Российская Академия Наук
Сибирское отделение

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ

УДК

УТВЕРЖДАЮ

Директор,

Член кор.

_____Б.Г. Михайленко

«____» _____ 2007 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Оценка влияния вариации растительности северного полушария на динамику температуры и влажности в 21 веке

Государственный контракт № 02.517.11.9011
в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы

Научный руководитель,

_____ Мартынова Ю.В.
подпись, дата

Новосибирск 2007

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель	_____ подпись, дата	Мартынова Ю.В. (раздел(ы) 1, 2)
Исполнители темы		
	_____ подпись, дата	Мартынова Ю.В. (раздел(ы) 1, 2)

РЕФЕРАТ

Отчет 21 с., 2 ч., 1 рис., 3 источника, 1 прил.

Климат, изменение климата, климатические сценарии, обратная связь, коэффициент обратной связи.

Даная работа посвящена исследованию обратных связей между средним количеством лесной растительности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы, а также обратных связей между альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы на фоне изменения концентрации CO_2 согласно сценариям IPCC A1B и A2. Целью работы заключается в оценке чувствительности температуры и влажности поверхности к вариациям распределения растительности и альбедо поверхности северного полушария. Исследования проводились при помощи модели климатической системы «атмосфера – океан – морской лед – поверхность суши» (PlanetSimulator MPI, Germany) при использовании указанных климатических сценариев. Полученные результаты были представлены в виде графиков с подробными комментариями к ним. Данная работа может быть интересна с точки зрения исследований глобального изменения климата, выявления прямых и обратных связей между происходящими природными процессами на фоне роста концентрации CO_2.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение **7**

1. Описание численного эксперимента **8**

1.1. Среднее количество лесной растительности и среднее альбедо поверхности в зависимости от сценариев IPCC ***8***

1.2. Определение коэффициента обратной связи ***9***

2. Результаты **11**

Заключение **13**

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Подстилающая поверхность – поверхность Земли как геосферы, т.е. океаническая поверхность и поверхность материков.

Альбедо поверхности – характеристика отражательной способности поверхности.

Влажность почвы – запас воды в почве.

Control-расчет – расчет, в котором концентрация CO_2 была постоянной в течение всего расчетного периода и составляла 360 ppm.

Доиндустриальный период – период расчетного времени до 2000 года.

Постиндустриальный период – период расчетного времени после 2000 года.

Баланс радиации – разность между падающей и испускаемой радиацией.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие Обозначения и сокращения:

R - баланс длинноволновой радиации, Вт/м^2

T_s - температура подстилающей поверхности, К

q_s - влажность почвы, м

x - параметр, в качестве которого в данной работе использовались альбедо поверхности и среднее количество лесной растительности приходящееся на ячейку сетки

n_{x,T_s} - коэффициент обратной связи между параметром x и температурой подстилающей поверхности T_s, Вт/(м^{2}К)

n_{x,q_s} - коэффициент обратной связи между параметром x и влажностью почвы q_s, Вт/(м^3)

t_0 - начальный момент времени

t_k - момент времени, в который баланс радиации R из 1-го дополнительного расчета максимально отличается от баланса радиации R из 2-го дополнительного расчета

Δx - возмущение в поле альбедо поверхности или распределение среднего количества лесной растительности (параметр x увеличивается на 0.01)

$R_{force}(t_k)$ - радиационный баланс в момент времени t_k из 1-го дополнительного расчета

$R(t_k)$ - радиационный баланс в момент времени t_k из 2-го дополнительного расчета

d – временной интервал, на протяжении которого имеются данные о состоянии параметра x

$\overline{x}$ - среднее значение x на интервале d

ВВЕДЕНИЕ

Водяной пар – является основным парниковым газом. Поскольку концентрации других парниковых газов, особенно углекислого газа и метана, растет (главным образом из-за хозяйственной деятельности мирового сообщества), то для понимания возможных изменений климата в будущем, важно знать, какое влияние это окажет на распределение водяного пара, в какой степени содержание водяного пара будет увеличиваться при увеличении средней глобальной температуры и произойдет ли при этом усиление эффекта других парниковых газов. Современные модели климата указывают на то, что такая положительная обратная связь существует, и она указывает на увеличение чувствительности поверхностной температуры к углекислому газу, если пренебречь другими обратными связями. Как изменится чувствительность, если учитывать и другие обратные связи (например, термохалинная циркуляция в Атлантике, биосфера поверхности и т.д.)? Можно сказать точно, что благодаря механизмам этих обратных связей между растительностью и климатом атмосферы, климат и гидрология поверхности вносят значительный вклад в изменчивость глобального климата атмосферы. К сожалению, все еще остаются неопределенности в понимании этих механизмов и степени их влияния. В настоящее время делаются попытки их устранить в рамках программ международных сравнительных экспериментов по моделированию климата и его изменчивости при различных сценариях динамики парниковых газов.

Установлено, что увеличение концентрации CO_2 влечет за собой повышение температуры в глобальных масштабах, что в свою очередь влечет изменение в распределении растительных типов и их структуре. Температура выступает в качестве основного регулятора распределения растительности. Проводятся исследования обратных связей между наземной растительностью, климатом и изменением концентрации атмосферного CO_2 (Woodward и др. 1998), т.к. в определении итогового распределения растительности играют роль и степень, и знак (отрицательный или положительный), и географическое распределение обратных связей между растительностью и климатом (Bonan и др. 1992, Foley и др. 1994).

При моделировании климата 21 столетия, рассматриваются различные сценарии динамики концентрации парниковых газов в атмосфере, обусловленной хозяйственной деятельностью. Даная работа посвящена исследованию обратных связей между средним количеством лесной растительности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы, а также обратных связей между альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы на фоне изменения концентрации CO_2 согласно сценариям IPCC A1B и A2. В дополнение рассматривается изменение среднего количества лесной растительности и среднего, по рассматриваемой территории, альбедо северного полушария в зависимости от рассматриваемых сценариев. Исследования осуществлялись при помощи модели климатической системы «атмосфера – океан – морской лед – поверхность суши» (PlanetSimulator MPI, Germany) на основе результатов моделирования по сценариям A2 и A1B в соответствии с классификацией, предложенной Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, http://www.ipcc.ch/).

