

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ЦИРКУЛЯЦИИ ОКЕАНА И ЛЬДА СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА К ВАРИАЦИЯМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Геннадий Алексеевич Платов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (913)926-74-91, e-mail: Platov.G@gmail.com

Анализируются результаты серии численных экспериментов направленных на изучение чувствительности арктической системы океан-лед к вариациям солнечного излучения. Целью является понимание того, как элементы солнечно-земной геометрии и астрономии влияют на морской лед и характеристики верхнего океана. Интенсивность солнечного излучения является ключевым фактором, определяющим климатическую систему, и поэтому должна быть описана наиболее точно. Интенсивность зависит от расстояния между Солнцем и Землей, изменение которого имеет сезонный характер из-за эллиптичности орбиты. Однако не ясно насколько эти вариации являются важными при сравнении с другими факторами. Изучается также влияние несферичности формы Земли, прецессии и нутации оси вращения Земли и межгодовые вариации солнечной активности.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Арктика, численное моделирование, инсоляция, солнечная активность, физика океана.

SENSITIVITY ASSESSMENT OF THE OCEAN-ICE CIRCULATION MODEL OF THE NORTH ATLANTIC AND THE ARCTIC OCEAN TO VARIATIONS IN SOLAR RADIATION

Gennady A. Platov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, D. Sc., Leading Scientist, tel. (913)926-74-91, e-mail: Platov.G@gmail.com

The results of a set of numerical experiments to study a sensitivity of the Arctic ice-ocean system to variation of solar radiation are examined. The aim is to understand how the aspects of Sun-Earth geometry and astronomy could affect sea ice and characteristics of the upper ocean. The intensity of solar radiation is the key factor driving the climate system and should be described most accurately. It depends on the distance between Sun and Earth, which varies seasonally because of ellipsoidal orbit, but it is not clear whether this variation is important comparing to other forcings. Non-sphericity of the Earth surface, precession and nutations of the Earth axis and interannual variations of Solar activity are also examined.

Key words: Arctic ocean, numerical modeling, insolation, solar activity, ocean physics.

Согласно рекомендациям проекта АОМIP, учет солнечной радиации достигающей поверхности океана при отсутствии атмосферы осуществляется в предположении постоянства солнечной активности, эллиптичности орбиты Земли, сферичности ее поверхности и постоянства наклона оси вращения. Полученный таким образом поток солнечной радиации модифицируется

в зависимости от времени суток и времени года, широты и долготы местности, после чего с помощью параметрических формул оценивается влияние атмосферной влажности и облачности. В данной работе изучается вопрос о том, насколько такие допущения обоснованы и применимы при моделировании циркуляции океана и льда Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики.

Описание модели

При проведении численных экспериментов использовалась совместная модель океана и льда Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики, подробное описание которой можно найти в предыдущих работах [1, 2]. В качестве атмосферного форсинга использовался результат реанализа CORE-2. Расчетный период составляет 68 лет с 1948 по 2015 гг.

Численные эксперименты

Эллиптичность орбиты и эллипсоидность Земли. Орбита Земли близка к окружности радиусом около 150 млн. км, однако вследствие эллиптичности в январе Земля оказывается на 5 млн. км ближе к Солнцу, чем в июле. Благодаря этому, контрасты зимних и летних температур в Южном полушарии больше, чем в Северном. На рис. 1 представлены полученные в ходе численных экспериментов отклонения адвективного потока тепла в Арктику через различные проливы, возникшие вследствие учета эллиптичности орбиты и эллипсоидности Земли. Видно, что отклонения могут достигать значительных, до 2 300 ТВт, значений. Это приводит к локальным изменениям температуры воды в Северном Ледовитом океане до $1-2^{\circ}$ в слое атлантических вод. При этом дополнительный поток тепла в Арктику в среднем составляет 507 ТВт, что в некоторой степени компенсирует недостаток солнечного тепла, возникающий вследствие эллиптичности орбиты и эллипсоидности формы Земли. Этот недостаток проявляется в том, что сформировавшийся в Арктике в течение зимы лед тает летом в меньших количествах и поэтому его экспорт в Атлантику увеличивается в среднем на величину $0,7 \text{ км}^3/\text{день}$, при том, что абсолютная величина экспорта льда составляет в среднем $10,3 \text{ км}^3/\text{день}$. Наиболее активно избыточный лед выносится через пролив Фрама.

