

## МЕХАНИЗМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КВОТ НА ВЫБРОСЫ ПО КИОТСКОМУ ПРОТОКОЛУ

Алексей Волошин, Ирина Горицына

**Аннотация:** Проблема изменения климата не сводится к обычным экологическим вопросам. Затрагиваются базовые экономические и политические интересы. Киотский протокол – первый международный документ, использующий рыночный механизм для решения глобальных экологических проблем. Предлагаются математические модели для реализации механизмов Киотского протокола.

**Ключевые слова:** Киотский протокол, углеродный рынок, задача распределения квот.

**ACM Classification Keywords:** ACM Classification Keywords: I. Computing Methodologies – I.6. Simulation and modeling (Time series analysis) – I.6.8 Types of Simulation – Gaming.

**Conference:** The paper is selected from XV<sup>th</sup> International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009

---

### Введение

---

Среди глобальных экологических вызовов, угрожающих цивилизации в самом начале XXI века, на первое место, безусловно, должна быть поставлена проблема изменения климата. Мировое сообщество, понимая все потенциальные угрозы глобального изменения климата, предпринимает ряд согласованных мер по адекватному реагированию на этот вызов. Наблюдаемые изменения климатической системы Земли ученые связывают с аномальным ростом концентрации в атмосфере так называемых парниковых газов (ПГ), в первую очередь, CO<sub>2</sub>. За последние десятилетия концентрация в атмосфере CO<sub>2</sub> выросла на треть, метана – в 2.5 раза, выброшены сотни миллионов тонн хлорфторуглеродов (до середины прошлого века их на Земле вовсе не было).

Абсолютное доказательство подобной гипотезы невозможно в принципе: у нас нет второй Земли, чтобы поставить контрольный опыт, поместив ее в точно такие же условия, но исключив влияние человека. Хотим мы этого или нет, все суждения о будущем Земли будут не более, чем предположением. Человек, вынужденный продвигаться в полной тьме, будет стараться это делать с максимальной осторожностью. Точно также человеческой цивилизации в условиях неопределенности предпочтительнее исходить из той гипотезы, которая предписывает ей более осторожное собственное поведение. Именно такой гипотезой и является антропогенная теория изменения климата. У этой теории есть одно важное преимущество: на сегодня она лучше согласована со всеми известными фактами, чем любая другая.

В 2007 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) - представила свой Четвертый оценочный доклад, в котором содержатся обобщенные выводы о прошлых и нынешних климатических изменениях, их воздействии на природу и человека, а также о возможных мерах по противодействию таким изменениям. В этом Докладе говорится, что с вероятностью 0.9 наблюдаемые изменения климата связаны с деятельностью человека. Несмотря на расхождения во взглядах ученых относительно причин изменения климата, сам факт глобального потепления уже никто не отрицает. При этом недостаточная научная определенность не должна использоваться в качестве причины для отсрочки принятия мер по снижению антропогенного влияния на атмосферу Земли.

Развитые страны ответственны за 75% парниковых газов, содержащихся на сегодняшний момент в атмосфере, если не принимать в расчет выбросы от вырубки лесов. Эти страны имеют наибольшие финансовые ресурсы и мощнейший технологический потенциал для сокращения своих выбросов. Таким образом, они должны взять на себя наибольшую тяжесть борьбы с изменением климата в следующем десятилетии. Для того, чтобы удержать глобальное потепление в пределах 2°C выше температуры доиндустриального периода, ЕС и другим развитым странам необходимо сделать следующий важный шаг в рамках нового международного соглашения – снизить общий уровень выбросов к 2020 г. на 30% по сравнению с уровнем 1990 г. Существуют заслуживающие самого серьезного внимания научные доказательства того, что дальнейшее повышение температуры сверх указанного порога может вызвать необратимые и потенциально катастрофические изменения. Хотя в ближайшее время основное бремя борьбы с изменением климата ляжет на развитые страны, одних их усилий будет недостаточно для сокращения выбросов парниковых газов в мировом масштабе.