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 05-05-64989)

1. ОПИСАНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

1.1. Среднее количество лесной растительности и среднее альбедо поверхности в зависимости от сценариев IPCC

Изменение концентрации CO_2 имеет прямое влияние на количество растительности. Прежде чем рассматривать обратные связи между средним количеством лесной растительности, альбедо и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы, необходимо рассмотреть прямое влияние указанных величин. При изменении концентрации CO_2 согласно климатическим сценариям IPCC A1B и A2 происходит изменение температуры подстилающей поверхности и влажности почвы (изменение остальных параметров не рассматривается), что, в свою очередь, влечет изменение среднего количества лесной растительности и, как следствие, изменение альбедо поверхности.

Используя указанные выше климатические сценарии A1B и A2 (рис.1.1) и при помощи модели климатической системы «атмосфера – океан – морской лед – поверхность суши» PlanetSimulator были осуществлены расчеты среднего количества лесной растительности приходящегося на ячейку сетки, альбедо и температуры подстилающей поверхности, влажности почвы за 230 лет (соответствует 1876 – 2105 гг.) на сетке с горизонтальным разрешением 5^ox5^o. Также на этой же сетке и за такой же период времени был сделан Control-расчет, т.е. расчет, в течение которого концентрация CO_2 была постоянной и составляла 360 ppm, что характерно для 2000 г.

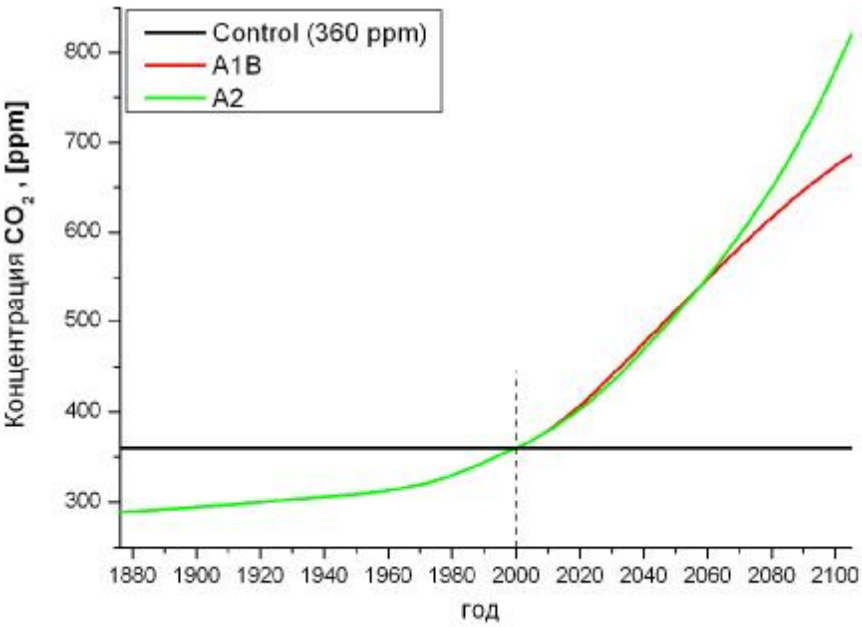


Рис.1.1

Вся рассматриваемая территория северного полушария была разбита на 6 областей: Европа, европейская часть России, Западная Сибирь, Средняя Сибирь, Восточная Сибирь и Северная Америка. Каждая из этих областей была разбита на 2 подобласти: северную и южную. Исключение составляет только Европа, которая была разбита на 3 подобласти: северную, западную и восточную. В Европе были выделены 3 подобласти т.к. 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 было обусловлено тем, что количество лесной растительности и альбедо поверхности этих подобластей значительно отличается друг от друга; поэтому рассматривать отдельно северную и южную подобласти будет намного корректнее, чем рассматривать всю область в целом.

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

Результаты представлены в виде графиков зависимости среднегодовых среднетерриториальных значений рассматриваемых величин от времени (от года). Полученные результаты будут представлены и обсуждены в разделе 2.

1.2. Определение коэффициента обратной связи

Коэффициент обратной связи определялся для двух периодов: доиндустриального и постиндустриального. Вычисление коэффициента обратной связи отдельно для каждого периода обусловлено тем, что в доиндустриальном периоде (до 2000 г.) концентрация CO_2 была достаточно низкой и одинаковой для климатических сценариев A1B и A2, при этом рост концентрации CO_2 в этот период был очень медленный; а в постиндустриальном периоде (после 2000 г.) концентрация CO_2 стала резко расти, при этом скорость роста для каждого рассматриваемого сценария была разной (рис.1.1).

На основе расчетов описанных в разделе 1.1, а также некоторых дополнительных расчетов, о которых будет сказано далее, осуществлялось вычисление коэффициента обратной связи между параметром ***x*** и температурой подстилающей поверхности

$$n_{x,T_s} = -\frac{\partial R}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial T_s} \qquad (1.1)$$

и коэффициента обратной связи между параметром ***x*** и влажностью почвы

$$n_{x,q_s} = -\frac{\partial R}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial q_s}. \qquad (1.2)$$

Здесь R - баланс длинноволновой радиации, T_s - температура подстилающей поверхности, q_s - влажность почвы, x - параметр, в качестве которого в данной работе использовались альбедо поверхности и среднее количество лесной растительности приходящееся на ячейку сетки, n_{x,T_s} и n_{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, входящих в формулы (1.1) и (1.2).

Для определения производной $\frac{\partial R}{\partial x}$ осуществлялись два дополнительных расчета:

1) в начальный момент времени t_0 вносится возмущение Δx в поле альбедо поверхности или распределение среднего количества лесной растительности (параметр x увеличивается на 0.01) и делается расчет на несколько лет;

2) делается расчет такой же продолжительности (начиная с момента времени t_0), как и в первом случае, но на этот раз без каких-либо искусственно внесенных возмущений.

По результатам 1-го и 2-го дополнительных расчетов определяется момент времени t_k, в который баланс радиации R из 1-го дополнительного расчета максимально отличается от баланса радиации R из 2-го дополнительного расчета. Далее вычисление производной $\frac{\partial R}{\partial x}$ происходит следующим образом:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \frac{R_{force}(t_k) - R(t_k)}{\Delta x}, \qquad (1.3)$$

где $R_{force}(t_k)$ и $R(t_k)$ - радиационные балансы в момент времени t_k из 1-го и 2-го дополнительных расчетов, соответственно. Затем осуществляется осреднение полученной $\frac{\partial R}{\partial x}$ по долготам.

