний период (январь–март) по данным с 1940 по 2008 гг.

На рис. 1 видно, что полученные районы неплохо согласуются с расположением различных течений и водных масс Северной Атлантики. Так, 5 район – зона холодных Лабрадорского и Западно-Гренландского течений; 6, 4 и 3 районы – области Северо-Атлантического течения и распространения центрально-атлантической водной массы; 2 район – Норвежское течение и Северное море; 1 район – зона смешения вод Восточно-Гренландского, Северо-Атлантического течений и течения Ирмингера. Особенность 1 района заключается в том, что

здесь образуется североатлантическая глубинная вода. Водные массы, опускаясь, могут достигать самого дна и в дальнейшем участвуют в придонной циркуляции Мирового океана.

Анализ колебаний аномалий ТПО в центрах полученных районов показал, что лишь два из них имеют достаточно сильную отрицательную корреляционную связь. Это 1 район – холодных, и 2 район – теплых водных масс. На рис. 2 приведены коэффициенты корреляции между аномалиями ТПО в центре 1 района (рис. 2, а) и 2 района (рис. 2, б) и аномалиями ТПО на остальной части исследуемой акватории Северной Атлантики. Действительно, в 1 и 2 районах изменения аномалии ТПО происходят в противофазе, т.е. усиление адвекции тепла в районе 2 сопровождаются усилением адвекции холода в районе 1, и наоборот.

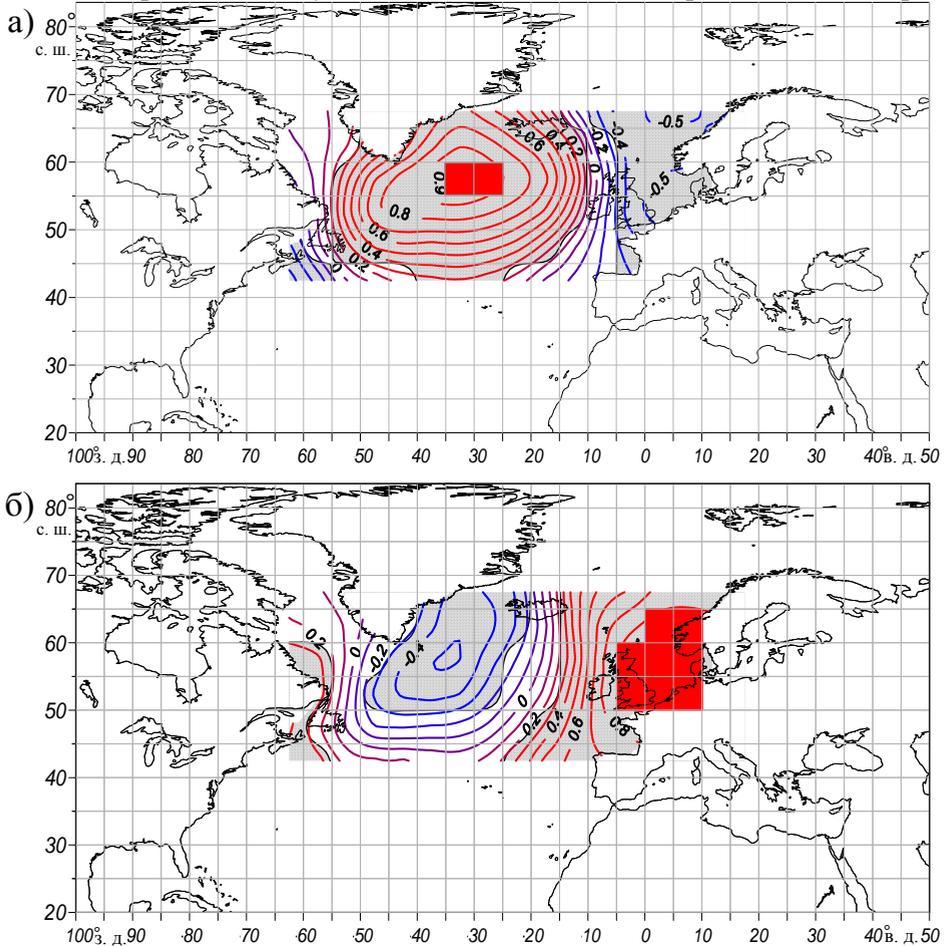


Рис. 2. Поля коэффициентов корреляции между аномалиями ТПО в центре 1 района (а) и 2 района (б) и аномалиями ТПО на акватории Северной Атлантики за период январь–март.