Прецессии и нутации земной оси. Ось вращения Земли постоянно испытывает изменения, связанные с прецессиями и нутациями, наиболее важной компонентой которых является изменение ее наклона. Прецессии земной оси имеют период около 26 тыс. лет, в течение которого наклон оси испытывает колебание с амплитудой примерно 1° . Моделируемый период составляет около 0,003 от данного периода, что приводит к изменению наклона оси примерно на $10''$. Нутации являются более короткопериодными. Наиболее существенная из них имеет периодичность 18,6 лет с амплитудой $9.2''$, так что в течение моделируемого времени происходит около 4 колебаний. Однако отклик системы океан-лед оказался менее существенным по сравнению

с предыдущим экспериментом. Так дополнительный приток тепла в Арктику при учете прецессии составил в среднем 56 ТВт, а при учете нутаций 6,9 ТВт, что на 1–2 порядка меньше, чем при учете эллиптичности. Скорость экспорта льда при этом в первом случае уменьшается в среднем на 0,015 км³/день, а во втором незначительно увеличивается на 0,004 км³/день. Наибольшие аномалии температуры в атлантическом слое не превосходят 0,5°.

Изменчивость солнечной активности. Изменения солнечной активности связано с количеством черных пятен на поверхности Солнца. Колебания происходят с периодом 10–12 лет, в течение которых интенсивность солнечного излучения на расстоянии радиуса земной орбиты изменяется в пределах ± 1 Вт/м, что составляет не более $\pm 0,1$ %. Тот факт, что эти колебания не имеют устойчивого периода и непостоянны по амплитуде, не позволяет уверенно прогнозировать поток солнечной радиации в будущем. Моделируемый период охватывает 7 максимумов солнечной активности, наиболее сильным из которых, по наблюдениям, был максимум 1958–1960 гг. Отклик системы океан-лед, как и в предыдущем случае, оказался несущественным. Из рис. 2 видно, что наиболее сильными последствия были в 2000 году, однако и тогда величина недополученного Арктикой атлантического тепла составляла 400 ТВт, а в среднем эта величина составила 68 ТВт. Скорость экспорта льда в этом году также достигала максимального значения 0,1 км³/день, а в среднем составила 0,011 км³/день.

Обсуждение и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что из рассмотренных факторов наиболее существенную роль играет учет эллиптичности орбиты и эллипсоидности Земли. Эти геометрические особенности могут быть легко учтены, поскольку носят постоянный характер. Однако их учет, по той же самой причине, не имеет никакого влияния на формирование климатических изменений. Учет же долгопериодной прецессии мог бы оказать определенное влияние в силу того, что в течение больших промежутков времени его действие носит однонаправленный характер. Однако, как показали результаты, изменения климата, имевшие место последние десятилетия, вряд ли с этим связаны поскольку, отклик системы в течение данного промежутка времени оказался незначительным. Столь же незначительным оказался и отклик на изменения солнечной активности. Однако, делать вывод относительно несущественности этого фактора кажется преждевременным. В работе [3] исследовались собственные колебания климатической системы Земли и даже при условии постоянства солнечной активности было обнаружено колебание с периодом 10–11 лет. Поскольку данный период совпадает с периодом солнечной активности, можно ожидать проявления резонанса. Однако, для изучения этого вопроса модель системы «океан – лед» недостаточна. Как мини-

мум, требуется активное включение атмосферной компоненты климатической системы.

