

На правах рукописи



Самойлов Игорь Александрович

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА И СРЕДНЕСРОЧНЫЙ
ПРОГНОЗ АНТРОПОГЕННОЙ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ
ГАЗОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология »

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 2009

Работа выполнена в ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета Российской академии наук.

Научный руководитель:

Кандидат физико-математических наук Нахутин А.И.

Официальные оппоненты:

Замолодчиков Дмитрий Геннадиевич, доктор биологических наук, профессор, заместитель директора Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН.

Яковлев Александр Флавианович, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом прогнозных оценок эмиссии парниковых газов Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН.

Ведущая организация: Институт географии Российской академии наук.

Защита состоится 6 ноября 2009 г. в 15.00 на заседании Диссертационного совета Д 002.049.01 в ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и Российской академии наук по адресу: РФ, 107258 Москва, ул. Глебовская, д.20 Б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета Российской академии наук.

Автореферат разослан «__» _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор географических наук  Г.М. Черногаева

Актуальность темы. Несмотря на продолжающиеся научные дискуссии, относительно сравнительного вклада антропогенных и природных факторов в современные и предстоящие изменения климата, мировое сообщество в 1997 году приняло соглашение, определившее конкретные обязательства промышленно развитых стран и стран с переходной экономикой по сокращению выбросов парниковых газов – Киотский протокол к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Как следует из протокола, антропогенная эмиссия парниковых газов в России за период с 2008-2012 гг. не должна превысить пятикратный уровень выбросов базового 1990 г. На первом Совещании Сторон Киотского протокола (Монреаль, 2005 г.) был принят пакет документов, определивших основные принципы, нормы и механизмы исполнения Киотского протокола. Протокол, в дополнение к основным мероприятиям по снижению выбросов парниковых газов, предоставляет возможность задействовать рыночные механизмы, такие как международную торговлю квотами на выбросы парниковых газов и совместное осуществление проектов по снижению выбросов парниковых газов с переуступкой части национальных квот на выбросы другим странам или хозяйствующим субъектам. В связи с этим особую роль приобретает прогнозирование величины выбросов парниковых газов в национальном масштабе, обеспечивающее как возможность рационального планирования и контроля мер по сдерживанию и сокращению выбросов парниковых газов, так и заблаговременное предупреждение о приближении к предельным с точки зрения выполнения международных обязательств величинам выбросов. Особенно актуальными эти вопросы являются для России, как страны, экономический рост которой сопровождался, и по всей видимости будет сопровождаться и будущем ростом выбросов парниковых газов.

Цель работы заключается в создании методов оперативной оценки величины годовой антропогенной эмиссии парниковых газов и методов построения среднесрочных прогнозов выбросов парниковых газов с горизонтом прогнозирования до 3-х лет.

Задачи исследования:

1. Анализ структуры антропогенной эмиссии парниковых газов в Российской Федерации, оценка вклада отдельных газов и видов экономической деятельности в общий выброс парниковых газов, выделение главных компонент выброса;
2. Оценка статистических связей макроэкономических и отраслевых показателей хозяйственной деятельности с эмиссией парниковых газов;

3. Обоснование и выбор предикторов для оценки и прогноза эмиссии;
4. Разработка пригодной для практической реализации методики оценки и среднесрочного прогнозирования общей антропогенной эмиссии парниковых газов в РФ;
5. Анализ погрешности прогностических оценок эмиссии парниковых газов, выполняемых с использованием выбранных предикторов.

Научная новизна. В ходе выполнения работы впервые:

1. Выделены главные компоненты антропогенного выброса парниковых газов на территории Российской Федерации и показано, что для решения с приемлемой точностью задач оперативной оценки и прогнозирования общего выброса парниковых газов достаточно оценивать выбросы от трех-четырех видов экономической деятельности;
2. Установлено наличие тесной корреляционной связи между выбросом CO₂ от сжигания ископаемого топлива и рядом отраслевых показателей экономической деятельности, входящих в систему федеральной статистики;
3. Построены уравнения регрессии и оценены погрешности прогностических оценок выбросов парниковых газов;
4. Разработана и исследована методика оперативной оценки и прогноза эмиссии парниковых газов в России на национальном уровне.

Соискатель выносит на защиту:

1. Результаты анализа структуры и динамики антропогенной эмиссии парниковых газов в России, позволившие выделить три компонента выброса парниковых газов, вносящих основной вклад в их общую антропогенную эмиссию. В период после 1990 г. эти компоненты, в сумме, обеспечивали 85-88% общего выброса парниковых газов, несмотря на значительные изменения абсолютной величины выброса этих компонент и общего выброса парниковых газов.
2. Вывод о наличии сильных устойчивых корреляционных связей между эмиссией CO₂ от сжигания ископаемого топлива и рядом макроэкономических и отраслевых показателей развития экономики, позволяющих использовать данные показатели в качестве предикторов для оценки и среднесрочного прогнозирования выбросов CO₂.

3. Методику оперативной оценки и среднесрочного прогнозирования эмиссии CO₂, связанной со сжиганием ископаемого топлива и общей антропогенной эмиссии парниковых газов.
4. Прогнозную оценку эмиссии CO₂ от сжигания ископаемого топлива в РФ и эмиссии CH₄, связанной с использованием природного газа и с животноводством, а также общей антропогенной эмиссии парниковых газов на период до 2011 года.

Практическое значение: Результаты диссертационной работы могут быть использованы при формировании прогнозов эмиссии парниковых газов, планировании мер по снижению эмиссии, разработке и реализации международных соглашений в области охраны климата.

Внедрение: Полученные результаты внедрены при выполнении планов НИОКР Росгидромета (тема 1.3.2 плана 2005-2007 гг. и тема 3.5.2 плана 2008-2010 гг.)