■ – зона статистически значимых коэффициентов корреляции на уровне 0,95

Таким образом, на акватории Северной Атлантики отчетливо выделяется температурный диполь в системе теплых и холодных течений. По аналогии с известным Северо-Атлантическим колебанием в атмосфере будем считать, данный температурный диполь проявлением Северо-Атлантического колебания в океане. Напомним, что Северо-Атлантическое колебание в атмосфере заключается в синхронных и обратных по знаку изменениях давления в исландской депрессии и азорском антициклоне. Эти изменения приводят к колебаниям западно-восточного переноса в атмосфере над Атлантикой. В нашем случае колебания “напряженности” температурного диполя отражают, по-видимому, колебания интенсивности основных течений Северной Атлантики.

Введем теперь показатель Северо-Атлантического колебания в океане:

$$\delta\Delta T_w = \Delta T_2 - \Delta T_1,$$

который представляет собой разность аномалий ТПО в районе 2 ( $\Delta T_2$ ) (теплые течения) и в районе 1 ( $\Delta T_1$ ) (холодные течения). При  $\delta\Delta T_w > 0$  отмечается общее усиление течений и соответствующей им адвекции температуры воды. При  $\delta\Delta T_w < 0$  отмечается снижение интенсивности океанической циркуляции.

Рассмотрим графики изменения показателя Северо-Атлантического колебания в океане ( $\delta\Delta T_w$ ) для периода январь–март (рис. 3), за последние 70 лет.

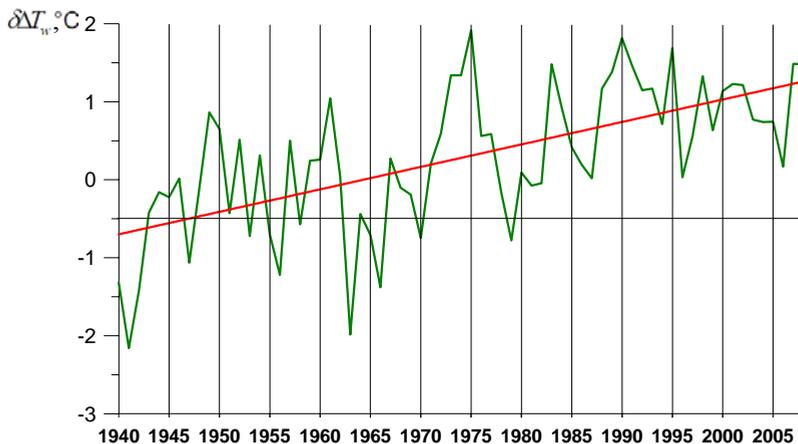


Рис. 3. График изменения показателя Северо-Атлантического колебания в океане ( $\delta\Delta T_w$ ) для периода январь–март

Из рисунка видно, что линейный тренд показателя Северо-Атлантического колебания в океане положительный, т.е. во второй половине XX столетия интенсивность океанической циркуляции в целом увеличивалась. При этом на фоне положительного тренда отмечались циклические колебания  $\delta\Delta T_w$  с переменным периодом.

Далее аналогично зимнему периоду вычислен показатель Северо-Атлантического колебания в океане для летнего сезона (июль–август). Для этого также с помощью метода кластерного анализа поле аномалии ТПО в Северной Атлантике разбито на классы. В результате классификации получены 6 районов (рис. 4).

