

## СИБИРСКИЙ АНТИЦИКЛОН: МНОГОЛЕТНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ СВЯЗИ

*Досліджено багаторічні просторові і тимчасові зв'язки Сибірського центру дії атмосфери за останні 120 років. За допомогою аналізу експериментальних даних встановлено подібні тенденції в зміні основних характеристик клімату, обертання Землі, магнітного поля. Зіставлені когерентні варіації в енергетичних обмінних процесах в ланцюжку зв'язків Земля - атмосфера - магнітосфера - Сонце.*

*Long-term spatial and temporal relationships of the Siberian Center of the atmosphere over the past 120 years were studied. Using data analysis found similar trends in the change of the main characteristics of climate, of the Earth's rotation, of the magnetic fields. Coherent variations in energy metabolism in the chain Earth - atmosphere - magnetosphere - Sun were compared.*

**Введение.** Земля обладает большим собственным моментом количества движения, что обеспечивает устойчивость параметров её ориентации относительно внешних воздействий. Тем не менее, вращение Земли неравномерно, а наблюдаемый в параметрах её ориентации широкий диапазон спектра вариаций генерируется множеством внешних и внутриземных процессов. Наиболее важным источником изменения во всех трех компонентах вектора угловой скорости вращения Земли является взаимодействие атмосферы и подстилающей твердой мантии [5; 8]. Суточные и годовые изменения освещенности Земли солнечными лучами приводят к сложной периодической изменчивости нагрева в различных районах Земли. Результатом неодинакового нагрева в разных частях суши, океана и атмосферы является возникновение мощных струйных течений в океанах, а также ветры, циклоны и антициклоны, ураганы в тропосфере. Эти перемещения вещества формируют климат на всей планете, вносят вклад в неравномерности вращения Земли. При этом определяющее значение играют неустойчивости, возникающие в условиях сильного отклонения от равновесия потока солнечной энергии, что приводит к дополнительному возникновению неустойчивости в целом ряде процессов в атмосфере Земли. Индикаторами неустойчивостей в атмосфере служат различные вихревые движения, изменения динамики циклонов и антициклонов, аномалии климатических характеристик. На климатических картах атмосферного давления (месячных, сезонных и годовых) выявляется климатический центр действия атмосферы (ЦДА) – Сибирский максимум (Сибирский антициклон). В его динамике за последние 30 лет обнаруживается неизвестный ранее природный феномен. Он заключается не только в превращении полюса холода Северного полушария в полюс тепла, но и в разрушительном влиянии нового полюса на таяние льдов Арктики через реку Лену [4]. Географическая локализация Сибирского антициклона, его интенсивность и распространение по площади играют важную роль в формировании как основного характера атмосферных процессов над азиатским материком, так и всего механизма общей циркуляции атмосферы в Северном полушарии Земли. Учитывая влияние Сибирского антициклона на общую циркуляцию атмосферы в Северном полушарии, можно предположить, что основные особенности колебаний температуры в различных регионах могут быть непосредственно связаны с Сибирским антициклоном. При этом наблюдаются как аномалии возврата холодов, так и положительные аномалии потепления. Настоящая работа посвящена установлению когерентности пространственно-временных характеристик Сибирского центра действия атмосферы с некоторыми характеристиками физических процессов в цепочке солнечно-земных связей.