Апробация работы: основные материалы диссертации и результаты исследований докладывались и обсуждались на: конференции молодых ученых посвященной пятидесятилетию Института прикладной геофизики (Москва, 2006 г.); научных конференциях Института глобального климата и экологии (Москва, 2006 и 2007 г.); Третьей Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2006 г.) и опубликованы в печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит необходимые общие сведения о диссертации, в том числе, ее актуальности, целях, задачах, новизне, практической значимости, выносимых на защиту положениях, апробации исследования и основных публикациях автора по теме диссертации.

В первой главе рассматриваются основные парниковые газы и их источники по секторам экономической деятельности. Список парниковых газов, подлежащих учету и инвентаризации выбросов определен в Приложении А к Киотскому протоколу и включает 6 веществ: двуокись углерода (CO₂), метан (CH₄), закись азота (N₂O), перфторуглероды (ПФУ), гидрофторуглероды (ГФУ) и гексафторид серы (SF₆). Там же приведен перечень категорий источников эмиссии,

которые мировое сообщество условилось считать антропогенными. Для ряда источников разделение на антропогенные и природные достаточно условно, особенно в землепользовании и лесном хозяйстве. С источниками, относящимися к энергетике, промышленности и транспорту, проблем антропогенности не возникает, они все подлежат инвентаризации.

На территории Российской Федерации суммарная антропогенная эмиссия парниковых газов в CO_2 эквиваленте без учета землепользования и лесного хозяйства составила в 2007 году 66,1% от эмиссии базового 1990 года. Минимум эмиссии был достигнут в 1998 г. (59,6%). Вклад отдельных парниковых газов в их общий выброс иллюстрирует рисунок 1.

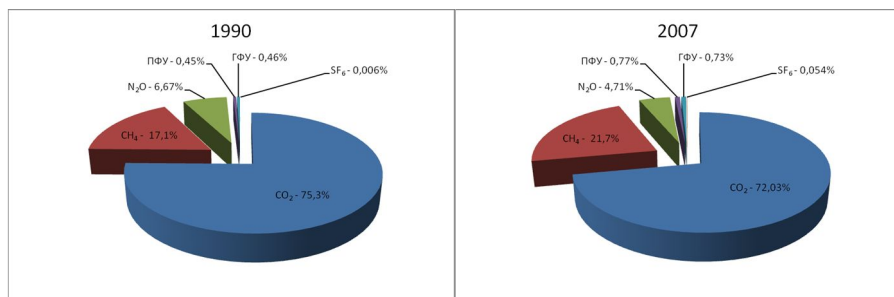


Рисунок 1. Доля отдельных парниковых газов в их общем выбросе в Российской Федерации

Несмотря на значительное изменение суммарной эмиссии по величине, ее структура в 1990-2007 гг. оставалась достаточно консервативной. Для оценки и прогноза общей величины антропогенного выброса ПГ в России достаточно оценивать величину выброса по 4 – 6 важнейшим категориям источников, дающим порядка 95% общего выброса.

Ведущая роль принадлежит CO_2 , источником которого, главным образом, служит энергетический сектор. Особую остроту энергетические проблемы приобрели в последнее время в связи с процессом глобализации мировой экономики. Для России проблема энергетики связана со сложностями перехода энергетического сектора к рыночным отношениям, недостатком инвестиций в модернизацию и обновление физически и морально изношенного энергетического оборудования. В связи с первостепенной ролью эмиссии парниковых газов от использования ископаемого топлива основное направление оценки выбросов сейчас и в перспективе будет связано со сжиганием углеводородного топлива в электроэнергетике (рис.2).



Рисунок 2. Распределение электростанций различных типов по территории РФ

Главным компонентом антропогенного выброса парниковых газов в России (около 75% общего выброса ПГ) является выброс CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива для производства всех видов энергии (электрической, тепловой, механической). Другими важнейшими источниками парниковых газов являются технологические выбросы и утечки метана, связанные с природным газом (9,5% общего выброса), сельскохозяйственные земли (3,6%), животноводство (3,4%), производство алюминия (2,0%), выбросы метана в угольной промышленности (1,8%), захоронение твердых отходов на свалках и полигонах (1,7%).

С учетом вышеизложенного, задача оценки и прогноза совокупного антропогенного выброса парниковых газов в России в первом приближении сводится к оценке и прогнозу главного компонента выброса, т.е. выброса CO_2 в результате полезного сжигания ископаемого топлива. Учет выбросов CO_2 от сжигания ископаемого топлива, выбросов метана в нефтегазовой отрасли и в сельском хозяйстве в сумме дают порядка 87 % общего выброса парниковых газов.

Вторая глава. Экономические исследования показывают, что на динамику выбросов ПГ в России существенное влияние оказывают следующие факторы:

1. изменение валового внутреннего продукта (ВВП),
2. изменение структуры промышленного производства,
3. динамика цен на энергию,

4. технологические инновации,
5. реализация политики и мер, прямо или косвенно воздействующих на снижение выбросов.