Определения производных $\frac{\partial x}{\partial T_s}$ и $\frac{\partial x}{\partial q_s}$ осуществлялось, используя только 2-й дополнительный расчет, описанный в этом разделе, следующим образом:

$$\frac{\partial x}{\partial T_s} = (\overline{x}^{(t1+d)} - \overline{x}^{(t0+d)}) / (\overline{T}_s^{(t1+d)} - \overline{T}_s^{(t0+d)}) \quad (1.4)$$

и

$$\frac{\partial x}{\partial q_s} = (\overline{x}^{(t1+d)} - \overline{x}^{(t0+d)}) / (\overline{q}_s^{(t1+d)} - \overline{q}_s^{(t0+d)}), \quad (1.5)$$

где

$$\overline{x}^{(t1+d)} = \frac{1}{d} \int_{t1}^{t1+d} x(t)dt \approx \sum_{t1}^{t1+d} x_i, \quad (1.6)$$

$$\overline{x}^{(t0+d)} = \frac{1}{d} \int_{t0}^{t0+d} x(t)dt \approx \sum_{t0}^{t0+d} x_i \quad (1.7)$$

d – временной интервал, на протяжении которого имеются данные о состоянии параметра x, температуры подстилающей поверхности T_s и влажности почвы q_s, $\overline{x}$ - среднее значение x на интервале d. Затем также осуществляется осреднение полученных $\frac{\partial x}{\partial T_s}$ и $\frac{\partial x}{\partial q_s}$ по долготам.

После покомпонентного перемножения полученных векторов $\frac{\partial R}{\partial x}$ и $\frac{\partial x}{\partial T_s}$, а также $\frac{\partial R}{\partial x}$ и $\frac{\partial x}{\partial q_s}$, получается значения коэффициентов обратной связи n_{x,T_s} и n_{x,q_s} в зависимости от широты. Полученные результаты будут представлены и обсуждены в разделе 2.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты представлены в виде графиков и вынесены в Приложение 1. Данный раздел представляет обсуждение полученных результатов.

На представленных в Приложении 1 рисунках видно, что для северных частей почти всех рассматриваемых территорий, за исключением Европы, среднее количество лесной растительности постепенно сокращается в доиндустриальном периоде и увеличивается с различной скоростью для различных территорий в постиндустриальном периоде. При этом при использовании в расчетах более агрессивного климатического сценария A2 скорость роста среднего количества лесной растительности больше, чем при использовании сценария A1B, и тем более, чем при Control-расчете. Отличие характера изменения среднего количества лесной растительности северной части Европы от северных частей всех остальных областей можно объяснить характерным для этой территории более мягким климатом по сравнению с остальными, который образуется под влиянием теплого течения Гольфстрим, омывающего эту территорию с севера.

Тенденции изменения альбедо поверхности во времени с точностью до наоборот повторяют тенденции изменения среднего количества лесной растительности, т.е. в доиндустриальном периоде наблюдается увеличение среднего по территории альбедо поверхности, а в постиндустриальном периоде его уменьшение, при этом при использовании в расчетах климатического сценария A2 наблюдаемое уменьшение альбедо более значительное, чем при использовании сценария A1B и Control-расчета.

Далее необходимо рассмотреть южные части выделенных территорий. Из рисунков представленных в Приложении 1 видно, что для южных частей территорий, в отличии от северных, не наблюдается какой-либо однозначной тенденции изменения среднего количества лесной растительности. Однако, можно сказать, что для части территорий (Западная Сибирь, Средняя Сибирь, Восточная Сибирь) прослеживается такая же тенденция, как и для северных частей этих же территорий, т.е. в доиндустриальный период происходит сокращение среднего количества лесной растительности и его увеличение в постиндустриальном периоде. Для остальных территорий (западная и восточная части Европы, европейская часть России, Северная Америка) наблюдается исключительно рост среднего количества лесной растительности в течение всего расчетного периода. Скорость изменения среднего количества лесной растительности различна для каждой территории, а также для каждого климатического сценария. Можно выделить, что для южных частей всех рассматриваемых территорий скорость изменения среднего количества лесной растительности при использовании климатического сценария A2 больше, чем при использовании сценария A1B и Control-расчета, т.е. характер отличий такой же, как и для северных частей рассматриваемых территорий.

Так же, как и для северных частей выделенных территорий, тенденции изменения альбедо поверхности южных частей выделенных территорий обратны тенденциям изменения среднего количества лесной растительности этих областей.

Тенденции изменения в течение расчетного периода температуры подстилающей поверхности и влажности почвы полностью повторяют тенденции изменения среднего количества лесной растительности, что четко прослеживается на рисунках Приложения 1.

Полученные коэффициенты обратных связей между средним количеством лесной растительности, альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы представленные в виде графиков их зависимости от широты не демонстрируют какой-либо общей тенденции зависимости от широты. Проанализировав полученные результаты можно только сказать, что значение коэффициента обратной связи между альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы больше значение коэффициента обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы. Полученные и представленные в Приложении 1 результаты частично согласуются с результатами Woodward и др. (1998), полученными для территорий США, Канады (в данной работе территория Северной Америки), европейской части России. В представляемой работе были сделаны отдельные расчеты соответствующие

климатическим сценариям определенным IPCC, поэтому результат частично отличается от результата Woodward и др. (1998).

Было обнаружено, что коэффициенты обратных связей для всех рассматриваемых параметров доиндустриального периода значительно отличаются от коэффициентов обратных связей тех же параметров постиндустриального периода. Разумно предположить, что указанное отличие связано с достаточно резким изменением концентрации CO_2 в постиндустриальном периоде относительно концентрации CO_2 характерной в доиндустриальном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты численных исследований описанных здесь показывают наличие как прямой, так и обратной связей между средним количеством лесной растительности, альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы. При этом прослеживаются четкие тенденции в изменении со временем всех перечисленных величин. Для рассматриваемых климатических сценариев и Control-расчета скорость указанных изменений различна; при использовании в расчетах более агрессивного климатического сценария A2 наблюдаемая скорость изменений была больше, чем при использовании сценария A1B и при Control-расчете.

В зависимостях коэффициента обратных связей от широты не наблюдается какой-либо четкой общей тенденции. Можно только сказать, что величина коэффициента обратной связи между альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы больше, чем величина коэффициента обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой подстилающей поверхности. Кроме того, почти для всех рассматриваемых территорий выявлено отличие в значениях коэффициентов обратной связи вычисленных для доиндустриального и постиндустриального периодов и характере их зависимости от широты.

Естественно, нельзя считать, что исследования сделанные в этой работе полностью разрешили проблему исследования обратных связей, т.к. рассматривались взаимосвязи слишком ограниченного числа параметров. Как известно, при изменении CO_2 изменяются и другие параметры, входящие в состав климатической системы. Следовательно, возможно существование и более сильной обратной связи, чем рассмотренные здесь. Кроме того, использованный в данной работе метод вычисления коэффициента обратной связи не является единственным.

