

ОТКЛИК ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА НА ГЕОМАГНИТНУЮ АКТИВНОСТЬ

К.Е. Кириченко, В.А. Коваленко, С.И. Молодых

THE RESPONSE OF SEA SURFACE TEMPERATURE TO GEOMAGNETIC ACTIVITY

K.E. Kirichenko, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh

Представлены результаты анализа изменений температуры поверхности океана (ТПО), охватывающих временной период с 1854 по 2012 г., и их связь с вариациями *aa*-индекса геомагнитной активности. Установлено, что климатический отклик на воздействие солнечной и геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью и носит региональный характер. Выявлена пространственная структура отклика климатической системы на геомагнитную активность. Характерной особенностью является наличие областей как положительной, так и отрицательной корреляции между ТПО и *aa*-индексом. Установлено, что степень связи ТПО с вариациями геомагнитной активности существенно зависит от временного масштаба. Эта зависимость обусловлена тем, что большая часть вариаций ТПО с временным масштабом меньше пяти лет вызвана внутренними процессами климатической системы.

The results are presented of the analysis of sea surface temperature (SST) variations covering the period from 1854 to 2012, and their relationship to variations of the *aa*-index of geomagnetic activity. It is found that the climate response to effects of solar and geomagnetic between SST and *aa*-index is characterized by significant spatial and temporal non-uniformity and it is of regional character. The spatial structure of the response of climate system to geomagnetic activity has been revealed. The characteristic feature is the presence of both positive and negative correlations between SST and *aa*-index. It is shown that the connection between SST and geomagnetic activity variations of depends significantly on the time scale. This dependence is caused by the fact that the most of SST variations with a time scale of less than five years are due to internal processes of the climate system.

Введение

Основными физическими компонентами климатической системы являются океан, атмосфера, суша и криосфера. Их взаимодействие определяет главные особенности климатического режима на планете.

Две трети поверхности Земли покрыто Мировым океаном. Океан определяет многие черты климата Земли: отдает атмосфере накопленное тепло, питает ее влагой, часть которой переносится на сушу. Благодаря своей высокой теплоемкости океан является гигантским резервуаром энергии. Изменение глобального климата фактически определяется теплоемкостью деятельного слоя океана. В океане теплоемкость 1 м^2 деятельного слоя толщиной 75 м равна $30 \cdot 10^7 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, в то время как для деятельного слоя суши толщиной 3 м теплоемкость составляет $\approx 0.6 \cdot 10^7 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, а для столба атмосферы $0.7 \cdot 10^7 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$ [Кислов, 2001].

Тепловые потоки через поверхность океана и их временная изменчивость являются определяющим фактором в процессе крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы. Роль океанического компонента на порядок превышает роль атмосферного в формировании тепловой изменчивости климатической системы. В связи с этим особый интерес представляет изучение проявления солнечной активности в изменении ТПО.

Проявление солнечной активности в климатических характеристиках Земли

Сравнение изменений характеристик климата и солнечной активности (СА) на больших временных масштабах показывает большое сходство в их поведении. За последнюю тысячу лет климат испытывал изменения, соответствовавшие вариациям солнечной активности: в XII–XIII вв., когда СА была высока, отмечался теплый период («средневековый климатический оптимум»), а два понижения температуры в

малый ледниковый период (XVI–XVII вв.) соответствуют длительным периодам с низкой солнечной активностью (минимумы Маундера и Шперера).

При исследовании изменений климата в некоторых районах земного шара отмечаются 11-летние, 22-летние циклы в вариациях температуры воздуха, атмосферного давления, осадков. В отдельных районах Земли лучше всего проявляется 5–6-летний цикл, который особенно заметен в индексах магнитной возмущенности. Этот цикл наиболее характерен для тропосферных явлений, возникающих при высоком уровне геомагнитной возмущенности.

В серии работ [Жеребцов, Коваленко, 2012; De Jager, Duhaai, 2010] солнечная переменность рассматривается в качестве возможной причины глобального потепления в XX в.

Отклик температуры поверхности океана на геомагнитную активность

В соответствии с основными положениями модели влияния солнечной активности на тропосферу [Жеребцов и др., 2005] был проведен анализ связи долговременных изменений ТПО и *aa*-индекса геомагнитной активности на основе данных наблюдений. Обнаружено, что ТПО коррелирует с *aa*-индексом. В работе [Жеребцов и др., 2013] представлены карты корреляций между ТПО и *aa*-индексом геомагнитной активности для четырех климатических эпох, которые соответствуют эпохам атмосферной циркуляции, выделенным в работе [Гирс, 1971].