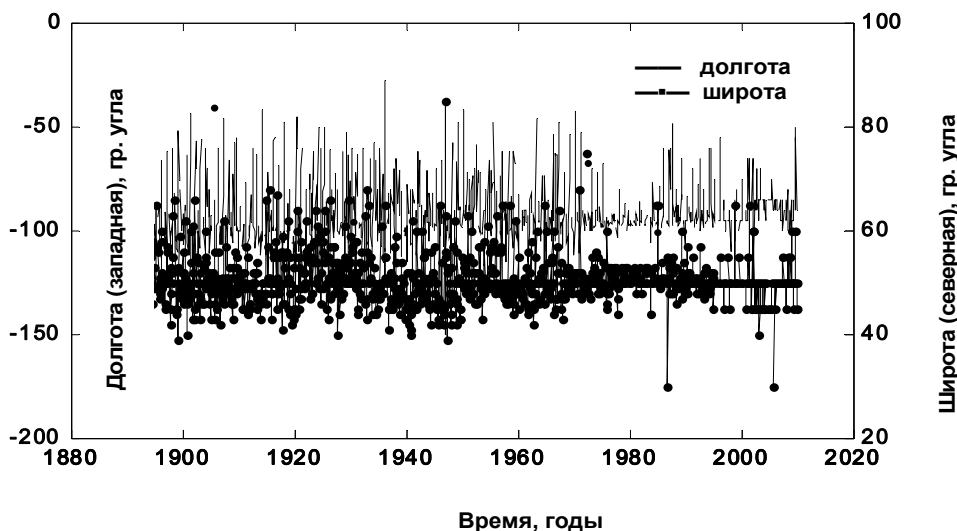


Рис. 1. График среднемесячных долгот и широт Сибирского ЦДА за 1891-2010 годы

**Пространственно-временная локализация и интенсивность Сибирского ЦДА.** При характеристике интенсивности антициклона употребляют термины: "мощный" или "слабый" антициклон; в случае роста давления в центре антициклона употребляют термин "усиливается", в случае понижения давления в центре – "разрушается", "ослабевает" [1]. Сибирский антициклон – мощное барическое образование. На рисунке 1 показано географическое положение Сибирского ЦДА: среднемесячные долготы и широты, вычисленные по синоптическим наблюдениям за последние 120 лет А. Неушкиным. Географическая локализация сибирского антициклона, его интенсивность и распространение по площади играют важную роль в формировании как основного характера атмосферных процессов над азиатским материком, так и всего механизма общей циркуляции атмосферы в Северном полушарии Земли.

Климат Северного полушария формируется под влиянием 5 основных ЦДА. Причём, к формирующимся в течение всего года ЦДА относятся океанические центры над Атлантическим океаном - Азорский максимум и Исландский минимум, над Тихим океаном – Гонолульский максимум и Алеутский минимум. К сезонным ЦДА относится Сибирский антициклон.

На рисунке 2 приведены графики интенсивностей 5 ЦДА Северного полушария за период 1900–2000 [2].

Как следует из рисунка 2, интенсивность Сибирского ЦДА за последние 100 лет непрерывно росла, опережая Азорский и Гонолульский максимумы. При этом ускоренный рост интенсивности Сибирского ЦДА наблюдается после 1970 года и сопровождается ростом эндогенной активности Земли и глобальной приземной температуры воздуха. Информацию о природе тех или иных вариаций в изучаемых природных явлениях, в условиях недостаточно изученных физических процессов участвующих в их происхождении, что имеет место в нашем случае, можно получить из анализа наблюдений. Сопоставление экспериментальных данных позволяет установить когерентность подобных вариаций и сделать вывод о характере пространственных и временных связей между физическими процессами, в которых они обнаружены. Для сопоставления данных нами использовалась теория и алгоритмы двухканального спектрального авторегрессионного (АР) анализа [3].