Представляемая работа может быть интересна с точки зрения исследований глобального изменения климата, выявления прямых и обратных связей между происходящими природными процессами на фоне роста концентрации CO_2. Кроме того, данная работа может представлять интерес в основном при качественном, а не количественном анализе обратных связей между средним количеством лесной растительности, альбедо поверхности и температурой подстилающей поверхности, влажностью почвы.

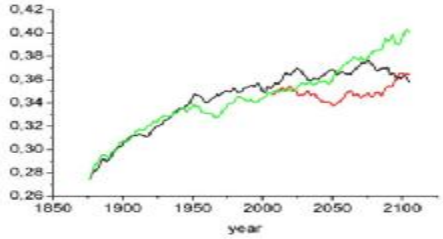
Список использованных источников

Bonan, G.B., Pollard, D & Thompson, S.L. 1992 Effects of boreal forest vegetation on global climate. Nature 359, 716 – 718.

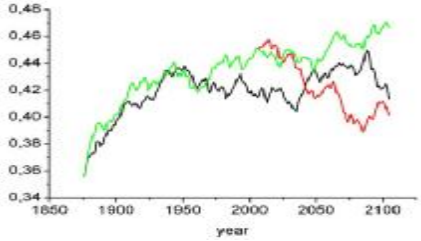
Foley, J.A., Kutzbach, J.E., Coe, M.T. & Levis, S. 1994 Feedbacks between climate and boreal forests during the Holocene epoch. Nature 371, 52 – 54.

Woodward, F.I., Lomas, M.R., Betts, R.A. 1998 Vegetation-climate feedbacks in a greenhouse world. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 353, 29 – 39.

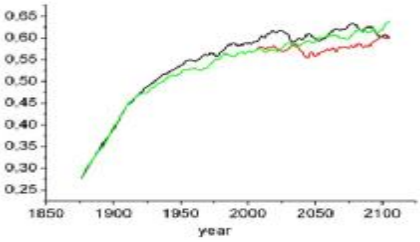
Приложение 1



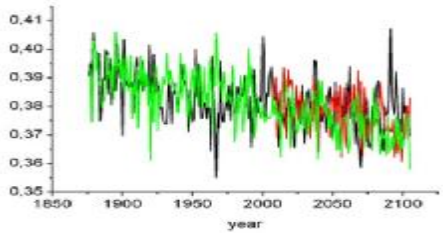
1) [55°с.ш.,70°с.ш.]х[5°в.д.,30°в.д.]



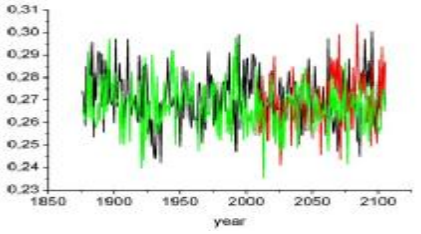
2) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[10°з.д.,15°в.д.]



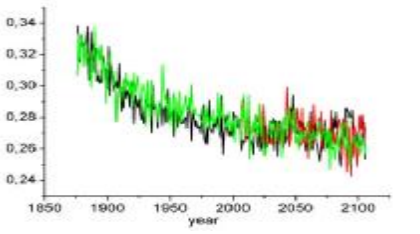
3) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[15°в.д.,30°в.д.]



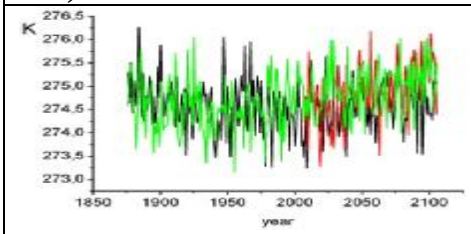
4) [55°с.ш.,70°с.ш.]х[5°в.д.,30°в.д.]



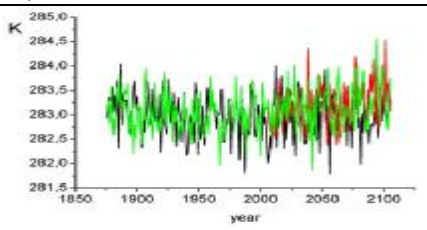
5) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[10°з.д.,15°в.д.]



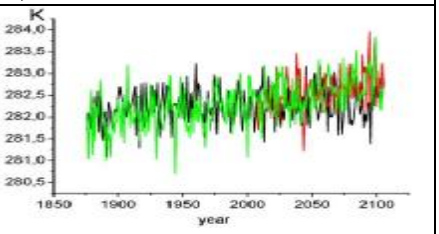
6) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[15°в.д.,30°в.д.]



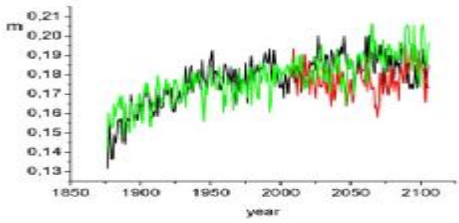
7) [55°с.ш.,70°с.ш.]х[5°в.д.,30°в.д.]



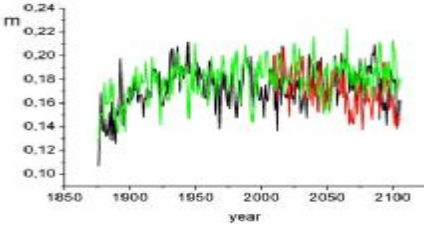
8) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[10°з.д.,15°в.д.]



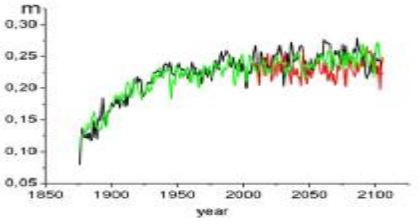
9) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[15°в.д.,30°в.д.]



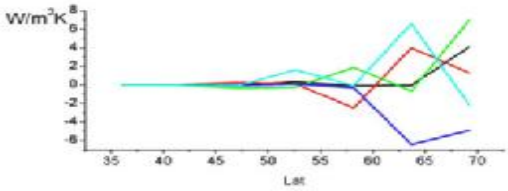
10) [55°с.ш.,70°с.ш.]х[5°в.д.,30°в.д.]



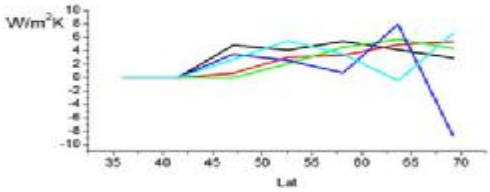
11) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[10°з.д.,15°в.д.]



