

Оценка влияния вариации растительности Северного полушария на динамику температуры и влажности в XXI веке*

Ю. В. МАРТЫНОВА

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: FoxyJ13@yandex.ru

This paper addresses an investigation of the feedback between the average forest vegetation quantity, the land cover temperature and soil wetness. We also study the feedback between surface albedo and land cover temperature, and soil wetness due to a variation of the CO₂ concentration according to IPCC scenarios A1B and A2. The purpose of this study is an estimation of the sensitivity of the surface temperature and soil wetness to the forest vegetation and surface albedo variations in the Northern Hemisphere. Investigations have been carried out using the climate system model atmosphere—ocean—sea ice—land cover (PlanetSimulator MPI, Germany) using the specified climate scenarios.

Введение

Установлено, что увеличение концентрации CO₂ влечет за собой повышение средней температуры в тропосфере и, как следствие, изменение климата в целом, что в свою очередь вызывает изменения в распределении растительных типов и в их структуре. Температура выступает в качестве основного регулятора распределения растительности, которая входит в состав биосферы наряду с приземным слоем, почвой, гидросферой. Биосфера оказывает заметное влияние на атмосферу через механизмы обмена энергией, влагой, моментом, парниковыми газами и аэрозолем. Глобальное изменение климата приводит к изменениям в составе и структуре биосферы поверхности [1], поэтому необходимо проведение исследований обратных связей между наземной растительностью, климатом и изменением концентрации атмосферного CO₂ [2]. В определении итогового распределения растительности играют роль и степень, и знак (отрицательный или положительный), и географическое распределение обратных связей между растительностью и климатом [3, 4].

При моделировании климата XXI столетия рассматриваются различные сценарии динамики концентрации парниковых газов в атмосфере, обусловленной хозяйственной деятельностью. Данная работа посвящена исследованию обратных связей между средним количеством лесной растительности, температурой подстилающей поверхности и

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-05-64989).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2008.

влажностью почвы, а также между альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы на фоне изменения концентрации CO_2 согласно сценариям ИРСС А1В и А2. Исследовалось изменение среднего количества лесной растительности и среднего для рассматриваемой территории альбедо в Северном полушарии в зависимости от используемого сценария. Исследования осуществлялись при помощи модели климатической системы атмосфера–океан–морской лед–поверхность суши [5] на основе результатов моделирования по сценариям А2 и А1В в соответствии с классификацией, предложенной Межправительственной группой экспертов по изменению климата [6].

1. Описание численного эксперимента

Исследования выполнялись в два этапа: изучалось среднее количество лесной растительности и среднее альбедо поверхности в зависимости от выбранных сценариев ИРСС; определялись коэффициенты обратных связей между обозначенными выше величинами.

Среднее количество лесной растительности и среднее альбедо поверхности. Изменение концентрации CO_2 имеет прямое влияние на количество растительности. Прежде чем исследовать обратные связи, необходимо рассмотреть прямое влияние изменения температуры и влажности почвы на количество лесной растительности. При изменении концентрации CO_2 происходит изменение температуры подстилающей поверхности и влажности почвы (другие параметры не рассматриваются), что вызывает изменение среднего количества лесной растительности и, как следствие, изменение альбедо поверхности.

При использовании климатических сценариев ИРСС А1В и А2 (рис. 1) и при помощи модели климатической системы атмосфера–океан–морской лед–поверхность суши [5] осуществлены расчеты среднего количества лесной растительности, приходящегося на ячейку сетки, альбедо и температуры подстилающей поверхности, влажности почвы за 230 лет (1876–2105 гг.) на сетке с горизонтальным разрешением $5 \times 5^\circ$. На этой же сетке и за такой же период времени сделан Control-расчет, в течение которого концентрация

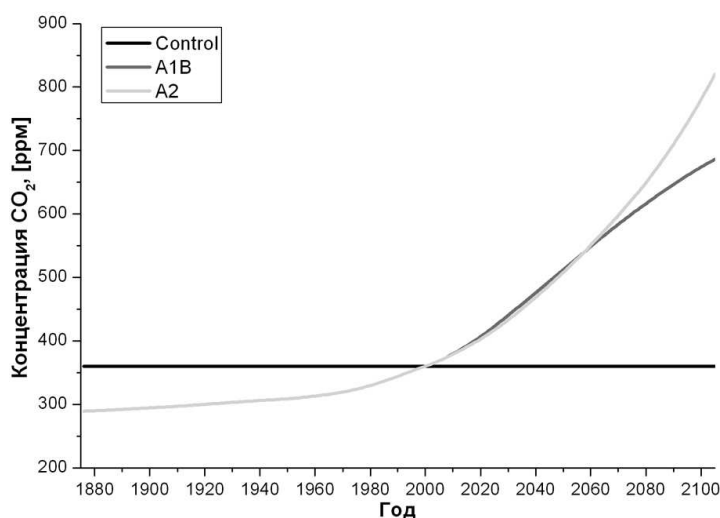


Рис. 1. Рост концентрации CO_2 (ppm) с 1876 до 2105 г.