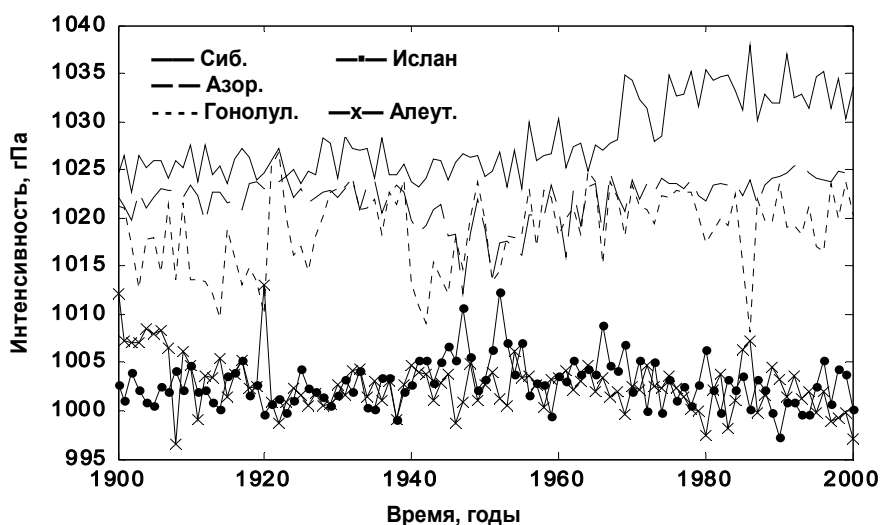


Рис.2 Среднегодовые интенсивности 5 ЦДА Северного полушария за 1900–2000 годы

**Метод спектрального АР – анализа.** Приведенные в настоящей статье результаты спектрального анализа и установления когерентности вариаций в сопоставляемых экспериментальных данных получены методами спектральных оценок, обладающих высокой разрешающей способностью для ограниченных последовательностей данных. Согласно этим методам установление взаимной корреляции между двумя (одноканальными) процессами состоит в вычислении функции взаимной (двухканальной) спектральной плотности мощности (СПМ), которая представляет собой дискретно-временное преобразование Фурье взаимной корреляционной функции  $r_{xy}$  в виде

$$P_{xy}(f) = T \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} r_{xy}[k] \exp(-j2\pi f k T) \tag{1}$$

где  $x$  и  $y$  - одноканальные процессы,  $f$  - частота,  $T$  - интервал времени.

Комплексное безразмерное выражение функции когерентности с учётом (1) имеет вид

$$F_{xy}(f) = P_{xy}(f) / \sqrt{P_{xx}(f)} \sqrt{P_{yy}(f)} \tag{2}$$

Для измерения сходства (как функции частоты) двух сигналов вычисляем квадрат модуля когерентности (КМК) в виде

$$КМК(f) = |F_{xy}(f)|^2 \tag{3}$$

и фазовый спектр когерентности

$$\theta(f) = \arctg \left[ \text{Im}\{F_{xy}(f)\} / \text{Re}\{F_{xy}(f)\} \right] \tag{4}$$

Величина КМК (3) заключена между 0 (для частот, на которых отсутствует когерентность между каналами) и 1 (для частот, на которых каналы полностью когерентны). Фаза когерентности (4) характеризует отставание или опережение по фазе в канале  $X$  по отношению к каналу  $Y$  как функцию частоты. Для выбора порядка АР – модели вычислялся критерий Абэ [3].

**Когерентность изменения длительности суток и интенсивности Сибирского ЦДА.** Продолжительность земных суток составляет в среднем 24 часа. Сезонными изменениями продолжительности земных суток управляет обмен энергии между твердой оболочкой Земли и общей циркуляцией атмосферы.

Кроме того, продолжительность земных суток колеблется также в гораздо более широких масштабах: от двух лет до нескольких десятилетий и больше. Как полагают в последнее время учёные, эти колебания обусловлены течением расплавленного железа внутри внешней части ядра Земли, где формируется магнитное поле Земли. Подтверждением этой гипотезы служат наблюдения магнитного поля Земли на поверхности. Поток жидкого расплавленного железа внутри внешней части ядра взаимодействует с мантией Земли, совершая колебания, которые длятся десятилетиями во временных масштабах, и соответствуют долговременным изменениям продолжительности земного дня [6].

На рисунке 3 приведены графики последовательностей данных: отклонений длительности суток от стандартных (LOD) [9] и интенсивностей Сибирского ЦДА (SP) [2]. Когерентность долгопериодических вариаций в этих данных может указывать на существование обмена энергией между внутренними земными и атмосферными процессами.