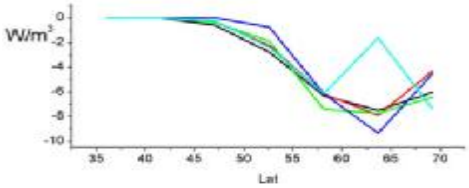
12) [37°с.ш.,55°с.ш.]х[15°в.д.,30°в.д.]



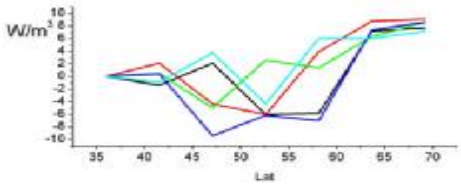
13) [37°с.ш.,70°с.ш.]х[10°з.д.,30°в.д.]



14) [37°с.ш.,70°с.ш.]х[10°з.д.,30°в.д.]



15) [37°с.ш.,70°с.ш.]х[10°з.д.,30°в.д.]



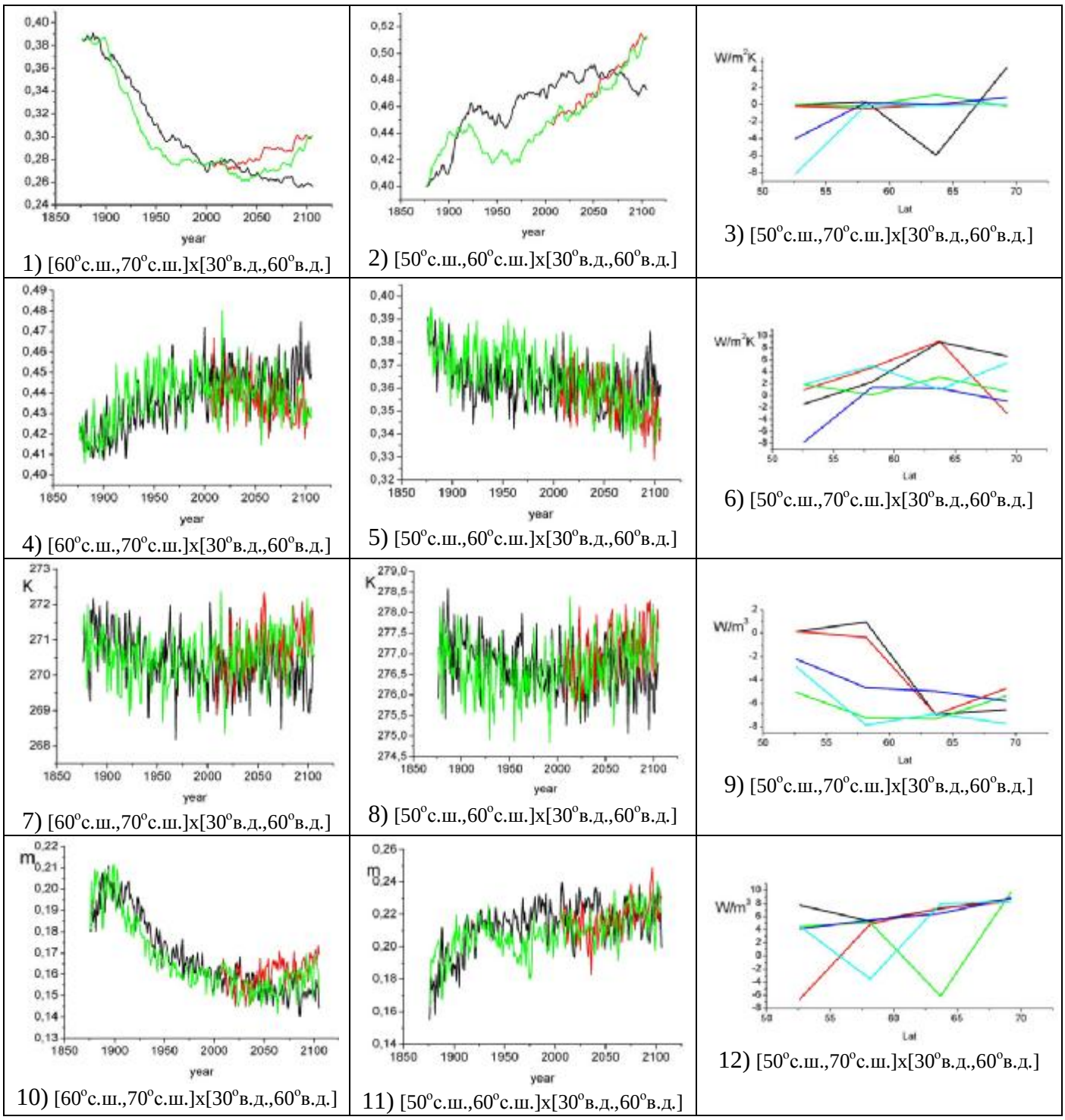
16) [37°с.ш.,70°с.ш.]х[10°з.д.,30°в.д.]

Рис. 1. Территория Европы

1), 2), 3) - среднее количество лесной растительности, 4), 5), 6) – альбедо поверхности, 7), 8), 9) – температура поверхности, 10), 11), 12) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной, западной и восточной частей территории, соответственно; 13) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 14) – альбедо и температурой поверхности, 15) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 16) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1) – 12)

Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 13) - 16)