С ростом потенциала развивающихся стран увеличиваются и их выбросы в атмосферу, которые, по прогнозам, к 2020 г. превысят объемы выбросов развитых стран. Таким образом, необходимо, чтобы развивающиеся страны, в частности, с наиболее быстро развивающейся экономикой, начали как можно скорее ограничивать рост выбросов с перспективой сокращения в абсолютном выражении с 2020 г. и далее. Как только развивающиеся страны достигнут уровня развития, сопоставимого с уровнем развитых стран, они должны также принять на себя обязательства по сокращению выбросов. Эти обязательства должны соответствовать их уровням выбросов, а также техническим и финансовым возможностям стран.

Прогнозируется, что в долгосрочной перспективе изменение климата может привести к сокращению валового внутреннего продукта (ВВП) от 5% до 20% в год, если его не сдерживать путем уменьшения выбросов парниковых газов. Таким образом, проведение международной кампании по борьбе с изменением климата является стратегией с перспективой роста в долгосрочном плане. Чем раньше мы начнем действовать, тем меньше будет цена наших действий. Анализ Европейской Комиссии показывает, что объем инвестиций для перехода на народное хозяйство с низким уровнем выбросов углеродосодержащих газов составит лишь 0,5% мирового ВВП в период между 2013 и 2030 гг. Согласно этим прогнозам, проведение международной кампании по борьбе с изменением климата сократило бы рост мирового ВВП всего лишь на 0,14% в год до 2020 г. Рост мирового ВВП в период с 2005 по 2020 гг. составит 53%, что лишь немного ниже прогнозируемого уровня в 55%, если никаких мер предприниматься не будет. И в этих цифрах не учитываются преимущества сокращения выбросов, такие как снижение ущерба от изменения климата, которого удалось избежать, большая энергетическая безопасность и экономия расходов здравоохранения в связи со снижением уровня загрязненности воздуха.

В качестве первого шага была подготовлена и принята 9 мая 1992г. рамочная Конвенция ООН об изменении климата (РКИК). А в июне 1992 г. на Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро ее подписали 154 страны. Затем встал вопрос о конкретных обязательствах и в декабре 1997 г. на Третьей конференции Сторон РКИК был принят **Киотский протокол** (КП) к РКИК, главной особенностью которого является юридически обязывающие количественные обязательства развитых стран и стран с переходной экономикой по ограничению и снижению поступления ПГ в атмосферу. В самом широком смысле Киотский протокол – первый международный документ, использующий рыночный механизм для решения глобальных экологических проблем. Развитые страны и страны с переходной экономикой могут совместно осуществлять проекты по снижению выбросов ПГ в атмосферу. Предусмотрен также механизм «торговли квотами» на выбросы. Обязательство той или иной страны не должно превысить в среднем за 2008-2012 гг. определенный уровень как наличие у страны общенациональной квоты на выбросы – разрешения на выброс, равный обязательствам. Даже страны, не

ратифицировавшие Киотский протокол, начинают все больше осознавать опасность изменения климата, что приводит к региональным инициативам по сокращению выбросов. ЕС и другим развитым странам необходимо оставаться во главе движения, снизив уровень своих выбросов к 2020 г. до 30% ниже показателя 1990 г. с перспективой дальнейшего сокращения выбросов на 60-80% к 2050 г.

### Зависимость загрязнения окружающей среды от экономического роста

Ведет ли экономический рост к загрязнению окружающей среды? Эмпирические исследования показывают [Самуэльсон, 2008], что с повышением дохода загрязнение, как правило, следует инверсной U-образной кривой. Чем выше доходы страны, тем больше, как правило, средств инвестируют в строительство очистных сооружений, а структура экономики эволюционирует в сторону сферы услуг, постепенно избавляясь от тяжелой и химической промышленности, что также способствует снижению загрязнения окружающей среды. Поскольку в работе исследуются вопросы, связанные с выбросами ПГ в атмосферу, авторы попытались исследовать эту зависимость на примере выбросов основного парникового газа. International Energy Annual 2006 дает информацию «World Per Capita Carbon Dioxide Emissions from the Consumption and Flaring of Fossil Fuels, 1980-2006» по всем странам мира. Исследовав зависимость этих данных в зависимости от валового национального продукта на душу населения ( доклад ООН "State of World Population 2008" р.р. 90-93 , показатель GNI Per Capita PPP\$ 2006), авторы получили зависимость, представленную на рис.1.