Для установления когерентности предварительно были вычислены изменения из года в год отклонений длительности суток от стандартных (dLOD) и интенсивностей Сибирского ЦДА (dSP).

На возможность связи вариаций интенсивности Сибирского ЦДА с вариациями длительности суток указывает график совместного спектра (дискретный аналог функции когерентности) на рисунке 4, где по оси абсцисс отсчитывается частота, а по оси ординат – относительная (по отношению к максимальному значению) величина спектральной плотности мощности (СПМ) в логарифмическом масштабе.

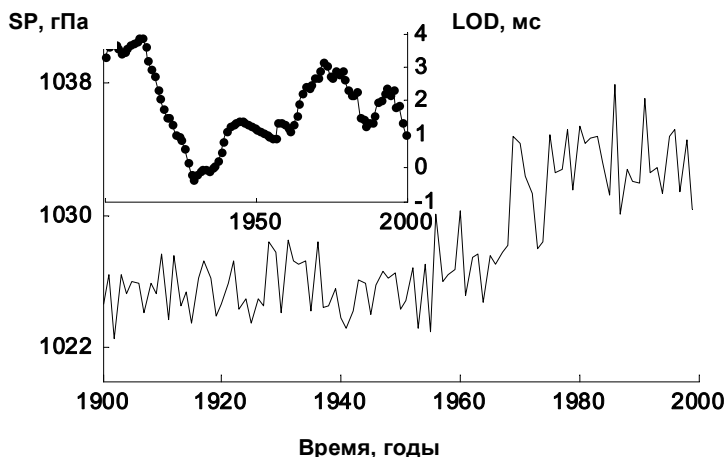


Рис. 3. Графики среднегодовых величин отклонений длительности суток от стандартных (LOD, верхний график) и интенсивностей Сибирского ЦДА (SP)

Графики на рисунках 4 и 5 вычислены для данных на интервале 1970–2009 год. Сравнение графиков совместных относительных СПМ на рисунках 4 и 6 показывает, что возрастание когерентности на низких частотах наблюдается после 1970 года, в частности это относится к вариациям с периодом  $18 \pm 0.5$  год. Можно предположить, что влияние скорости вращения Земли на интенсивность Сибирского ЦДА на этой частоте увеличилось после 1970 года.

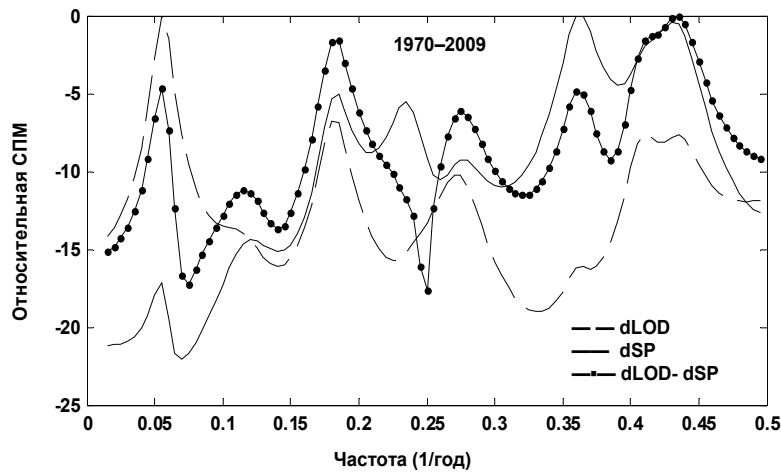


Рис.4. Двухканальный спектральный анализ: dLOD - автоспектр данных об изменении из года в год длительности суток; dSP - автоспектр данных об изменении из года в год интенсивности Сибирского ЦДА; dLOD – dSP – совместный спектр когерентности.