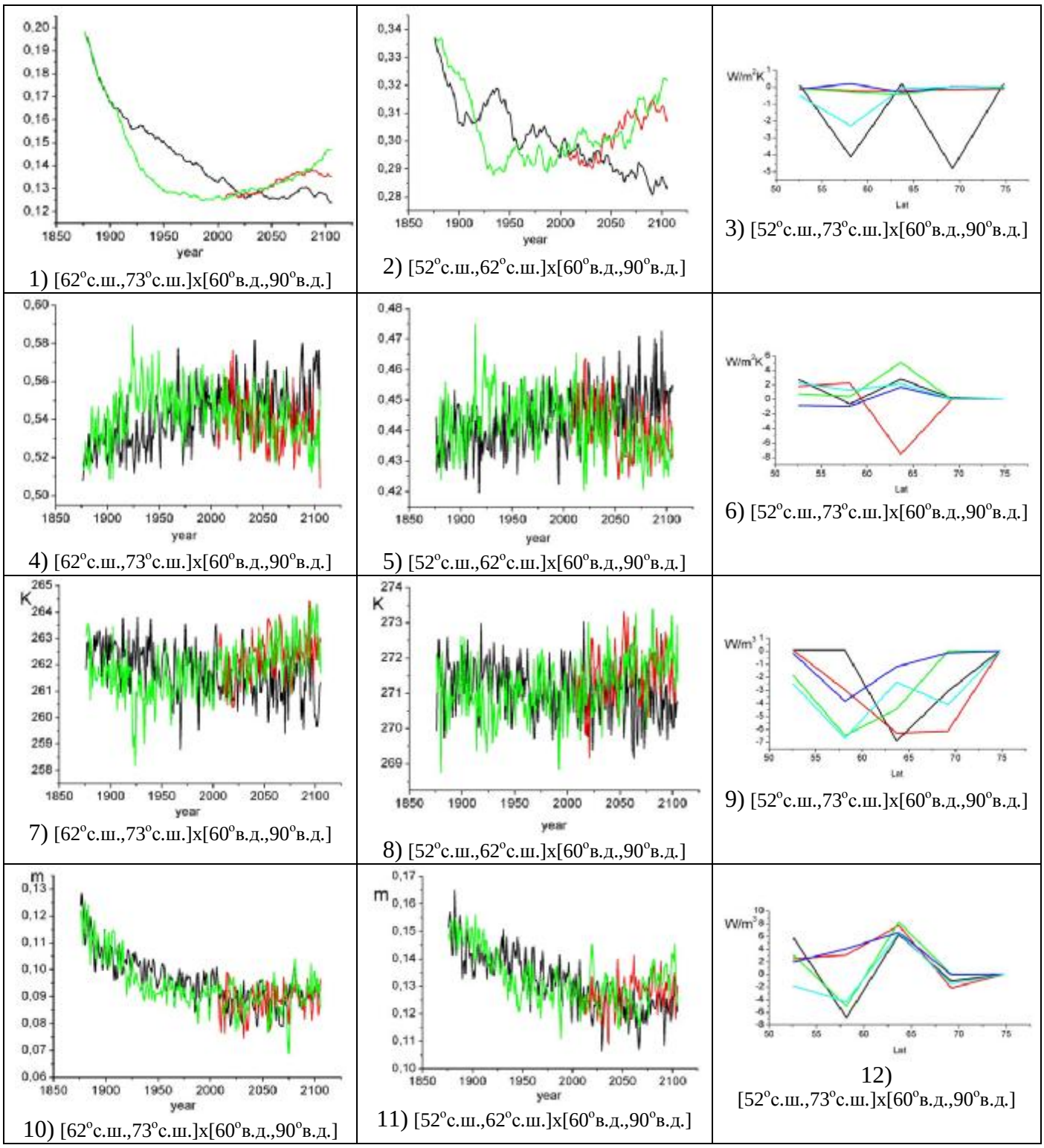
1) [60°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
2) [50°с.ш.,60°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
3) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
4) [60°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
5) [50°с.ш.,60°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
6) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
7) [60°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
8) [50°с.ш.,60°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
9) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
10) [60°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
11) [50°с.ш.,60°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]
12) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[30°в.д.,60°в.д.]

Рис. 2. Территория европейской части России

1), 2) - среднее количество лесной растительности, 4), 5) – альбедо поверхности, 7), 8) – температура поверхности, 10), 11) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной и южной частей территории, соответственно; 3) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 6) – альбедо и температурой поверхности, 9) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 12) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1), 2), 4), 5), 7), 8), 10), 11)

Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 3), 6), 9), 12)



1) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

2) [52°с.ш.,62°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

3) [52°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

4) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

5) [52°с.ш.,62°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

6) [52°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

7) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

8) [52°с.ш.,62°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

9) [52°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

10) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

11) [52°с.ш.,62°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

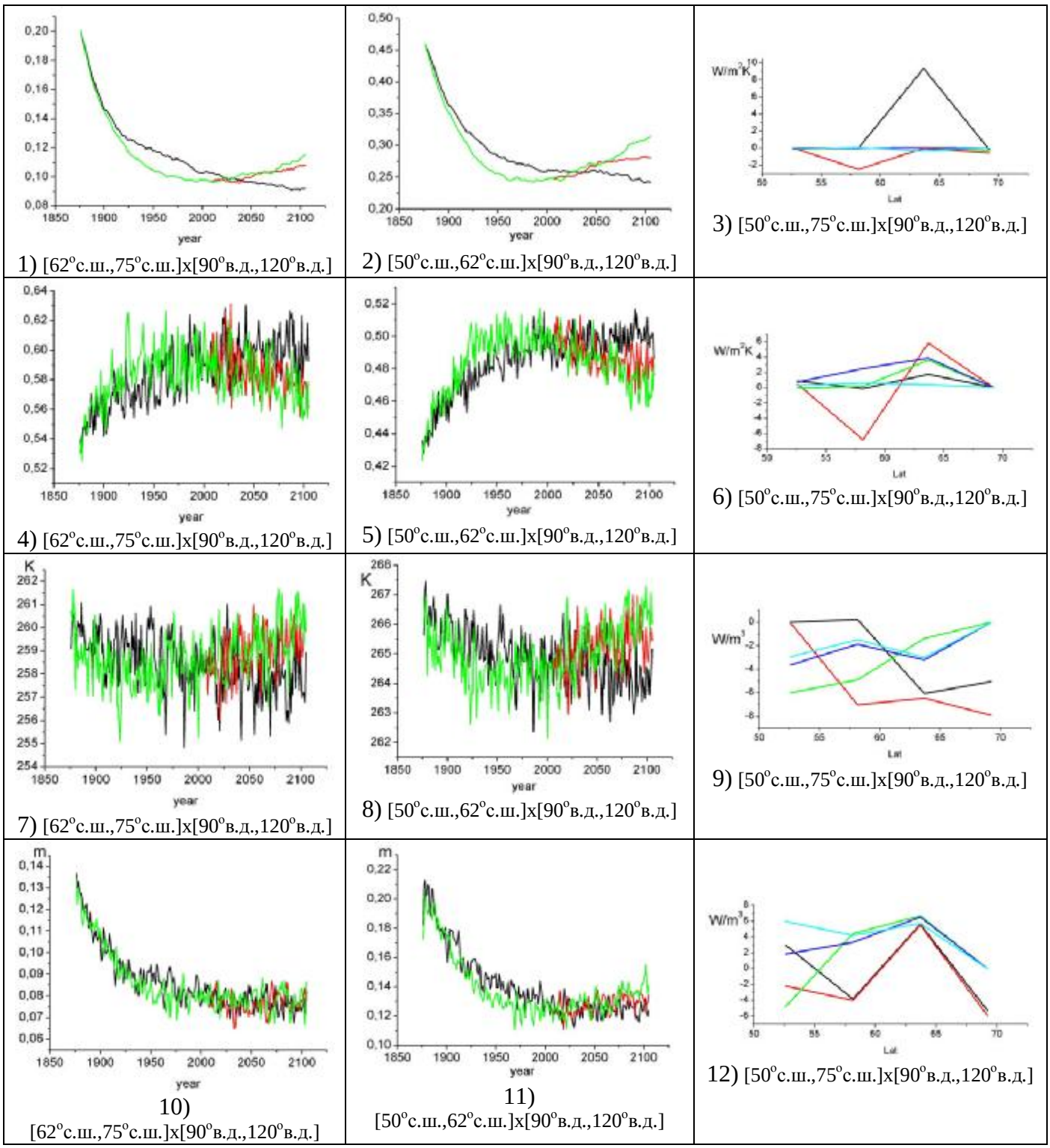
12) [52°с.ш.,73°с.ш.]x[60°в.д.,90°в.д.]