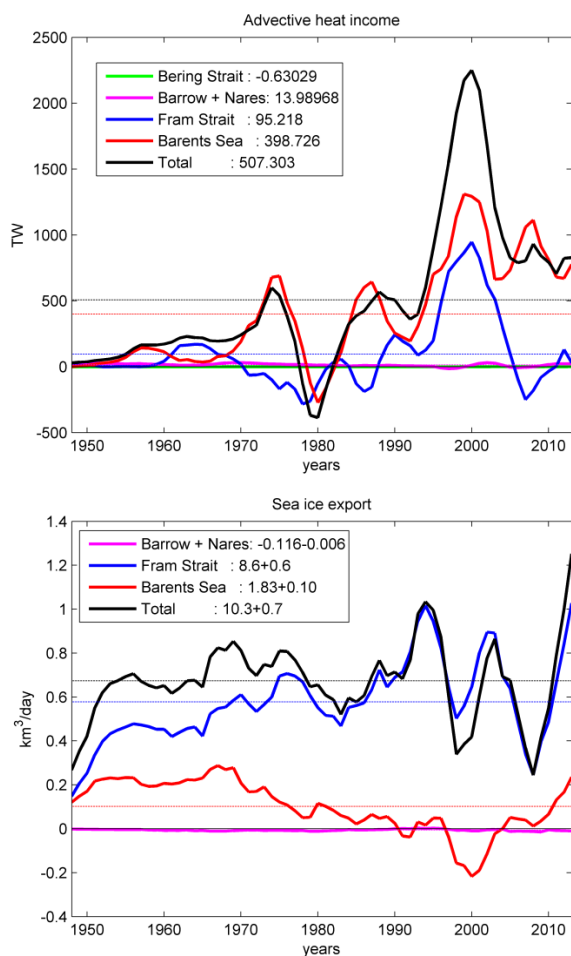


Рис. 1. Временной ход отклонений адвективного притока тепла в Арктику (верхний рисунок, ТВт) и экспорта льда в Атлантику (нижний рисунок, км³/день), вследствие эллиптичности орбиты и эллипсоидности Земли

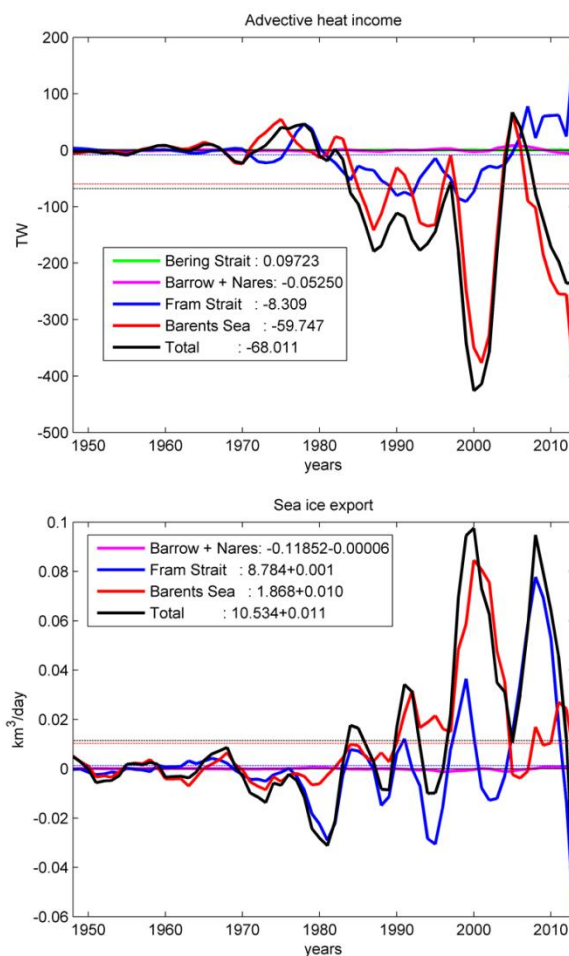


Рис. 2. Временной ход отклонений адвективного притока тепла в Арктику (верхний рисунок, ТВт) и экспорта льда в Атлантику (нижний рисунок, км³/день), вызванных изменчивостью солнечной активности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Golubeva E. N., Platov G. A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. – 2007. – V. 112. – C04S05. doi:10.1029/2006JC003734
2. Голубева Е. Н., Платов Г. А., Численное моделирование отклика арктической системы океан-лед на вариации атмосферной циркуляции 1948–2007 гг // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 145–160.
3. Dukhovskoy D., Johnson M., Proshutinsky A. Arctic decadal variability from an idealized atmosphere-ice-ocean model: 2. Simulation of decadal oscillations // J. Geophys. Res. Oceans. – 2006. – V. 111. – C06029. doi:10.1029/2004JC002820

© Г. А. Платов, 2017