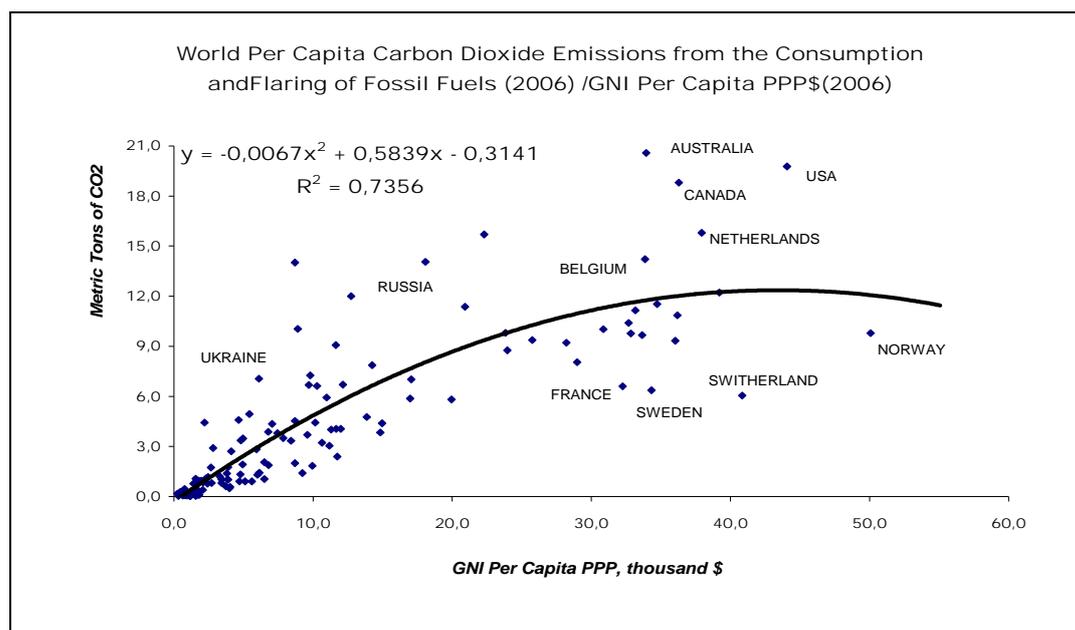


Рис. 1. Зависимость объемов выбросов от ВВП на душу населения

Этим графиком также подтверждается вид так называемой кривой Кузнеца. Безусловно, нельзя рассчитывать на полную адекватность этого графика, поскольку понятие загрязнения намного шире, чем выбросы одного парникового газа.

### Реализация механизмов Киотского протокола

По различным оценкам, ежегодные объемы превышения выбросов ПГ над обязательствами (т.е. спроса на квоты) в 2008-2012 гг. оцениваются суммарно примерно в 150 млн. тонн CO<sub>2</sub> для стран ЕС и 300-400 млн. тонн CO<sub>2</sub> для Японии Канадцы, Новой Зеландии, Норвегии. Большинство развитых стран, скорее

всего, столкнется с невозможностью выполнения своих количественных обязательств по снижению выбросов парниковых газов исключительно за счет реализации внутренней политики и мер. Повышение энергоэффективности и снижение углеродоемкости производства на предприятиях промышленно развитых стран в настоящее время представляется либо дорогостоящим, либо вовсе невозможным из-за отсутствия в современном мире более совершенных технологий. По количеству выбросов в 2006 г. страны ЕС на 8% превышают квоты Киотского протокола. Не все страны ЕС смогут самостоятельно снизить выбросы ПГ до квот КП к 2012г. Европейское агентство по окружающей среде [EEA Report, 2008] констатирует, что Евросоюзу в составе 12 стран, так называемая группы EU-15 для выполнения обязательств по Киотскому протоколу необходимо снизить выбросы ПГ на 8%. И это снижение будет достигнуто не только за счет внутренней политики, но и посредством привлечения механизмов КП. Ситуация по отдельным странам разнится в значительной степени разниться. Все страны ЕС можно условно разбить на три группы: 1-ая группа – страны, которые, ни в , ни в будущем не смогут выполнить обязательства по КП; 2-ая группы – страны, которые в 2006 г. не достигли обязательств, но к 2012 г. выполняют взятые обязательства; 3-я группа – страны, которые уже в 2006 г. имеют выбросы, ниже обязательств по КП (табл.1).