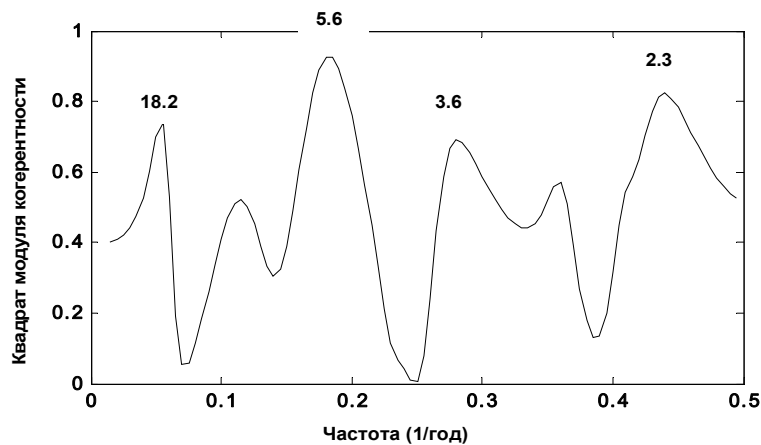


Рис. 5. Когерентность данных об изменении из года в год интенсивности Сибирского ЦДА и данных об изменении из года в год длительности суток на интервале 1970–2009год

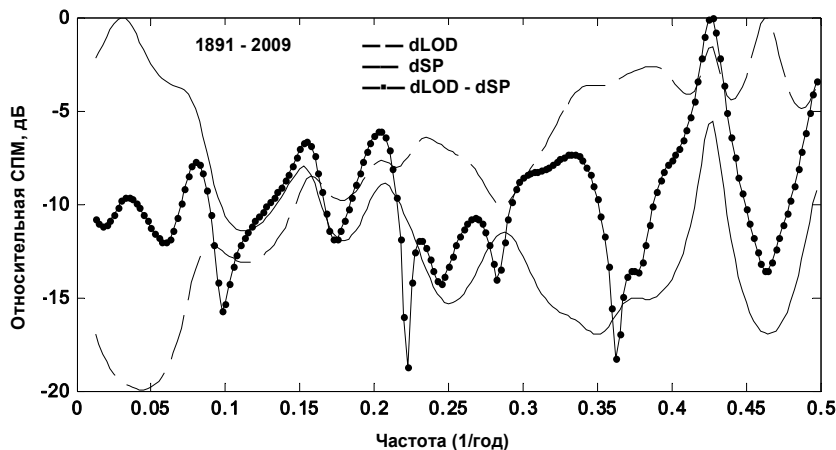


Рис.6. Двухканальный спектральный анализ:dLOD - автоспектр данных об изменении из года в год длительности суток; dSP-автоспектр данных об изменении из года в год интенсивности Сибирского ЦДА; dLOD – dSP – совместный спектр когерентности

Кроме того, с целью установления когерентных колебаний, нами проведен двухканальный спектральный AP – анализ последовательностей данных об изменениях интенсивности Сибирского ЦДА [2] и глобальной приземной температуры воздуха [7], солнечной активности [10; 11], смещений Северного магнитного полюса Земли [12].

В результате анализа установлена когерентность данных об изменении из года в год интенсивности Сибирского ЦДА и данных об изменении из года в год глобальной приземной температуры воздуха для вариаций с периодами 45, 10.3, 6.2, 5.2 года, (КМК > 70%). Установлена когерентность данных об изменении из года в год интенсивности Сибирского ЦДА и данных об изменении долготы и широты Северного магнитного полюса для вариаций с периодами 43, 33, 12, (КМК > 60%).