Рис. 3. Территория Западной Сибири

1), 2) - среднее количество лесной растительности, 4), 5) – альбедо поверхности, 7), 8) – температура поверхности, 10), 11) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной и южной частей территории, соответственно; 3) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 6) – альбедо и температурой поверхности, 9) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 12) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1), 2), 4), 5), 7), 8), 10), 11)

Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 3), 6), 9), 12)



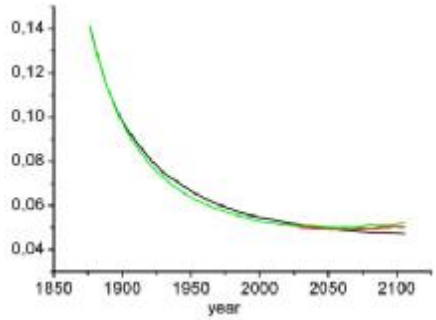
1) [62°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
2) [50°с.ш.,62°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
3) [50°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
4) [62°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
5) [50°с.ш.,62°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
6) [50°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
7) [62°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
8) [50°с.ш.,62°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
9) [50°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
10) [62°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
11) [50°с.ш.,62°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]
12) [50°с.ш.,75°с.ш.]х[90°в.д.,120°в.д.]

Рис. 4. Территория Средней Сибири

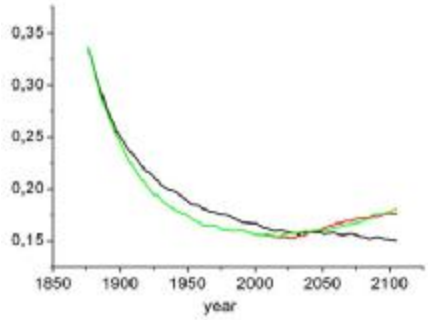
1), 2) - среднее количество лесной растительности, 4), 5) – альбедо поверхности, 7), 8) – температура поверхности, 10), 11) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной и южной частей территории, соответственно; 3) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 6) – альбедо и температурой поверхности, 9) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 12) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1), 2), 4), 5), 7), 8), 10), 11)

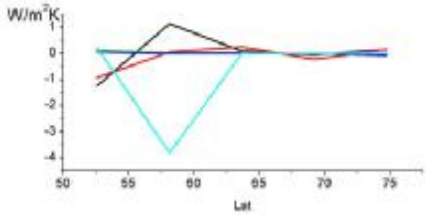
Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 3), 6), 9), 12)



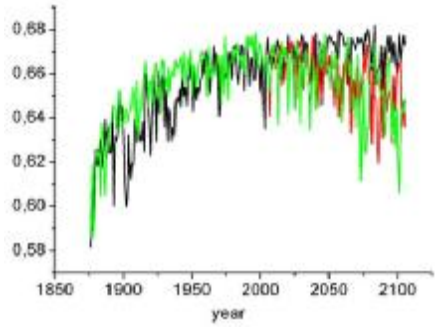
1) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



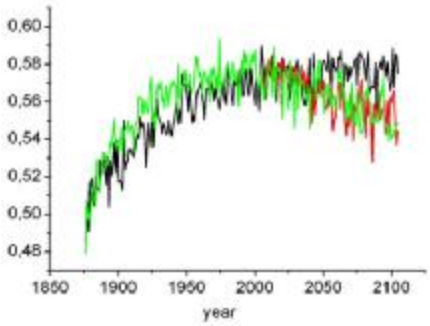
2) [50°с.ш.,62°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



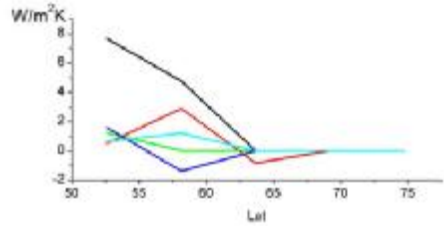
3) [50°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



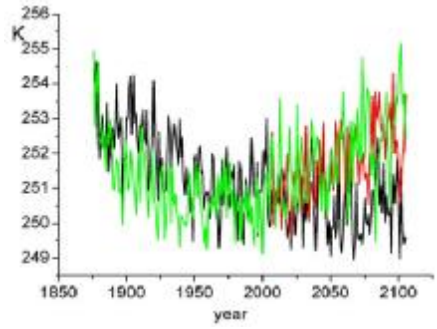
4) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



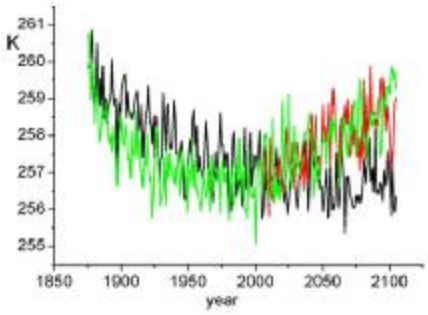
5) [50°с.ш.,62°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



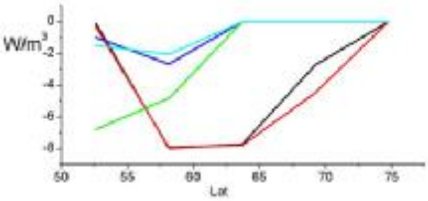
6) [50°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



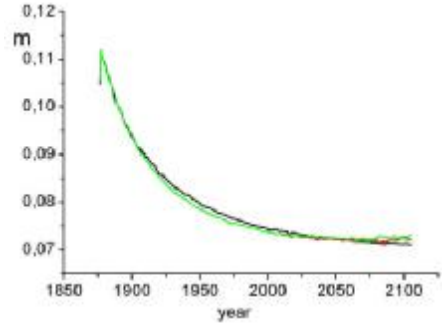
7) [62°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