Одним из возможных методов выполнения оценки выбросов ПГ является использование статистических связей между величиной выброса и различными показателями развития экономики. Представляет интерес изучение таких связей с целью выявления показателей, наиболее тесно связанных с общей экономической ситуацией в стране. Показатели наиболее тесно коррелирующие с выбросом CO₂ могут быть использованы в качестве предикторов. В период 1990-2007 гг. выбросы CO₂ в РФ под влиянием экономических факторов испытали спад (1991-1998 гг.), сменившийся затем ростом. Совершенно не очевидно, что зависимости между выбросом CO₂ и каким-либо из экономических показателей в периоды экономического роста и подъема будут одинаковыми, или, по крайней мере, близкими. Поэтому анализ связей проводился как для периода 1990-2007 гг. в целом, так и для периодов спада и роста по отдельности. Исследованы корреляции выброса CO₂ с показателями, принадлежащими к двум группам: макроэкономических показателей, исчисляемых в денежном выражении, и показателей деятельности отдельных отраслей экономики в натуральном выражении (табл.1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции

	Коэф. корреляции 1990-2007	Коэф. корреляции 1990-1998	Коэф. Корреляции 1998-2007
Макроэкономические показатели			
Индекс валового внутреннего продукта	0,8118	0,4991	0,5814
Индекс промышленного производства	0,8335	0,5871	0,7555
в том числе электроэнергетика	-0,2254	0,5964	-0,4671
Отраслевые показатели			
Грузооборот транспорта общего пользования	0,8454	0,9614	0,9103
Грузооборот ж-д. транспорта	0,7328	0,9638	0,9412
Объем перевозок грузов транспортом общего пользования	0,9808	0,9776	0,9119
Объем перевозок грузов ж-д. транспортом	0,9191	0,9677	0,9509
Производство электроэнергии электростанциями	0,8114	0,9802	0,9488
в том числе тепловыми	0,9264	0,9691	0,8984

Для отраслевого анализа были выбраны электроэнергетика и транспорт, как отрасли, наиболее тесно связанные с общим состоянием экономики страны и энергопотреблением.

Все использованные экономические данные взяты из официальной статистики – публикаций Росстата. Наиболее высокие значения корреляций выделены в таблице 1 жирным шрифтом, самые низкие курсивом.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии тесной связи между всеми выбранными отраслевыми показателями и выбросом CO₂. При этом необходимо отметить, что хотя значения корреляций, полученные на коротких временных интервалах 1990-1998 гг. и 1998 – 2007 гг. трудно считать строго корректными в статистическом смысле, но взятые в совокупности интервалов они все же указывают на наличие связи между выбросом CO₂ и рассматриваемыми показателями.

Представленные ниже графики (рис.3) демонстрируют зависимости выброса CO₂ от значений отраслевых показателей.

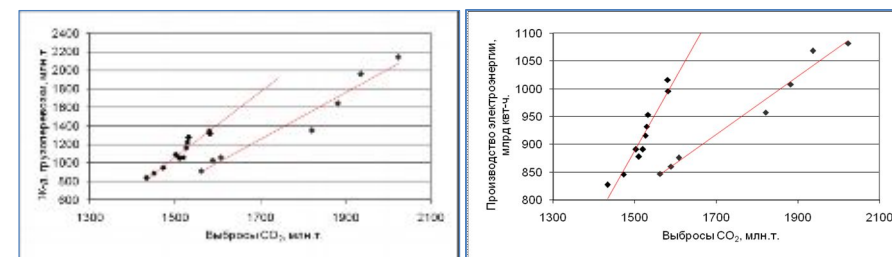


Рисунок 3. Зависимости эмиссии CO₂ от некоторых отраслевых показателей

Правые ветви на диаграммах (рис. 3) отражают период 1990-1996 гг., левые – период 1997-2007 гг. (Верхние точки правых ветвей соответствуют 1990 г., левых – 2007 г.) Интересно отметить, что, несмотря на то, что общий экономический рост в РФ начался с 1999 г., параметры регрессионной связи между показателями и выбросом углекислого газа испытывают резкое изменение с 1997 г. Одним из возможных объяснений этого эффекта может быть то, что спад производства, происходивший в 1998 г. был вызван не экономическими, а чисто финансовыми причинами – «дефолтом». Исходя из характера зависимостей на рисунке 3 можно предположить, что 1996 г. был последним годом структурного кризиса в экономике и в 1997 г. в России уже начинался экономический рост, прерванный в 1998 г. дефолтом и его последствиями. Это предположение

подтверждается данными Росстата, согласно которым объем ВВП в 1997 г. составил 100,8%, а объем промышленного производства 102,0% к уровню 1996 г. Таким образом, дефолт 1998 г. фактически «отложил» начало экономического роста на два года и привел экономику к более низкому стартовому уровню для посткризисного развития.

С макроэкономическими показателями выброс CO_2 от сжигания топлива коррелирует существенно хуже, чем с отраслевыми. Только в двух случаях из девяти коэффициент корреляции попал в группу высоких (табл. 1). Самые низкие коэффициенты корреляции получены для макроэкономических показателей, в частности ВВП.

В третьей главе рассматриваются методы построения прогноза выбросов CO_2 .

Наиболее простым способом построения среднесрочного прогноза является метод экстраполяционного прогнозирования. Прогнозное значение определяется подстановкой нужного значения времени в уравнение тренда $y = f(C)$.

Этот метод имеет смысл только при сравнительно краткосрочном прогнозировании и уверенности в том, что основная динамика эмиссии, а следовательно и тренд, за это время не меняются (табл.2).

Таблица 2. Прогноз выброса CO_2 от сжигания ископаемого топлива рассчитанный экстраполяционным методом

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
	Факт						Прогноз				
Выбросы CO_2 , млн.т.	1516	1503	1538	1529	1533	1582	1570	1578	1588	1597	1607

Доверительный интервал $\pm \Delta y = 26$ с вероятностью 95%
Стандартное отклонение $\sigma = 36,1$ млн.т. (2,27%)

Построение регрессионных моделей

Наличие тесных корреляционных связей выброса CO_2 с экономическими показателями рассмотренными выше, дает возможность методом линейной регрессии производить оценку и строить прогнозы опираясь на заранее известные значения регрессоров.

Классический подход к оцениванию параметров линейной регрессии основан на методе наименьших квадратов (МНК).