CO₂ была постоянной и составляла 360 ppm, что характерно для 2000 г. Вся рассматриваемая территория Северного полушария разбита на шесть областей: Европа, европейская часть России, Западная Сибирь, Средняя Сибирь, Восточная Сибирь и Северная Америка. Каждая из этих областей разбита на две подобласти: северную и южную. Исключение составляет только Европа, которая разбита на три подобласти: северную, западную и восточную, так как западная и восточная подобласти имеют различную удаленность от океана, что может существенно влиять на климат этих территорий. Выделение северных и южных подобластей в рассматриваемых областях обусловлено тем, что количество лесной растительности и альbedo поверхности этих подобластей значительно различается, поэтому рассматривать отдельно северную и южную подобласти будет намного корректнее, чем всю область в целом.

Далее были определены среднегодовые значения рассматриваемых величин для каждого рассчитанного года, каждого климатического сценария, в том числе и для Control-расчета, после чего сделано их территориальное осреднение по каждой из выделенных подобластей.

Определение коэффициента обратной связи. На основе описанных выше расчетов, а также некоторых дополнительных расчетов, о которых будет сказано ниже, вычислялись коэффициент обратной связи между параметром x и температурой подстилающей поверхности и коэффициент обратной связи между параметром x и влажностью почвы:

$$\nu_{x,T_s} = -\frac{dR}{dx} \frac{dx}{dT_s}, \quad \nu_{x,q_s} = -\frac{dR}{dx} \frac{dx}{dq_s}. \quad (1)$$

Здесь R — баланс длинноволновой радиации; T_s — температура подстилающей поверхности; q_s — влажность почвы; x — параметр, в качестве которого в данной работе использовались альbedo поверхности и среднее количество лесной растительности, приходящееся на ячейку сетки; ν_{x,T_s} и ν_{x,q_s} — коэффициенты обратной связи между параметром x и температурой подстилающей поверхности T_s и влажностью почвы q_s соответственно.

Далее приводится схема, по которой вычислялась каждая из производных в (1).

Для определения производной $\frac{dR}{dx}$ выполнены два дополнительных расчета:

— в начальный момент времени t_0 в поле альbedo поверхности или распределение среднего количества лесной растительности (параметр x увеличивается на 0.01) было внесено возмущение Δx и делался расчет на несколько лет;

— делался расчет для такой же продолжительности (начиная с момента времени t_0), как и в первом случае, но без каких-либо искусственно внесенных возмущений.

По результатам дополнительных расчетов для каждой точки широтно-долготной сетки определялся момент времени t_k , в который баланс радиации R из первого дополнительного расчета максимально отличается от баланса радиации R из второго дополнительного расчета. Производную $\frac{dR}{dx}$ вычисляли следующим образом:

$$\frac{dR}{dx} = \frac{R_{\text{force}}(t_k) - R(t_k)}{\Delta x}, \quad (2)$$

где $R_{\text{force}}(t_k)$ и $R(t_k)$ — радиационные балансы в момент времени t_k из первого и второго дополнительных расчетов соответственно. Затем полученную $\frac{dR}{dx}$ осредняли по долготам.

Производные $\frac{dx}{dT_s}$ и $\frac{dx}{dq_s}$ определяли с использованием только второго дополнительного расчета следующим образом:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dT_s} &= \frac{\bar{x}^{(t_1+\delta)} - \bar{x}^{(t_0+\delta)}}{\bar{T}_s^{(t_1+\delta)} - \bar{T}_s^{(t_0+\delta)}}, \\ \frac{dx}{dq_s} &= \frac{\bar{x}^{(t_1+\delta)} - \bar{x}^{(t_0+\delta)}}{\bar{q}_s^{(t_1+\delta)} - \bar{q}_s^{(t_0+\delta)}}.\end{aligned}\quad (3)$$

Здесь

$$\begin{aligned}\bar{x}^{(t_1+\delta)} &= \frac{1}{\delta} \int_{t_1}^{t_1+\delta} x(\tau) d\tau \approx \sum_{t_1}^{t_1+\delta}, \\ \bar{x}^{(t_0+\delta)} &= \frac{1}{\delta} \int_{t_0}^{t_0+\delta} x(\tau) d\tau \approx \sum_{t_0}^{t_0+\delta};\end{aligned}\quad (4)$$

δ — временной интервал, на протяжении которого имеются данные о состоянии параметра x , температуры подстилающей поверхности T_s и влажности почвы q_s ; \bar{x} — среднее значение x на интервале δ . Затем полученные $\frac{dx}{dT_s}$ и $\frac{dx}{dq_s}$ осредняли по долготам. После покомпонентного перемножения полученных векторов $\frac{dR}{dx}$ и $\frac{dx}{dT_s}$, а также $\frac{dR}{dx}$ и $\frac{dx}{dq_s}$ рассчитывали значения коэффициентов обратной связи ν_{x,T_s} и ν_{x,q_s} в зависимости от широты.