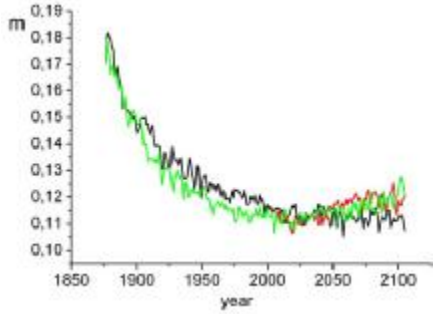
8) [50°с.ш.,62°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



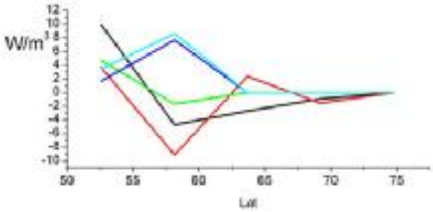
9) [50°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



10)
[62°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



11)
[50°с.ш.,62°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]



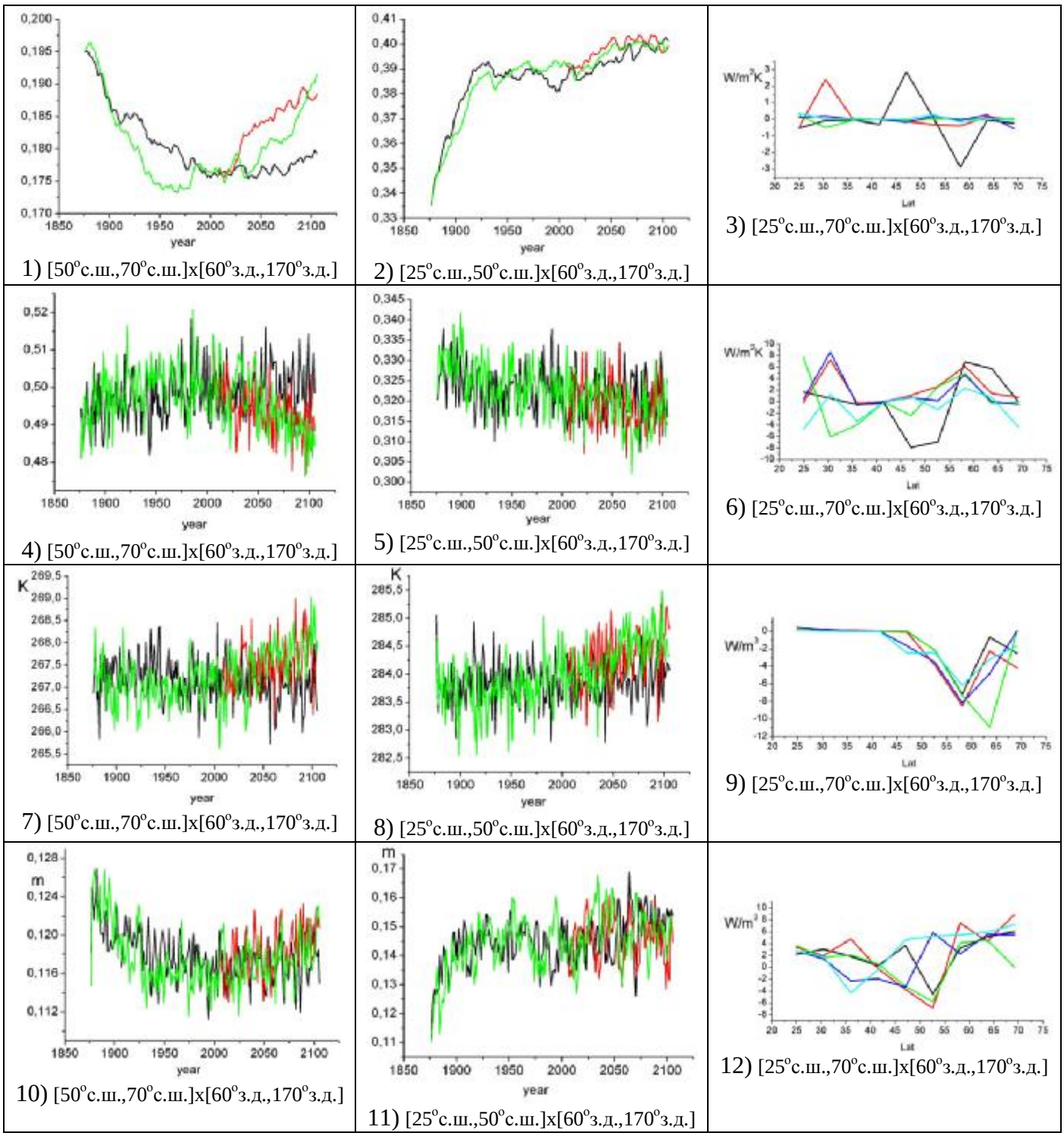
12)
[50°с.ш.,73°с.ш.]x[120°в.д.,180°в.д.]

Рис. 5. Территория Восточной Сибири

1), 2) - среднее количество лесной растительности, 4), 5) – альбедо поверхности, 7), 8) – температура поверхности, 10), 11) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной и южной частей территории, соответственно; 3) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 6) – альбедо и температурой поверхности, 9) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 12) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1), 2), 4), 5), 7), 8), 10), 11)

Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 3), 6), 9), 12)



1) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
2) [25°с.ш.,50°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
3) [25°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
4) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
5) [25°с.ш.,50°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
6) [25°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
7) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
8) [25°с.ш.,50°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
9) [25°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
10) [50°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
11) [25°с.ш.,50°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]
12) [25°с.ш.,70°с.ш.]x[60°з.д.,170°з.д.]

Рис. 6. Территория Северной Америки

1), 2) - среднее количество лесной растительности, 4), 5) – альбедо поверхности, 7), 8) – температура поверхности, 10), 11) – влажность почвы: для всех рисунков в зависимости от года для северной и южной частей территории, соответственно; 3) – коэффициент обратной связи между средним количеством лесной растительности и температурой поверхности, 6) – альбедо и температурой поверхности, 9) – средним количеством лесной растительности и влажностью почвы, 12) – альбедо и влажностью почвы.

Control A1B A2 - легенда для 1), 2), 4), 5), 7), 8), 10), 11)

Preindustrial Control Preindustrial A1B | A2 Postindustrial Control Postindustrial A1B Postindustrial A2 - легенда для 3), 6), 9), 12)