Функция регрессии выброса на ВВП имеет следующий вид:

$C = a + b \cdot G$, где

$$a = \bar{C} - b \cdot \bar{G}$$

$$b = \frac{\overline{CG} - \bar{C} \cdot \bar{G}}{\bar{G}^2 - \bar{G}^2},$$

где: C – эмиссия CO_2 , G – объем ВВП.

Для определения целесообразности использования данных до 1998 года и оценки объема выборки, которую возможно использовать в дальнейшем для построения модели регрессионного анализа, к имеющимся рядам данных применим два теста. Первый, это тест на обнаружение остатков модели регрессии, т.н. тест Голдфелда-Квандта. Тест был разработан в 1965 году и рассматривает линейную модель, для которой дисперсия остатков возрастает пропорционально квадрату фактора. Второй - тест на обнаружение автокорреляции остатков. Для этого существует два наиболее распространенных метода: 1) Путем построения графика зависимости остатков от времени и визуальной оценки наличия или отсутствия автокорреляции; 2) Путем использования критерия Дарбина-Уотсона.

Тесты показали удовлетворительные результаты и пригодность всего ряда данных в случае с макроэкономическими показателями и возможность использовать данные только за период после 1998 года для отраслевых показателей.

Процентные приращения эмиссии до 2011 г. рассчитанные исходя из прогноза прироста ВВП представлены в таблице 3.

Таблица 3. Межгодовые приращения эмиссии CO_2 рассчитанные регрессионным методом

	2008	2009	2010	2011
Эмиссия (% к предыдущему году)	100,4	100,9	100,8	100,6

Прогноз динамики эмиссии CO_2 , приведенный в табл.3, был выполнен до начала экономического спада 2009 г. и показывает рост выбросов. Использование последних доступных прогнозных оценок ВВП приводит к оценке приращения выбросов CO_2 на 2009 г. в диапазоне от 95,8% до 99,1%. (данные по ВВП: МВФ -6%, UBS 1,7%) Наиболее вероятное значение – 96,3%.

Стандартное отклонение рассчитываем по формуле:

$$S_{reg} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{reg,i})^2}{n}} = 28,47 \text{ млн.т.}$$

Прогноз выбросов CO₂ методом линейной регрессии с использованием отраслевых показателей.

Значение коэффициента корреляции значений объемов грузоперевозок с CO₂ для периода с 1990 по 2007 составляет $P=0,85$ и с 1998 по 2007 $P=0,91$ что является очень высокими показателями. Для ВВП эти значения составляли 0,81 и 0,58 соответственно.

Проведенный тест Дарбина-Уотсона на обнаружение автокорреляции остатков показал высокое значение автокорреляции ($r=0,91$), из чего видно, что есть еще неучтенная функциональная зависимость на периоде с 1990 по 2007 годы. Тест Голдфелда-Квандта ($g=0,87$) оказался успешным. Расчет коэффициентов делается для периода с 1998 по 2007 год. Коэффициенты регрессии грузооборота на эмиссию составили:

$$a=1318,53$$

$$b=0,127$$

Еще одним высоко коррелированным с эмиссией CO₂ отраслевым показателем является производство электроэнергии.

Значение коэффициента корреляции составили $P=0,81$ при рассмотрении всего периода, и $P=0,95$ для периода с 1998 по 2007 год. Рассчитанные коэффициенты регрессии для периода с 1998 по 2007 годы составили:

$$a=883,53$$

$$b=0,696$$

Значения критерия Голфелда-Квандта составил $g=1,81$, Дарбина-Уотсона $d=1,94$, что является удовлетворяющим условию показателем.

В таблице 4 представлены прогнозные значения эмиссии CO₂, полученные на основе регрессионных зависимостей. Коэффициенты регрессии определялись по данным за 1998-2007 гг.

В случае с отраслевыми показателями для построения регрессионной модели оказалось нецелесообразно использовать весь ряд данных с 1990 по 2007 год.

Таблица 4. Прогноз эмиссии CO₂ с использованием в качестве предикторов отраслевых показателей, млн.т.

Показатель	2008	2009	2010	2011
Грузооборот ж-д. транспорта	1578	1597	1616	1635
Производство электроэнергии	1591	1605	1607	1628

$$\text{Среднеквадратичное отклонение } S_{\text{рег.груз.ЖД}} = 15,49 \text{ млн.т.}$$

$$S_{\text{рег.электр.}} = 13,41 \text{ млн.т.}$$

Использование последних доступных прогнозных оценок грузооборота приводит к оценке уменьшения выброса CO₂ в 2009 г. До 1545 млн.т.

Множественная регрессия

Включение в уравнение регрессии того или иного набора факторов связано, прежде всего, с четким представлением о корректности их поведения в модели, и отвечать ряду свойств. Прежде всего иметь количественную определенность и быть некоррелированными между собой.

Для корректности построения модели множественной регрессии введем параметр производства тепловой энергии, который напрямую связан с выбросом CO₂ и адекватно отражает ситуацию с среднегодовыми температурами и количеством отапливаемых площадей.

Мы располагаем данными по производству тепловой энергии за период с 1998 по 2008 год. Анализ проводим за обозначенный период. Уравнение множественной регрессии имеет следующий вид: $C_{\text{Множ}} = a + b \cdot E + c \cdot tE$, где E - производство электроэнергии, tE - производство тепловой энергии. Коэффициенты составили: $a=840,93$; $b=0,82$; $c=-0,06$. Полученные значения представлены на итоговом графике (рис. 4). Среднеквадратичное отклонение $S_{\text{множ}} = 13,12 \text{ млн.т.}$ Отрицательное значение коэффициента c указывает на возможное наличие связи между данными по производству электроэнергии и тепловой энергии.