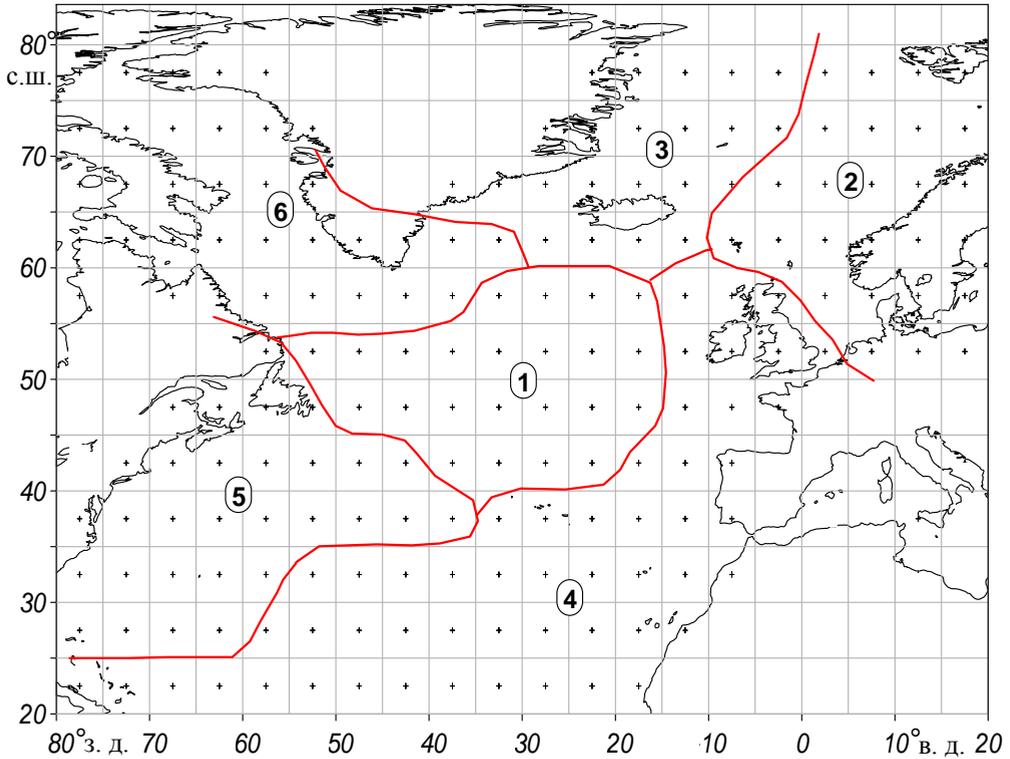


Рис. 4. Районирование поля аномалии ТПО северной Атлантики в летний период (июль–август) по данным с 1940 по 2007 гг.

Для летнего сезона так же, как и для зимнего, выделяются два района, колебания в которых происходят в противофазе: 1 район – холодных и 2 район теплых водных масс. Кроме того, поскольку область исследования для летнего сезона была увеличена по сравнению с зимним, на акватории 5 района появляется еще одна область, колебания в которой происходят синхронно со 2 районом и в противофазе с 1 районом. Но так как значения коэффициентов корреляции этих колебаний сравнительно небольшие далее мы будем рассматривать только 1 и 2 районы. На рис. 5 представлены поля коэффициентов корреляции между аномалиями ТПО в центре 1 района (рис. 5, а) и 2 района (рис. 5, б) и аномалиями ТПО на остальной акватории Северной Атлантики. Отметим, что положение 1-го района для летнего периода по сравнению с зимним немного изменилось, наблюдается небольшое смещение района к югу. В отличие от 1-го 2-й район сместился на север (из Северного моря в Норвежское).