2. Результаты

В процессе анализа полученных результатов весь расчетный период разбили на два интервала: до и после 2000 г. До 2000 г. концентрация CO_2 увеличивалась очень медленно, но затем скорость ее роста значительно возросла (рис. 1).

Анализ полученных результатов показывает, что для северных частей почти всех рассматриваемых территорий, за исключением Европы, в период до 2000 г. среднее количество лесной растительности постепенно сокращается, а после 2000 г. увеличивается с различной скоростью.

Различие в характере изменения среднего количества лесной растительности в северной части Европы и в северных частях всех остальных исследуемых областей можно объяснить более благоприятным для роста лесной растительности сочетанием средней температуры и влажности, характерным для северной части Европы по сравнению с остальными территориями. Мягкий климат образуется преимущественно под влиянием теплого течения Гольфстрим, омывающего эту территорию с севера. Для южных частей территорий не наблюдается какой-либо однозначной тенденции изменения среднего количества лесной растительности. Однако для южных частей территорий Западной Сибири, Средней Сибири, Восточной Сибири прослеживается такая же тенденция, как и для северных. Для южных частей остальных территорий (западная и восточная части Европы, европейская часть России, Северная Америка) наблюдается рост среднего количества лесной растительности в течение всего расчетного периода. Скорость

изменения среднего количества лесной растительности различна для каждой территории и каждого климатического сценария. Важно отметить, что при использовании в расчетах более агрессивного климатического сценария А2 скорость изменения среднего количества лесной растительности больше, чем при использовании сценария А1В при Control-расчете (рис. 2).

Тенденции изменения альbedo поверхности противоположны тенденциям изменения среднего количества лесной растительности для всех рассматриваемых территорий, т. е. до 2000 г. наблюдается увеличение среднего по территории альbedo поверхности, а затем — его уменьшение. Тенденции изменения температуры подстилающей поверхности и влажности почвы в течение расчетного периода полностью повторяют тенденции изменения среднего количества лесной растительности.

По полученным коэффициентам обратной связи между средним количеством лесной растительности, альbedo поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы нельзя установить какой-либо общей тенденции зависимости их от широты. При анализе выявлено, что значения ν_{x,T_s} , полученные из сценарных расчетов, по модулю существенно отличаются от ν_{x,T_s} из Control-расчета, при этом различие

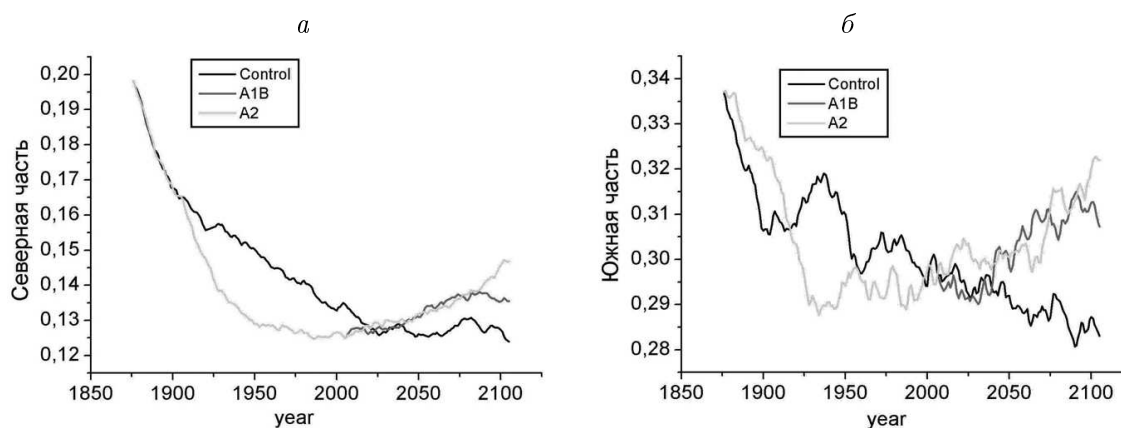


Рис. 2. Среднее количество лесной растительности, приходящееся на ячейку сетки для Западной Сибири: *a* — северная часть, *б* — южная часть