В данной работе для более детального изучения связи ТПО и *aa*-индекса была выбрана эпоха 1910–1944 г., которая соответствует периоду длительного возрастания геомагнитной активности.

На рис. 1 представлена карта пространственного распределения коэффициента корреляции между ТПО и *aa*-индексом для климатической эпохи, соответствующей периоду наиболее длительного роста

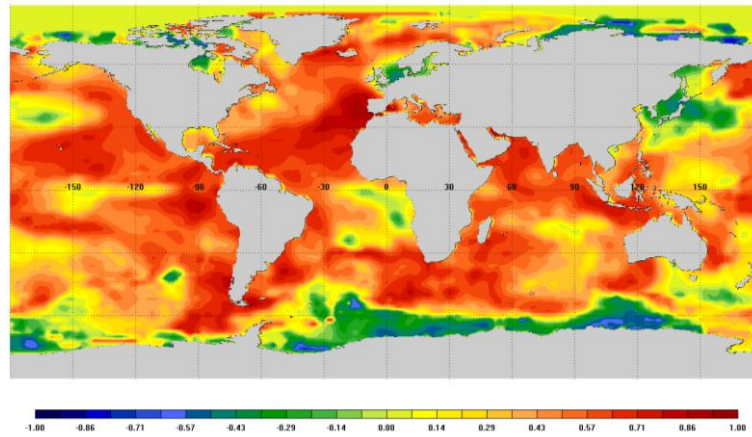


Рис. 1. Карта коэффициентов корреляций *aa*-индекса и ТПО для периода 1910–1944 гг.

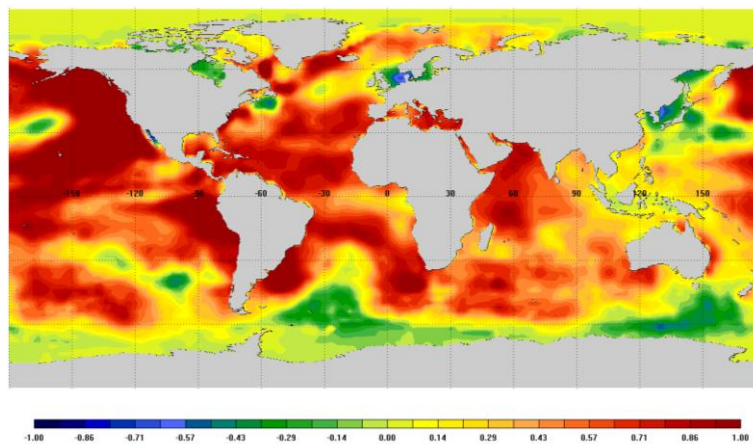


Рис. 2. Разность среднегодовых значений ТПО между периодом высокой (1940–1944 гг.) и самой низкой (1908–1912 гг.) геомагнитной активности.

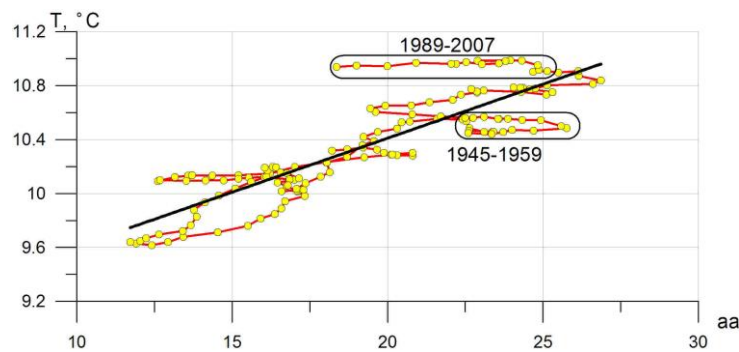


Рис. 3. Диаграмма рассеивания для области Индийского океана (35–55° S; 0–40° E). Проведено сглаживание по одиннадцати годам.