Анализ вариаций земных процессов и проявлений солнечной активности, а также сравнение их между собой показывают, что солнечная активность вызывает возмущения межпланетной среды, которые проявляются во всех оболочках Земли, включая магнитосферу, все слои атмосферы, литосферу, биосферу и даже техносферу. Одной из наиболее изученных по многолетним наблюдениям характеристик солнечной активности является временной ряд солнечных пятен [10]. Нами проведен двухканальный спектральный AP – анализ для данных об изменениях интенсивности Сибирского ЦДА и солнечной активности [10; 11]. В результате высокая когерентность (КМК > 80%) выявлена для вариаций с периодом 11 лет.

**Заключение.** В настоящее время сопоставления результатов анализа высокоточных наземных, воздушных и космических измерений климатических характеристик, а также параметров вращения Земли показывает, что две разные системы (метеорологическая и астрономическая) находятся в хорошем согласии относительно сохранения момента импульса. Отсюда следует, что сигналы изменения в климате могут иметь глобальные последствия для общего вращения Земли.

Одним из таких сигналов изменений в атмосфере за последние 30 лет является резкое возрастание глобальной приземной температуры воздуха и сопутствующее ему аномальное развитие динамики Сибирского ЦДА. Проведенный нами анализ изменений параметров Сибирского ЦДА показал, что за последнее столетие его интенсивность превосходит интенсивности главных климатообразующих северных ЦДА. Поиск причин аномального изменения параметров Сибирского ЦДА в условиях отсутствия достаточной информации о физических процессах в системе ядро Земли – Солнце вызывает необходимость анализа и сопоставления наблюдений сопутствующих физических процессов в этой цепочке связей.

В настоящее время остаётся нерешённым вопрос, какие индивидуальные особенности Сибирского ЦДА вызвали преимущественное формирование аномальной динамики его развития в Северном полушарии: ускоренный рост интенсивности после 1970 года и распространение влияния на большую площадь в юго-западном направлении.

Появление когерентности вариаций с периодом 18.2 год после 1970 года в данных об изменении длительности суток и интенсивности Сибирского ЦДА (см. рис. 5) указывает на взаимосвязь скорости вращения Земли с ростом интенсивности Сибирского ЦДА.

Анализ вариаций солнечной активности, а также сравнение их с вариациями интенсивности Сибирского ЦДА обнаруживает высокую когерентность (КМК > 80 %) колебаний с периодом  $11 \pm 2$  года.

Проведенные нами сопоставления выявили когерентность (КМК > 60%) вариаций смещения магнитного полюса Земли и изменений интенсивности Сибирского ЦДА в области низких частот (периоды 33 и 43 года). В этом случае можно предположить влияние внутриземных процессов на динамику Сибирского ЦДА [7].

Необходимо не только поиск причин, вызвавших аномалии в развитии динамики Сибирского ЦДА, но и более детальное исследование их последствий.

1. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. - Владивосток: ДВГУ, 2005.
2. Мировой Центр Данных по Физике Твёрдой Земли (ICSD Data System). - Москва.
3. Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его применения. - М., 1990.
4. Поморцев О.А., Кашкаров Е.П. Потепление климата в зоне действия сибирского антициклона // RHYTHM Journal – журнал РИТМ. – 2008. – №1. – С. 128–150.
5. Сидоренков Н. Атмосферные процессы и вращение Земли. – К., 2002.
6. Dickey, Jean O., Steven L. Marcus, Olivier de Viron Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth // J. Climate. – 2011. – No 24. – P. 569–574.
7. Table Data: Global and Hemispheric Monthly Means and Zonal Annual Means (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata>).
8. Hide R., Dickey J. Earth's Variable Rotation. // Science. – 1991. – Vol. 253. – No. 5020. – P. 629–637.
9. IERS Web site map, Data Products (<http://hpiers.obspm.fr/>).
10. Solar Data (<ftp://ftp.ngdc.naa.gov/>).
11. Total Solar Irradiance (TSI), (<http://lasp.colorado.edu/>).
12. World Data Center (WDC) for Geomagnetism, Magnetic North, Geomagnetic and Magnetic Poles, Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>).

Отправлена в редакцию 22.05.12