Таблица 1.

	Страны, которые в 2006 г не достигли обязательств, и к 2012 г. тоже не смогут выполнить	Страны, которые в 2006 г не достигли обязательств, но к 2012 г. выполняют взятые обязательства	Страны, которые уже в 2006 г. имеют выбросы, ниже обязательств по КП
EU-15	Denmark, Italy, Spain	Austria, Belgium, Finland, Germany, Ireland, Luxembourg, Netherlands, Portugal	France, Greece, UK, Sweden
EU-12		Slovenia	Bulgaria, Czech Republic, Estonia, Hungary, Latvia, Lithuania, Poland, Romania, Slovak Republic
EU candidate countries			Croatia
Other EEA member countries		Iceland, Lichtenstein, Norway	Switzerland

Совсем недавно, в ноябре 2008 г. Украина реализовала квоты на выбросы парниковых газов. 1.46 миллиона тонн условных выбросов было передано Японии. Это первое в мире соглашение такого масштаба. Договор реализуется двумя равными траншами в 2009 и 2010 гг.

Распределение квот должно (и по-видимому, в какой-то мере – неизвестной авторам – реализуется) осуществляться с учетом иерархической структуры интенсивности загрязнений регионов, их технологического потенциала, плотности населения и т.п. Предположим, что выделяются 5 уровней иерархии, представленных на рис.2.

Пусть Киотским протоколом определен объем выбросом, например, для стран Евросоюза (ЕС). С учетом того, что некоторые страны превышают свои квоты на выбросы, а некоторые недобирает допустимые объемы (см. табл.1), возникает вопрос - каким образом должны распределяться квоты среди государств, входящим в ЕС? Каким образом квоты на выбросы должны распределяться между промышленными районами Украины – Донбассом и Карпатским регионом? Эти проблемы (на любом уровне иерархии) предлагаем формализовать моделью «распределения затрат» в следующей постановке [Волошин, 2006].