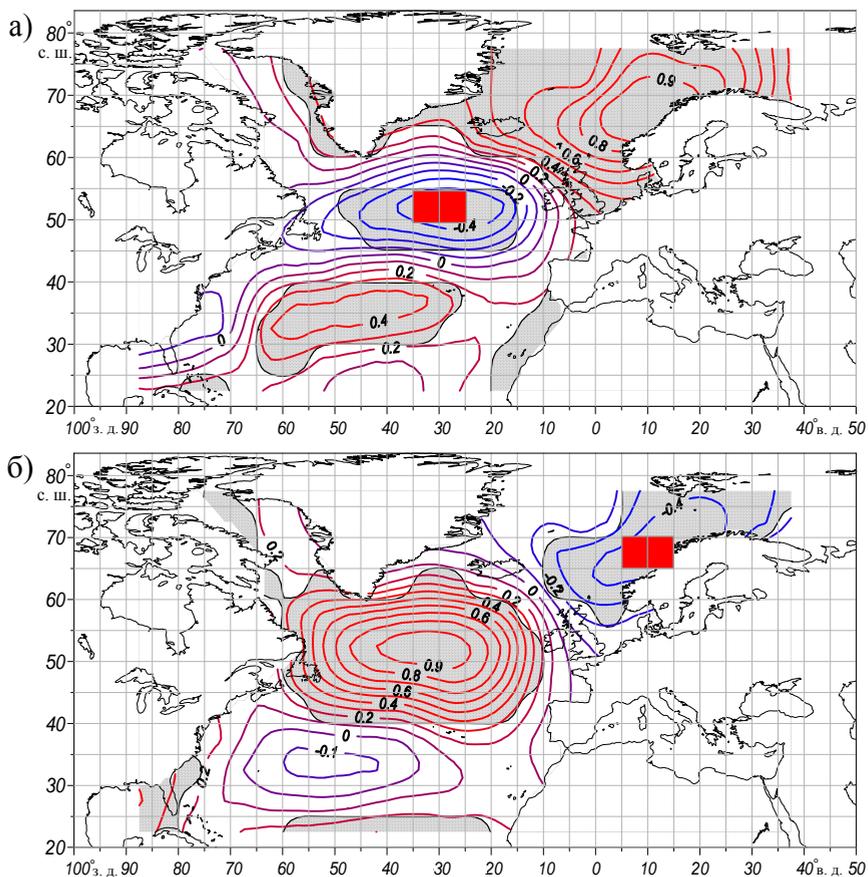


Рис. 5. Поля коэффициентов корреляции между аномалиями ТПО в центре 1 района (а) и 2 района (б) и аномалиями ТПО на акватории Северной Атлантики за период июнь–август по данным с 1940 по 2007 гг.  – зона статистически значимых коэффициентов корреляции на уровне 0,95

На рис. 6 представлен график изменение показателя Северо-Атлантического колебания в океане для периода июнь–август в 1940–2008 гг.

Летом показатель Северо-Атлантического колебания имеет небольшой положительный тренд, и в отличие от зимнего сезона испытывает более ярко выраженные двадцати- тридцатилетние флуктуации.

Рассмотрим теперь влияние Северо-Атлантического колебания в океане на формирование ледяного покрова в западном секторе Арктики. Здесь использованы данные по сплоченности ледяного покрова (в %) отобранные из массива данных the IRI/LDEO (International Research Institute for Climate and Society / Lamont – Doherty Early Observatory of Columbia University) [11]. Эти данные осреднены по  $5 \times 5^\circ$  квадратам для всех 12 месяцев за период наблюдений с 1982 по 2008 гг.

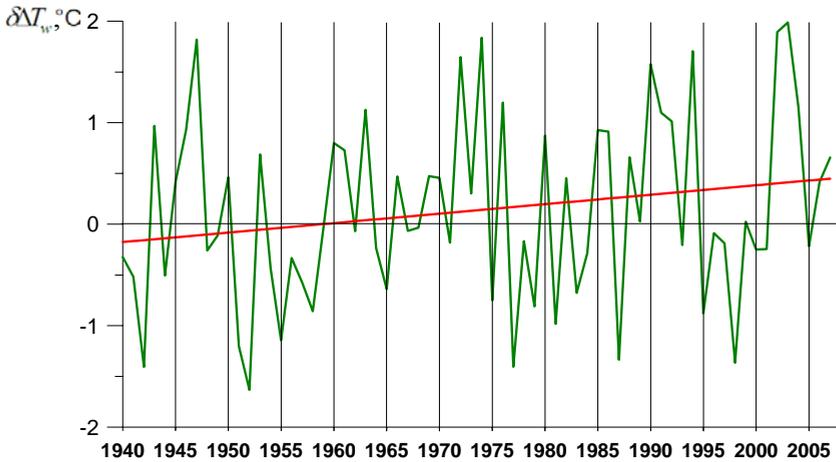


Рис. 6. График изменения показателя Северо-Атлантического колебания в океане ( $\delta\Delta T_w$ ) для периода июнь–август

Были рассчитаны коэффициенты корреляции (по Спирмену) между показателем Северо-Атлантического колебания океана ( $\delta\Delta T_w$ ) за период январь–март и сплоченностью ледяного покрова для месяцев с января по декабрь.