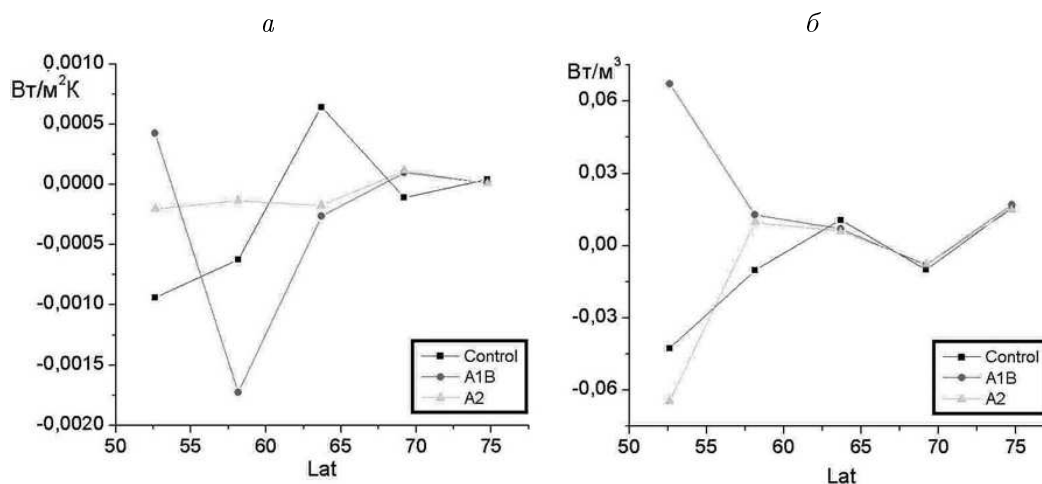


Рис. 3. Коэффициенты обратной связи для Западной Сибири: *a* — ν_{x,T_s} ; *б* — ν_{x,T_s} ; x — среднее количество лесной растительности, приходящееся на ячейку сетки

между ν_{x,T_s} из сценарных расчетов (A1B и A2) на порядок меньше (рис. 3). Необходимо также отметить, что ν_{x,q_s} , полученные на основе Control- и сценарных расчетов, различаются гораздо меньше, чем в случае с ν_{x,T_s} (рис. 3). Таким образом, можно сделать вывод, что интенсивный рост концентрации CO₂ значительно влияет на величину обратных связей и это влияние наиболее сильно отражается на ν_{x,T_s} .

Заключение

Анализ результатов проведенных исследований показывает наличие как прямой, так и обратной связи между средним количеством лесной растительности, альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы. Прослеживаются четкие тенденции в изменении со временем всех перечисленных параметров. Для рассматриваемых климатических сценариев и Control-расчета скорость указанных изменений различна. При использовании в расчетах более агрессивного климатического сценария A2 наблюдаемая скорость изменений больше, чем при использовании сценария A1B и при Control-расчете.

В зависимостях коэффициента обратных связей от широты не наблюдается какой-либо общей тенденции. Отличие в значениях ν_{x,T_s} между Control- и сценарными расчетами A1B, A2 более сильное, чем в значениях ν_{x,q_s} между этими же расчетами, при этом для большинства территорий знак ν_{x,T_s} и ν_{x,q_s} изменяется. Разница в значениях коэффициентов обратных связей между расчетами A1B и A2 для основной части рассматриваемых территорий мала в сравнении с разницей в значениях между Control- и любым из сценарных расчетов (A1B или A2).

Естественно, нельзя считать, что полученные в этой работе результаты полностью разрешили проблему исследования обратных связей, поскольку рассматривались взаимосвязи слишком ограниченного числа параметров.

Список литературы

- [1] Крупчатников В.Н. Моделирование глобального распределения функциональных типов растительности с помощью модели динамики климата: сценарий A2 // Вычисл. технологии. 2006. Т. 11. Спецвыпуск. Ч. 3. С. 87–95.
- [2] WOODWARD F.I., LOMAS M.R., BETTS R.A. Vegetation-climate feedbacks in a greenhouse world // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1998. N 353B. P. 29–39.
- [3] BONAN G.B., POLLARD D., THOMPSON S.L. Effects of boreal forest vegetation on global climate // Nature. 1992. N 359. P. 716–718.
- [4] FOLEY J.A., KUTZBACH J.E., COE M.T., LEVIS S. Feedbacks between climate and boreal forests during the holocene epoch // Nature. 1994. N 371. P. 52–54.
- [5] FRAEDRICH K., JANSEN H. ET AL. The Planet Simulator: Towards a user friendly model // Meteorol. Z. 2005. Vol 14. N 3. P. 299–304.
- [6] IPCC: 2007. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Поступила в редакцию 21 февраля 2008 г.