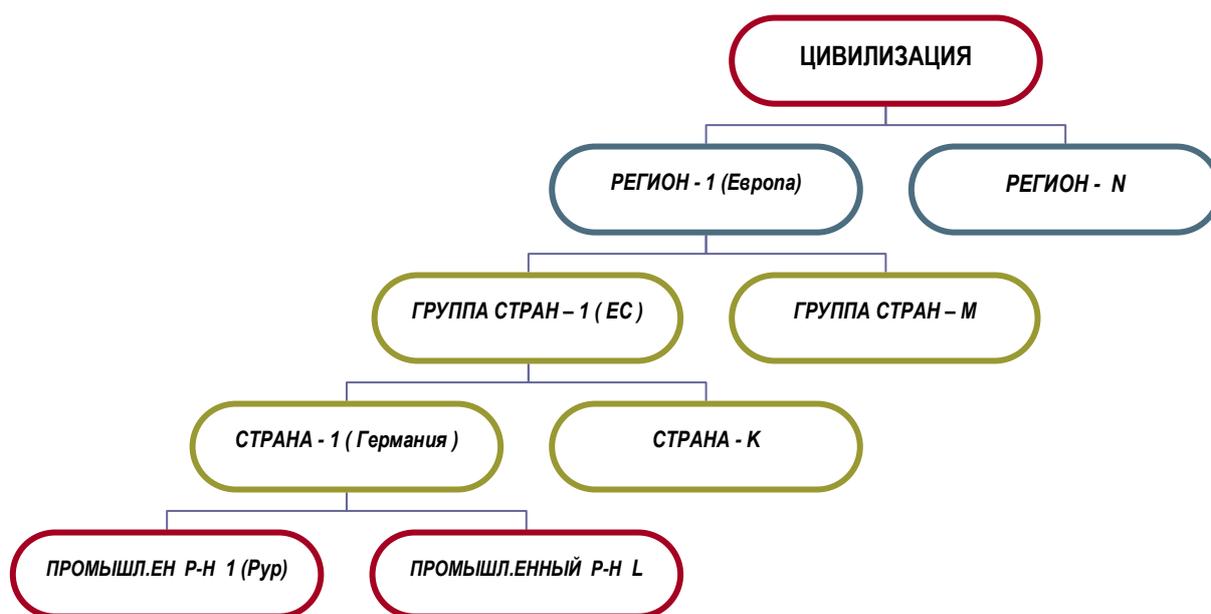


Рис. 2. Иерархия распределения квот

Имеется  $n, n \geq 2$ , агентов;  $c, c > 0$ , - их общие затраты;  $b_i, b_i \geq 0$ , - «потенциальный» доход  $i$ -го агента от эксплуатации коллективного объекта, созданного в результате вложения  $c$  единиц затрат.

Предполагается, что кооперация эффективна:  $\sum_{i=1}^n b_i > c$ .

Возникает две проблемы: 1. Как формировать «потенциальные» доходы каждого агента? 2. Какие механизмы распределения затрат использовать?

Рассмотрим вначале вторую проблему. Три основных способа распределения сводятся к следующему:

1. Выравнивание затрат: затраты  $i$ -го агента  $x_i = c/n, i = \overline{1, n}$ ;

2. Выравнивание прибыли:  $b_i - x_i = b_j - x_j = \frac{\sum_i b_i - c}{n}$  для  $\forall i \neq j$ ;

3. Пропорциональное распределение:  $x_i = \frac{b_i}{\sum_i b_i} c, \forall i$ .

Каждый из приведенных способов наряду с очевидными преимуществами обладает недостатками, приводящими к распаду коалиции [Волошин, 2006]. Так, первый способ может привести к существованию агента, затраты которого могут превысить его доход ( $\exists k : x_k > \frac{c}{n}$ ) и он выйдет из коалиции. Вторым способом может привести к существованию дотируемого агента ( $\exists k : x_k < 0$ ) и его не воспримет коалиция. Третий способ может привести к ничтожной прибыли некоторого агента и он выйдет из коалиции (без которого она не сможет покрыть расходы величиной  $c$ ).

Модификация обсуждаемых способов распределения осуществляется двумя способами. На распределение затрат вводится ограничение вида  $0 \leq x_i \leq b_i, i = \overline{1, n}$ , что приводит к так называемым подушному и уровневому налогам, которые также не лишены недостатков [Волошин, 2006].

Второй способ состоит в сведении задачи распределения к кооперативной игре  $(N, S)$ , где для любой

коалиции  $S, S \subseteq N$ , вводится прибыль  $v(S) = \max\left(\sum_{i \in S} b_i - c, 0\right)$  и предполагается выбирать

распределение из «ядра» игры, которая задается системой неравенств:

$\sum_{i \in S} x_i \geq v(S), \forall S \subseteq N, \sum_{i \in N} x_i = v(N)$ . Это условие означает, что любой коалиции не выгодно

«выделяться». Однако, в этом случае остается проблема выбора единственного решения из ядра, в [Волошин, 2006] предлагается эгалитарное распределение, так называемое « $N$ -ядро». Применяя утилитарный принцип распределения, учитывающий вклад агента в каждую коалицию, приходим к так называемому распределению (вектору) Шепли, которое может не принадлежать ядру игры.

Применительно к задачам распределения квот авторы утверждают, что, во-первых, основное значение имеют принципы формирования «потенциальных» доходов агентов  $b_i, i = \overline{1, n}$ ; во-вторых, главное здесь не свойства получаемого решения (например,  $N$ -ядра или вектора Шепли), а именно принципы распределения (например, принцип равных расходов или равной прибыли), поскольку все человечество равно ответственно за экологию Земли и в равной мере (или «почти в равной мере») страдает от загрязнения окружающей среды.