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции ( $r$ ) между показателем Северо-Атлантического колебания в океане ( $\delta\Delta T_w$ ) для периода январь–март и сплоченностью ледяного покрова западного сектора Арктики для периода январь–март и остальных месяцев по данным наблюдений с 1981 по 2008 гг.**

Месяц	1–3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$r$	-0.3	-0.45	-0.37	-0.36	-0.12	0.09	-0.07	-0.28	0.13	-0.12

Прежде всего, отметим, что на протяжении всей первой половины года корреляционная связь отрицательна. Это означает, что при усилении Северо-Атлантического колебания в океане, усиливается адвекция тепла в системе теплых течений Северной Атлантики в полярные широты. Что в свою очередь приводит к уменьшению количества льда в западном секторе Арктики. При ослаблении Северо-Атлантического колебания происходит обратный процесс увеличения количества льда в Арктическом бассейне.

Анализ таблицы показывает также, что максимальная отрицательная связь  $\delta\Delta T_w$  с ледовитостью Арктики наблюдается в апреле месяце, в период, когда отмечается максимальное количество льда на рассматриваемой акватории. При переходе к летним месяцам коэффициент корреляции резко уменьшается.

### Вывод

В результате исследования установлено, что на территории Северной Атлантики существуют информативные районы, в которых колебания аномалий ТПО имеют крупномасштабный характер и происходят в противофазе. Первый

район расположен южнее Гренландии в зоне смешения теплых и холодных водных масс. Местоположение второго района связано с системой теплых течений Северной Атлантики, но более изменчиво в зависимости от сезона. В зимний период он находится в Северном море, летом смещается на север в Норвежское море.

По аналогии с Северо-Атлантическим колебанием в атмосфере данный температурный диполь можно считать проявлением Северо-Атлантического колебания в океане. В качестве показателя Северо-Атлантического колебания в океане предложена разность аномалий ТПО во втором и первом информативных районах, характеризующая интенсивность теплых и холодных течений в океане.

Северо-Атлантическое колебание в океане испытывает флуктуации масштаба десятилетий и вместе с тем имеет явно выраженный положительный тренд в течение всего XX века. При этом данный тренд более выражен в зимнем сезоне.

Сравнение временного хода Северо-Атлантического колебания и сплоченности льдов в западном секторе Арктике обнаружило отрицательную корреляционную связь между ними. Это означает, что усиление адвекции тепла в системе течений Северной Атлантики приводит к уменьшению ледового покрова в Арктике, и наоборот.

### ***Литература***

1. *Дуванин А.И.* О взаимодействии между гидрометеорологическими процессами в океане и атмосфере // Вестник МГУ. Сер. «География», 1977, № 5, с. 89–95.
2. *Кулаичев А.П.* Методы и средства комплексного анализа данных. – М.: Форум–Инфра-М, 2006. – 511 с.
3. *Нестеров Е.С.* Об одном механизме формирования крупномасштабных аномалий температуры воды в океане // Метеорология и гидрология, 1981, № 1, с. 66–71.
4. *Перри А.Х., Уокер Дж.М.* Система «океан–атмосфера». – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 194 с.
5. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. – СПб.: РГГМУ, 1998. – 122 с.
6. *Смирнов Н.П., Угрюмов А.И.* Исследование крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в целях долгосрочных прогнозов / В сб. Гидрометеорологическое обеспечение народного хозяйства. – Л.: ЛПИ, 1982.
7. *Угрюмов А.И.* Тепловой режим океана и долгосрочные прогнозы погоды. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 176 с.
8. *Чичасов Г.Н.* Численные методы обработки и анализа информации. – Алматы: Казгидромет, 1995. – 106 с.
9. *Sandstrom J.* On relation of the surface temperature of the sea to the air temperature. – Arkiv for mat., ast., oct. fysik, 1942, vol. 28, N 3.
10. Earth System Reserch Laboratory – <http://www.cdc.noaa.gov/PublicData/>
11. International Research Institute for Climate and Society/ Lamont – Doherty Early Observatory of Columbia University – [http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEP/EMC/CMB/GLOBAL/Reyn\\_SmithOlv2/monthly/](http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEP/EMC/CMB/GLOBAL/Reyn_SmithOlv2/monthly/)