Нелинейная регрессия

Нелинейную регрессию следует применять, если между явлениями существуют нелинейные соотношения, и они выражаются с помощью соответствующих нелинейных функций. Сделаем расчет параболы второй степени. Уравнение для объема ВВП будет иметь следующий вид: $C_{\text{ввп}} = a + b \cdot G + c \cdot G^2$. Значения коэффициентов составили: $a=3,84$, $b=1,64$, $c=0,006$.

Малое значение коэффициента c указывает на то, что явной нелинейной зависимости не выявлено и применение нелинейной регрессии к имеющимся рядам данных является неоправданным.

На итоговом графике (рис.4) показаны фактические и рассчитанные значения эмиссии CO₂ в секторе «энергетика».

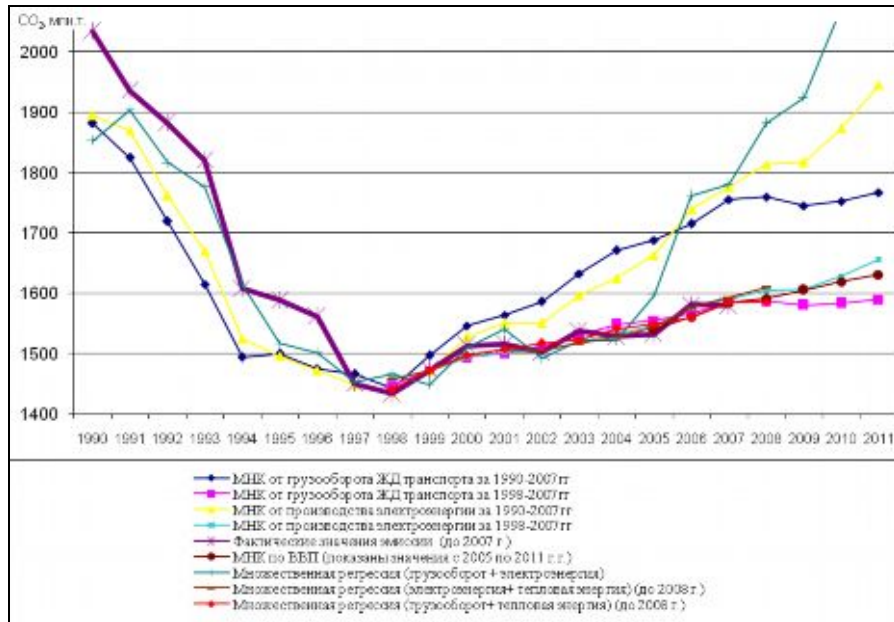


Рисунок 4. Сравнительные графики фактических и рассчитанных значений эмиссии CO₂

После того, как уравнения линейной регрессии найдены, проводится оценка значимости как уравнения в целом, так и отдельных параметров.

Оценка значимости уравнения регрессии в целом делается с помощью F -критерия Фишера. Для ВВП $F = 21,2$. Табличное значение $F_{\alpha=0,05} = 4,54$ при 5%-ном уровне значимости. Поскольку $F_{факт} > F_{табл}$ можно сделать вывод о значимости уравнения регрессии построенным от ВВП.

Аналогичным образом делается расчет и для других предикторов. Для грузооборота и производства электроэнергии за посткризисный интервал $F=24,64$ и $F=33,76$ соответственно, при табличном $F_{\alpha=0,05} = 4,96$. Все уравнения регрессии являются значимыми.

В линейной регрессии помимо уравнения в целом оценивается значимость и отдельных его параметров. С этой целью по каждому из параметров определяется его стандартная ошибка: m_a и m_b

Стандартная ошибка коэффициента регрессии параметра b для случая с ВВП рассчитывается по формуле

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum (C - \hat{C}_x)^2 / (n - 2)}{\sum (G - \bar{G})^2}} = \sqrt{\frac{S^2}{\sum (G - \bar{G})^2}}, \quad \text{где } S^2 - \text{остаточная}$$

дисперсия на одну степень свободы.

Для ВВП за полный период величина стандартной ошибки коэффициента регрессии составила $m_b = \sqrt{\frac{6,97}{816,67}} = 0,018$

Отношение коэффициента регрессии к его стандартной ошибке дает t -статистику, которая подчиняется статистике Стьюдента при $n-2$ степенях свободы. Эта статистика применяется для проверки статистической значимости коэффициента регрессии и для расчета его доверительных интервалов.

Для оценки значимости коэффициента регрессии его величину необходимо сравнить с его стандартной ошибкой, т.е. определяется фактическое значение t -критерия Стьюдента по формуле $t_b = b/m_b$. Полученное значение сравнивается с табличным значением t -критерия при определенном уровне значимости и числе степеней свободы.

Для ВВП фактическое значение t -критерия для коэффициента регрессии составило $t_b = 4,6$. При $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $n-2$ табличное значение $t = 2,13$. Поскольку фактическое значение t -критерия превышает табличное, гипотезу о несущественности коэффициента регрессии можно отклонить. Доверительный интервал для коэффициента регрессии определяется как $b \pm t \cdot m_b$. Для коэффициента регрессии b в ВВП 95%-ные границы составят: $0,42 \pm 0,04$.

Стандартная ошибка параметра a для ВВП определяется по формуле

$$m_a = \sqrt{\frac{\sum (C - \hat{C}_x)^2}{n - 2} \cdot \frac{\sum G^2}{n \cdot \sum (G - \bar{G})^2}} = \sqrt{S^2 \cdot \frac{\sum G^2}{n \cdot \sum (G - \bar{G})^2}}$$

Процедура оценивания значимости данного параметра не отличается от рассмотренной выше. Для коэффициента регрессии вычисляется t -критерий $t_a = \frac{a}{m_a}$. t -критерий для коэффициента

регрессии a составил: $t_a = 2,36$. Таким образом, для коэффициента регрессии a границы составят: $55,77 \pm 46,94$

Аналогичным образом делается оценка значимости отдельных параметров регрессии для отраслевых показателей (табл. 6) Для всего периода значение t -критерия параметра a оказалось меньше

табличного, и гипотеза о несущественности коэффициента регрессии a подтвердилась.

Таблица 5. Значимость коэффициентов регрессии и ошибки интервального прогноза

	Период с 1990 по 2007 г.г.			с 1998 по 2007 г.г.	
	ВВП	Грузооборот Ж.Д.	Производство электроэнергии	Грузооборот Ж.Д.	Производство электроэнергии
Станд. ошибка m_a	22,03	30602,15	16001,3	492,31	87,34
t_a -критерий	2,36>2,13	0,04<2,11	-0,003<2,11	2,67>2,31	10,11>2,31
95% доверительный интервал a	55,77±46,94	Коэф. незначимый	Коэф. незначимый	1319±609	883,5±466,3
Станд. ошибка m_b	0,02	0,06	0,23	0,016	0,008
t_b -критерий	23,6	4,87	7,75	8,07	8,96
95% доверительный интервал b	0,42±0,04			0,128±0,036	0,69±0,18

Используя статистические методы делаем расчет ошибки интервального прогноза. Точечный прогноз дополняется расчетом стандартной ошибки $\hat{C}_G$ т.е. $m_{\hat{C}_G}$, и соответственно получаем интервальную оценку прогнозного значения C^* :
 $\hat{C}_G - m_{\hat{C}_G} \leq C^* \leq \hat{C}_G + m_{\hat{C}_G}$

Для наглядности построения формулы определения величин стандартной ошибки $\hat{C}_G$ подставим в уравнение линейной регрессии для ВВП выражение параметра a : $a = \bar{C} - b \cdot \bar{G}$. Уравнение регрессии принимает вид: $\bar{C}_G = \bar{C} - b \cdot \bar{G} + b \cdot G$. Отсюда следует, что стандартная ошибка $m_{\hat{C}_G}$ зависит от ошибки $\bar{C}$ и ошибки коэффициента регрессии b , т.е. $m_{\hat{C}_G}^2 = m_{\bar{C}}^2 + m_b^2(G - \bar{G})^2$. Из теории выборки известно, что $m_{\bar{C}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$. Используя в качестве оценки σ^2 остаточную дисперсию на одну степень свободы S^2 , получим формулу расчета ошибки среднего значения переменной C : $m_{\hat{C}_G}^2 = \frac{S^2}{n}$.

Формула стандартной ошибки предсказываемого среднего значения C при заданном значении ВВП характеризующая ошибку положения линии регрессии имеет следующий вид:

$$m_{\hat{C}_G}^2 = \frac{S^2}{n} + \frac{S^2}{\sum (G - \bar{G})^2} \cdot (G_k - \bar{G})^2 = S^2 \cdot \left(\frac{1}{n} + \frac{(G_k - \bar{G})^2}{\sum (G - \bar{G})^2} \right)$$

Для прогнозируемого значения $\hat{C}_G$ 95%-ные доверительные интервалы при заданном G_k определяются выражением $\hat{C}_{G_k} \pm t_{\alpha} \cdot m_{\hat{C}_G}$. Для 18 степеней свободы $t_{\alpha} = 2,1$. Аналогичным образом делается расчет для отраслевых показателей. Полученные значения представлены в таблице 6.

Таблица 6. Доверительные интервалы

	2008	2009	2010	2011
G_k (эмиссия CO ₂ на ВВП), % к пред. году.	100,4	100,9	100,9	100,7
$m_{\hat{C}_G}$, % (стандартная ошибка)	0,706	0,709	0,708	0,707
$\hat{C}_{G_k}$, % (доверительные интервалы)	1,505	1,510	1,509	1,507
$\hat{C}_{G_k}$, млн.т.	23,8	24,1	24,3	24,43
T_k (эмиссия CO ₂ на грузооборот ЖД), млн.т.	1587	1581	1584	1590
$m_{\hat{C}_T}$ (стандартная ошибка)	7,28	7,19	7,23	7,32
$\hat{C}_{T_k}$ (доверительные интервалы)	16,75	16,55	16,64	16,84
E_k (эмиссия CO ₂ на производство электроэнергии), млн.т.	1605	1607	1628	1656
$m_{\hat{C}_E}$ (стандартная ошибка)	8,06	8,07	8,20	8,38
$\hat{C}_{E_k}$ (доверительные интервалы)	18,53	18,55	18,86	19,27

Фактические значения C варьируются около среднего значения $\hat{C}$. Однако индивидуальные значения C могут отклоняться от $\hat{C}$ на величину случайной ошибки ε . Поэтому ошибка предсказываемого индивидуального значения C должна включать не только стандартную ошибку $\hat{C}$, но и случайную ошибку. Средняя ошибка прогнозируемого индивидуального значения C для ВВП составит:

$$m_{C_{i(G_k)}} = S^2 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(G_k - \bar{G})^2}{\sum (G - \bar{G})^2}} = \sqrt{6,97 \cdot \left(1 + \frac{1}{15} + \frac{(G_k - 99,135)^2}{816,67}\right)}$$

$$\hat{C}_{G_k} \pm t_{\alpha} \cdot m_{\hat{C}_G}, t_{\alpha} = 2,13$$

Таблица 7. Значения доверительных интервалов с учетом случайной ошибки

	2008	2009	2010	2011
G_k (эмиссия CO ₂ на ВВП), % к пред. году.	100,4	100,9	100,9	100,7
$m_{\hat{C}_G}$ (стандартная ошибка с учетом случайной ошибки)	2,737	2,740	2,739	2,738
$\hat{C}_{G_k}$ (доверительные интервалы)	5,830	5,835	5,835	5,833
$\hat{C}_{G_k}$, млн.т.	92,3	93,2	94	94,6
T_k (эмиссия CO ₂ на грузооборот ЖД), млн.т.	1587	1581	1584	1590
$m_{\hat{C}_T}$ (стандартная ошибка с учетом случайной ошибки)	17,27	17,23	17,25	17,28
$\hat{C}_{T_k}$ (доверительные интервалы)	39,71	39,63	39,67	39,75
E_k (эмиссия CO ₂ на производство электроэнергии), млн.т.	1605	1607	1628	1656
$m_{\hat{C}_E}$ (стандартная ошибка с учетом случайной ошибки)	15,89	15,89	15,96	16,05
$\hat{C}_{E_k}$ (доверительные интервалы)	36,54	36,55	36,7	36,91

Интервал достаточно широк, прежде всего, за счет малого объема исходных данных (недостаточной длины временных рядов). При прогнозировании на основе уравнения регрессии следует учитывать, что точность прогнозных значений зависит не только от стандартной ошибки индивидуальных значений эмиссии, но и от точности прогноза значений самих предикторов.

В четвертой главе рассматриваются методы построения прогноза выбросов CH₄. Для оценки и прогноза выбросов CH₄ от его основных источников в России, целесообразно применение простых регрессионных методов с использованием в качестве предикторов прогнозных величин объема добычи и транспортировки природного газа, а так же поголовья крупного рогатого скота (КРС).

Наиболее крупным источником, дающим порядка 9,5% вклада в общий антропогенный выброс парниковых газов в России, является эмиссия метана, связанная с добычей, транспортировкой, хранением и потреблением природного газа. Наиболее доступным способом является оценка будущих выбросов исходя из объемов добытого газа и величины его прокачки по магистральным трубопроводам. Как видно из графиков (рис. 5) две эти величины имеют прямую связь.

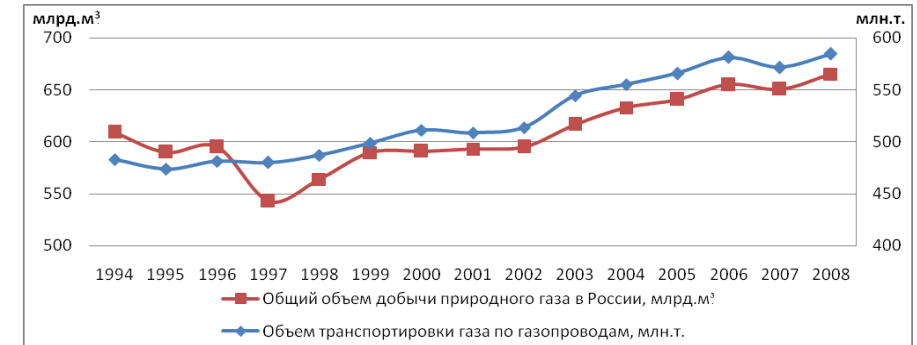


Рисунок 5. Объемы добычи и транспортировки газа

Простой расчет процента потерь природного газа от общего объема добычи и транспортировки природного газа показывает ярко выраженную тенденцию к снижению. Если в 2000 году потери составляли порядка 1,26% от объемов транспортировки и 1,63% от общего объема добычи, то к 2007 году эти значения сократились до 1,19% и 1,55% соответственно. На основании этой тенденции можно предположить дальнейшее снижение потерь. Применяя метод линейной экстраполяции, продлеваем сложившуюся динамику до 2011 года. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8. Потери природного газа в процессе добычи и транспортировки

	2000	2007	2008	2009	2010	2011
Процент потерь исходя из объемов транспортировки, %	1,263	1,185	1,159	1,147	1,134	1,122
Процент потерь исходя из объемов добычи, %	1,631	1,553	1,541	1,531	1,522	1,512

Прогнозирование изменения объемов добычи природного газа входит в задачи ряда государственных, коммерческих, инвестиционных и пр. организаций, что обеспечивает наличие данных для построения прогноза эмиссии.

Зная данные по добыче, транспортировке логично рассмотреть с какой из этих величин выбросы связаны сильнее. Коэффициент корреляции эмиссии метана, для периода с 2000 по 2007 гг., с добычей природного газа составил $P=0,95$, с объемом транспортировки по газопроводам $P=0,96$.

Прогнозные значения эмиссии природного газа в газовой отрасли исходя из объемов добычи и транспортировки рассчитываем, пользуясь методом линейной регрессии, аналогично тому, как это делается для эмиссии CO_2 . (табл.9)

Таблица 9. Прогноз потерь природного газа

Предиктор		2008	2009	2010	2011
Объем транспортировки	тыс.т.	6934	6323	6468	6547
	%	1,186	1,252	1,233	1,220
Объем добычи	тыс.т.	6899	6344	6469	6528
	%	1,556	1,610	1,599	1,589

Рассчитав процент потерь природного газа для спрогнозированных значений и сравнив его с данными, полученными ранее методом линейной экстраполяции (табл.8) отмечаем достаточно близкие процентные значения, полученные двумя независимыми методами.

В животноводстве парниковые газы образуется главным образом в результате переработки растительной пищи в кишечнике животных, откуда и попадают в атмосферу. Второй источник это разложение навоза без доступа воздуха. Количество выделяемого метана в первую очередь зависит от вида животных. Основную часть CH_4 выделяет крупный рогатый скот. Главными причинами падения уровня выбросов метана являются продолжающееся снижение поголовья и численности птицы.

Эмиссия метана и закиси азота от животноводства имеют прямую связь с поголовьем. В настоящее время существует тенденция к снижению поголовья, однако вступивший в действие национальный проект в секторе сельского хозяйства предусматривает увеличение поголовья крупного рогатого скота. Существует несколько сценариев увеличения поголовья. Рассмотрим один из них, предусматривающий к 2012 году увеличение поголовья на 500 тыс. голов, а так же сделаем расчет исходя из сложившейся тенденции продлив ее методом линейной интерполяции.

Наибольший коэффициент корреляции между общей эмиссией CH_4 в секторе сельского хозяйства без учета рисоводства, и поголовьем КРС получен для временного ряда с 2000 по 2007 года и составил $P=0,94$.

Приведенный ниже график (рис.6) показывает связь между эмиссией и численностью поголовья. Не закрашенные точки определяют прогнозные значения на период до 2011 года исходя из рассматриваемого сценария и сложившейся тенденции.

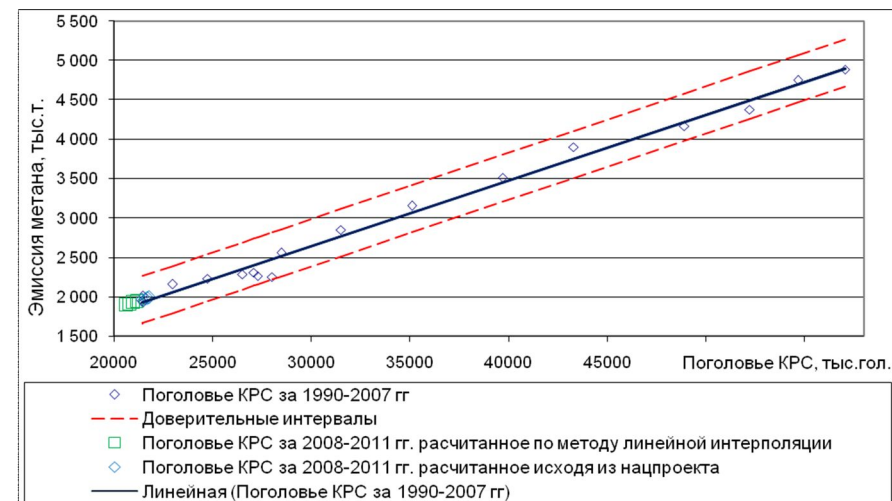


Рисунок 6. Зависимости эмиссии метана от численности поголовья КРС

Значения эмиссии метана от КРС в секторе «сельское хозяйство» для двух различных сценариев представлены в таблице 10.

Таблица 10. Эмиссия метана от КРС

		2008	2009	2010	2011
Экстраполяционный прогноз поголовья КРС.	CH_4 , тыс.т./год	1940	1926	1911	1897
Прирост поголовья на 500тыс. голов к 2012 году	CH_4 , тыс.т./год	1962	1977	1985	1994

Выводы:

- 1) Несмотря на значительные изменения абсолютной величины эмиссии парниковых газов в России в 1990-2007 гг. ее распределение по газам и источникам изменилось не существенно. Для оценки и прогноза 85-88% антропогенной эмиссии парниковых газов в России достаточно рассмотреть всего 3 главных источника эмиссии двуокиси углерода и метана.
- 2) Данные по объему ВВП коррелированы с выбросом CO₂ существенно меньше, чем некоторые отраслевые показатели экономической деятельности. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции были получены для таких отраслевых показателей, как объем железнодорожных грузоперевозок и производство электроэнергии. Данные показатели могут быть использованы в качестве предикторов для оценки и прогнозирования выбросов CO₂.
- 3) Обладая заранее известными значениями предикторов с помощью регрессионных методов можно производить оперативную оценку и строить среднесрочные прогнозы эмиссии CO₂ на территории Российской Федерации.
- 4) Наименьшая погрешность прогнозных оценок эмиссии CO₂ обеспечивается при использовании отраслевых показателей.
- 5) Для оценки и прогноза выбросов CH₄ основными его источниками целесообразно применять простые регрессионные методы, используя в качестве предикторов прогнозы объемов добычи природного газа и численности сельскохозяйственных животных.

Публикации по теме диссертации:

- 1) Самойлов И.А. Некоторые возможные подходы к оперативной оценке и прогнозированию выбросов парниковых газов // Конференция молодых ученых «Проблемы гелиогеофизики и экологии»: Сб.тезисов. – Москва, 2006.
- 2) Нахутин А.И., Самойлов И.А. О выборе предикторов для прогнозной оценки техногенных выбросов парниковых газов //Труды II всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России» - Москва, 2006. – с. 45-49.
- 3) Самойлов И.А. Возможные подходы к оперативной оценке и прогнозированию выбросов парниковых газов // Труды ИПГ

имени академика Е.К.Федорова. Выпуск 85. - Москва, 2006 г. - с. 165-168.

- 4) Самойлов И.А. Выбор предикторов для прогнозной оценки антропогенных выбросов парниковых газов в России // Сибирская конференция молодых ученых по наукам о земле. - Новосибирск, 2006 – с. 202-203.
- 5) Самойлов И.А. Предикторы для статистической оценки и прогноза выбросов CO₂ от использования ископаемого топлива // Использование и охрана природных ресурсов в России, информационно-аналитический бюллетень №6 (96), - Москва, 2007 г. - с. 51-54.
- 6) Самойлов И.А., Нахутин А.И. Оценка и среднесрочный прогноз антропогенной эмиссии диоксида углерода и метана в России статистическими методами // Метеорология и гидрология. – Москва, 2009 г. №6. - с. 25-32.