При формировании «потенциального дохода» предлагается учитывать два эффекта влияния на загрязнение окружающей среды: 1. ВВП на душу населения; 2. Выбросы ПГ на 1 кв.км. и плотность населения. Очевидно, что плата за выбросы уменьшает величину ВВП, а с другой стороны, увеличение выбросов происходит за счет увеличения объемов производства. Таким образом, может быть выгодным одновременно платить за выбросы и наращивать объемы производства. Если плата за дополнительные выбросы будет меньше, чем объемы прироста ВВП, то это будет означать, что стране выгоднее заплатить за наращивание выбросов ПГ, чем сокращать производство. Так, если США присоединятся к КП, они обязаны выплачивать сумму, которая в 4 раза превышает их «пропорциональную долю» в выбросах [Самуэльсон, 2008]. Страна может также устанавливать дополнительное ограничение на эту плату (% от ВВП =  $G$ ),  $\alpha G, 0 < \alpha < 1$ . Поскольку действие КП продолжается до 2012 года, страна может устанавливать верхнюю границу оплаты за превышение выбросов ПГ. Пусть  $C_i$  – «пропорциональная выплата»  $i$ -ой страны. Тогда  $C_i^* = \beta C_i, \beta \leq 1$ , – верхняя граница оплаты и при формировании дохода необходимо учитывать величины  $b_i^* = C_i - \gamma C_i = (1 - \gamma)C_i$ , где  $\gamma, 0 \leq \gamma \leq 1$ , – коэффициент «положительного эффекта» от платы за выбросы. Тогда доход  $i$ -ой страны, учитывающий эффект влияния ВВП per capita на загрязнение окружающей среды равен  $b_i' = \min\{\alpha G, C_i^*\}$ .

Аналогично, при формировании доли дохода  $b_i''$ , учитывающего эффект влияния удельных выбросов и плотности населения в стране, предлагается учитывать положительный эффект от уменьшения удельных выбросов и негативный эффект от уменьшения ВВП (уменьшение объема производства и увеличение расходов на экологию и здравоохранение).

Тогда «потенциальный» доход  $i$ -го агента  $b_i = \delta b_i' + (1 - \delta)b_i''$ , где  $\delta, 0 < \delta < 1$ , - весовой коэффициент, учитывающий особенности конкретной страны или региона.

---

## Выводы

---

Одним из основных недостатков большинства международных договоров об охране окружающей среды является отсутствие конкретных механизмов их реализации, в первую очередь, формализованных правил распределения ответственности, в частности, финансовой, которую можно более или менее точно просчитать. На основе этого прогноза агенты соглашения могут принимать соответствующие решения о кооперации. Об отсутствии подобных механизмов свидетельствует и отказ США ратифицировать Киотский протокол.

В развитие предлагаемых в докладе механизмов распределения квот целесообразно рассмотреть нечеткие постановки моделей распределения коллективных затрат, поскольку параметры, введенные при формировании индивидуальных «потенциальных доходов» агентов являются эмпирическими, а значит неточными, нечеткими, неопределенными.

---

## Благодарности

---

Статья частично финансированна из проекта **ITHEA XXI** Института Информационных теории и Приложений FOI ITHEA и Консорциума FOI Bulgaria ([www.ithea.org](http://www.ithea.org), [www.foibg.com](http://www.foibg.com)).

---

## Литература

---

[Самуэльсон, 2008] Самуэльсон П., Нордхаус В. Экономика.–М.: Вильямс, 2008.–1360с.

[Волошин, 2006] Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Теорія прийняття рішень.– К.: ВПЦ «Київський ун-т», 2006.– 304 с.

[EEA Report, 2008] Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2008.Tracking Progress towards Kyoto Targets. Executive Summary // [www.eea.com](http://www.eea.com)

---

## Информация об авторах

---

**Волошин Алексей** – доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина, 01017 Киев, ул. Владимирская, 64; e-mail: [ovoloshin@unicyb.kiev.ua](mailto:ovoloshin@unicyb.kiev.ua)

**Горицына Ирина**– кандидат экономических наук, старший научный сотрудник; Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина, 01017 Киев, ул. Владимирская, 64; e-mail: [goritsyna@mail.ru](mailto:goritsyna@mail.ru)