Коэффициенты корреляции между ТПО и *aa*-индексом при различных периодах сглаживания

Географическая область	Годовые	Сглаженные по количеству лет			
		3	5	11	21
60° N–60° S; 0–360°	0.36	0.44	0.51	0.7	0.84
0–60° N; 0–360°	0.33	0.4	0.48	0.67	0.83
0–60° S; 0–360°	0.37	0.45	0.52	0.68	0.79
Индийский океан (30–50° S; 35–110° E)	0.43	0.52	0.6	0.76	0.84
Индийский океан (35–55° S; 0–40° E)	0.52	0.62	0.7	0.87	0.94
Тихий океан (10–30° N; 140–160° W)	0.37	0.49	0.58	0.78	0.91
Атлантический океан (20–40° N; 60–70° W)	0.44	0.55	0.63	0.77	0.88
Атлантический океан (20–50° S; 0–30° W)	0.42	0.52	0.58	0.74	0.84

геомагнитной активности, в конце которой среднегодовые значения геомагнитной активности в минимуме солнечной активности превысили значения в максимуме активности, которые наблюдались в начале эпохи.

Особенностью данного пространственного распределения является то, что отклик ТПО на вариации геомагнитной активности для этой эпохи был положительным практически во всех регионах, т. е. носил глобальный характер. Наиболее отчетливо связь проявляется для Атлантического океана на низких широтах Северного полушария, в Тихом океане наибольший отклик наблюдается в восточной части вдоль берегов Северной и Южной Америки. Для Индийского океана структура отклика неоднородна, значимые значения коэффициентов корреляции отмечаются в приэкваториальной части океана и на средних широтах Южного полушария.

Для изучения пространственных изменений ТПО в 1910–1944 гг., когда положительный отклик на геомагнитную активность носил глобальный характер, была построена карта изменения температуры от периода низкой геомагнитной активности к высокой (рис. 2). Очевидно, что областям наибольших возрастаний температуры соответствуют области максимальных положительных значений коэффициентов корреляции. Это дополнительно подтверждает достоверность и значимость вклада солнечной активности в изменение одного из важнейших компонентов климатической системы – океана.

При анализе степени связи изменений ТПО с вариациями геомагнитной активности было выявлено, что отклик существенно зависит от временного масштаба (см. таблицу). При увеличении периода сглаживания коэффициент корреляции значительно возрастает – от 0.45 до 0.90. Наблюдаемая зависимость обусловлена тем, что большая часть вариаций с временным масштабом меньше пяти лет обусловлена процессами, не связанными с геомагнитной активностью (квазидвухлетние вариации, Эль-Ниньо, Ла-Ниньо, вулканы).

Для изучения особенностей регрессионной связи между ТПО и геомагнитной активностью построена диаграмма рассеяния (рис. 3). На диаграмме выделены периоды, в течение которых изменения ТПО были обусловлены внутренними процессами климатической системы. В 1989–2007 гг. существенное влияние на ТПО оказывало уменьшение площади льда в Арктическом бассейне [Алексеев и др., 2011], а в 1945–1959 гг. – квазистесятилетняя вариация [Кляшторин, Любшин, 2005]. Это еще раз указывает на то, что степень связи отклика ТПО на геомагнитную активность существенно зависит от процессов, природа которых не имеет прямого отношения к солнечной активности.

Заключение

На основе данных наблюдений проведен анализ связи долговременных изменений ТПО и геомагнитной активности. Показано, что ТПО коррелирует с геомагнитной активностью, при этом степень связи существенно зависит от временного масштаба.

Отклик ТПО на воздействие геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью и носит региональный характер. Региональность климатического отклика при глобальном воздействии долговременных вариаций солнечной активности обусловлена влиянием циркуляционных процессов в поверхностном слое океана и в атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Харлаенкова Н.Е. Климатические изменения в морской Арктике в начале XXI века // Метеоролог. и геофиз. исслед. М.: Paulsen, 2011. С. 6–28.

Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1971. 280 с.

Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2005. № 12. С. 1042–1050.

Жеребцов Г.А., Коваленко В.А. Влияние солнечной активности на погодно-климатические характеристики тропосферы // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 98–106.

Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана // Изв. Иркутского государственного университета. Сер. «Науки о Земле». 2013. Т. 6, № 1. С. 61–79.

Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 2001. 350 с.

Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. 235 с.

De Jager C., Duhau S. The variable solar dynamo and the forecast of solar activity: Influence on terrestrial surface temperature global warming in the 21st century // Global Warming in the 21th Century. 2011. Ch. 3. P. 77–106.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия