

DOI: 10.26794/1999-849X-2022-15-4-96-106
УДК 332.142(045)
JEL C61, D74, Q32

Моделирование региональной торговли квотами на загрязнение окружающей среды

И.Ю. Новоселова^а, А.Л. Новоселов^б

^а Финансовый университет, Москва, Россия

^б Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Предмет исследования – финансирование проектов сокращения загрязнения атмосферного воздуха парниковыми газами предприятиями региона на основе торговли квотами на загрязнение окружающей среды для достижения критериев устойчивого развития. *Цель работы* – формирование механизма региональной торговли квотами на загрязнение окружающей среды для снижения удельных затрат предприятий на объем предотвращенного выброса вредных веществ. Предложено распространить действие механизма торговли квотами на осуществление их комплексной оценки с помощью расчета суммарного приведенного выброса парниковых газов. Разработана итерационная процедура исключения затратных проектов из перечня планируемых к строительству объектов за счет возможного приобретения квот на загрязнение окружающей среды для действующих предприятий, которая включает модель формирования оптимального портфеля атмосфероохранных проектов предприятия и модель его корректировки путем определения оптимального варианта приобретения квот на загрязнение окружающей среды. Предложенный механизм позволяет сокращать загрязнение атмосферного воздуха в регионе. *Сделаны выводы* о том, что разработанный в исследовании механизм региональной торговли квотами на загрязнение парниковыми газами соответствует требованиям оптимального «зеленого» финансирования и может быть легко адаптирован к любому производству на региональном уровне, включая производственный кластер, муниципальный район, город. Приведенные расчеты дают возможность применять разработанный механизм региональной торговли квотами на загрязнение окружающей среды для компаний, в том числе добывающих, перерабатывающих и транспортных.

Ключевые слова: квоты на загрязнение парниковыми газами; торговля квотами; сокращение загрязнений; устойчивое развитие; оптимальный выбор; охрана окружающей среды; Киотский протокол

Для цитирования: Новоселова И.Ю., Новоселов А.Л.. Моделирование региональной торговли квотами на загрязнение окружающей среды. *Экономика. Налоги. Право.* 2022;15(4):96-106. DOI: 10.26794/1999-849X-2022-15-4-96-106

Modeling of Regional Trade in Environmental Pollution Quotas

I. Yu. Novoselova^а, A. L. Novoselov^б

^а Financial University, Moscow, Russia

^б Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

ABSTRACT

The subject of the study is financing of projects to reduce atmospheric air pollution with greenhouse gases by enterprises of the region on the basis of trading quotas for environmental pollution to achieve the criteria of sustainable development. *The purpose of the work* is to form a mechanism for regional trade in environmental pollution quotas to reduce the unit costs of enterprises for the volume of prevented emissions of harmful substances. It is proposed to extend the operation of the quota trading mechanism to the implementation of their comprehensive assessment by calculating the total reduced greenhouse gas emissions. An iterative procedure has been developed for excluding costly projects from the list of facilities planned for construction due to the possible acquisition of environmental pollution quotas for existing enterprises, which includes a model for forming an optimal portfolio of atmospheric protection projects of the enterprise and a model for its adjustment by determining the optimal option for acquiring environmental pollution quotas. The proposed mechanism makes it possible to reduce atmospheric air pollution in the region. *Conclusions are*

drawn that the mechanism of regional trade in greenhouse gas pollution quotas developed in the study meets the requirements of optimal “green” financing and can be easily adapted to any production at the regional level, including a production cluster, a municipal district, a city. These calculations make it possible to apply the developed mechanism of regional trade in environmental pollution quotas for companies, including mining, processing and transport.

Keywords: greenhouse gas pollution quotas; quota trading; pollution reduction; sustainable development; optimal choice; environmental protection; Kyoto Protocol

For citation: Novoselova I. Yu., Novoselov A.L. Modeling of regional trade in environmental pollution quotas. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics, taxes & law.* 2022;15(4):96-106. (In Russ.). DOI: 10.26794/1999-849X-2022-15-4-96-106

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие экономики, понимаемое как принятие комплекса мер, нацеленных на удовлетворение текущих потребностей человека при сохранении окружающей среды и ресурсов, является многоплановым процессом. В процессе перехода человечества к устойчивому развитию решаются задачи технологического обновления производственных процессов, сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду, перехода на новые способы генерации электроэнергии, роста выработки энергии с использованием АЭС и др. Такие проекты требуют специфических методов инвестирования, к которым относится «зеленое» финансирование, ориентированное на предприятия, соответствующие ESG-критериям. Международная практика «зеленого» финансирования позволяет получать более низкую ставку по кредитам, а также в некоторых случаях налоговые льготы. Предприятия стремятся сокращать углеродный след с целью снижения объема потребляемых квот и продажи их излишек. Параллельно идет процесс все большего использования механизма торговли квотами на выбросы парниковых газов, т. е. загрязняющих атмосферный воздух веществ, который используется параллельно с «зеленым» финансированием. Система квотирования выбросов загрязняющих веществ функционирует с 1980-х гг. Впервые такая система была применена в США для борьбы с кислотными дождями. Впоследствии данный подход претерпевал изменения в зависимости от уровня использования и институциональных особенностей тех государств, где предполагалось его применение. В рамках Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата — международного соглашения о сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу для противодействия глобальному потеплению Земли, принятого 11 декабря 1997 г. в японском городе Киото и вступившего в силу

16 февраля 2005 г., система квотирования начала применяться в мировом масштабе. В странах Евросоюза схема торговли квотами пришла на смену не оправдавшему надежд «углеродному» налогу на энергетические предприятия, который пытались внедрить в 1990-е гг. В каждой стране — участнице Киотского протокола торговлей квотами на загрязнение занимается определенная организация [1–3]. Например, в России — это Сбербанк России, в Германии — *German Emissions Trading Authority — DEHSt* и т. д. Эколого-экономический смысл схемы торговли квотами на атмосферное загрязнение воздуха состоит в использовании наиболее рентабельных проектов. С этой целью в странах Центральной и Западной Европы применяется так называемая кривая Мак-Кинси (*McKinsey*) посредством представления числовой информации в виде различных типов графиков, показывающих рост затрат на проекты сокращения загрязнения воздуха в разных отраслях экономики, которые ранжированы по убыванию рентабельности (затрат на единицу снижения выбросов вредных веществ).

В условиях глобальных вызовов и геополитической напряженности для Российской Федерации данный механизм вызывает повышенный интерес. В нашей стране принят Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха». В рамках этого эксперимента на Сахалине будет проведена инвентаризация выбросов и поглощения парниковых газов, осуществлены организационные мероприятия по разработке системы поддержки проектов снижения загрязнения атмосферного воздуха на основе инвестирования денежных средств, получаемых от торговли углеродными единицами в рамках выделенных квот, под которыми подразумеваются

величины допустимых выбросов, устанавливаемые с учетом целевых показателей снижения выбросов для источников выбросов или же их совокупности на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду, и применения «зеленого» финансирования. С 1 января 2020 г. по 31 декабря 2024 г. эксперимент по квотированию выбросов в атмосферный воздух охватывает 12 наиболее загрязненных городов России: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита [4–6].

Интерес к использованию механизма торговли квотами на загрязнение атмосферного воздуха на международном, страновом и региональном уровнях вызван возможностью обеспечения максимальной рентабельности сформированного в регионе набора атмосфероохранных проектов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В существующей налоговой системе предприятия-загрязнители осуществляют плату за загрязнение в рамках прогрессивной шкалы по каждому отдельному виду вредного вещества. Для этого разрабатывается и утверждается базовое значение платежа по каждому вредному веществу, а также лимиты на временно согласованные выбросы парниковых газов, за превышение которых платеж возрастает. При использовании такой системы проводится ежеквартальное измерение объемов выброса вредных веществ и в соответствии с заполненной формой 2ТП-воздух осуществляется расчет и выплата платежей. Разработанная в 1990-х гг. система платежей за загрязнение атмосферного воздуха предусматривает большие платежи за негативное воздействие на окружающую среду, что заставляет предприятия исходить из собственных возможностей и находить пути для сокращения выбросов вредных веществ.

Описанные выше особенности системы торговли квотами за загрязнение атмосферного воздуха позволяют сокращать природоохранные затраты предприятий за счет приобретения у других предприятий объема выбросов вредных веществ, который оказался у них свободным для продажи благодаря достижению ими заданной квоты. Для обеспечения функционирования такого механизма региональные комитеты по природным ресурсам выделяют квоты на загрязнение атмосферного воздуха для каждого предприятия и контролируют

ими достижение требуемого уровня уменьшения выбросов парниковых газов.

Затраты на реализацию атмосфероохранных проектов на разных предприятиях различны. Поэтому в рамках региональной торговли квотами на загрязнение атмосферного воздуха предприятия с высокими затратами на такого рода проекты вместо снижения выбросов вредных веществ могут оплачивать реализацию менее затратных проектов на других предприятиях для получения сокращения выбросов парниковых газов в рамках заданных уровней на обоих предприятиях, т.е. покупать квоты на загрязнение. В целом по региону достигается заданный уровень снижения выбросов парниковых газов, но суммарные затраты для этого оказываются минимальными [7–10].

На практике такое квотирование проводится по отдельным веществам, что усложняет систему планирования и контроля за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, а также торговли квотами на выбросы парниковых газов, поскольку необходимо выполнять работу по снижению загрязнения по каждому веществу в отдельности. Такой нерациональный подход унаследован от существующей системы платежей за загрязнения окружающей среды.

Для его полноценной замены на более эффективный механизм регулирования выбросов парниковых газов созданы необходимые условия, т.е. к настоящему времени приняты методики определения эффективности осуществления природоохранных мероприятий¹, в первой из которых содержатся методический материал по расчету коэффициентов A_i — относительной агрессивности выброса в атмосферу загрязняющих веществ $i = 1, 2, \dots, n$ и уже рассчитанные коэффициенты для 36 веществ. Аналогичная информация в сокращенном виде, но без методического материала для самостоятельного расчета коэффициентов относительной агрессивности представлена во второй методике.

Эти коэффициенты целесообразно брать за основу при разработке региональной системы торговли квотами на загрязнение окружающей среды. Коэффициенты относительной агрессивности из-

¹ Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. М.: Экономика; 1986. 95 с.; Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба, М.: Экономика; 1999. 71 с.

Таблица 1 / Table 1

Расчет приведенного выброса загрязняющих веществ / Calculation of the reduced emission of pollutants

Название загрязняющего вещества / Name of the pollutant	Коэффициент относительно агрессивности, усл. т/т / Coefficient with respect to aggressiveness, cond.t/t	Объем выброса загрязняющего вещества в атмосферный воздух, т/квартал / Volume of emission of pollutant into atmospheric air, tons/quarter	Приведенный выброс, усл. т/квартал / Reduced emission, tons/quarter
Оксид углерода / Carbon monoxide	1,0	200,0	200,0
Сероводород / Hydrogen sulfide	54,8	50,0	2740,0
Оксиды азота / Nitrogen oxides	41,1	50,0	2055,0
Сумма / The amount	-	300,0	4995,0

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

меряются в усл. т/т и позволяют перевести реальные объемы загрязнения атмосферного воздуха за определенный период (месяц, квартал, год) к окиси углерода, для которого коэффициент относительно агрессивности равен единице. В результате применения такого коэффициента все загрязняющие вещества оказываются соизмеримыми по величине негативного воздействия на окружающую среду и измеряются за рассматриваемый период в усл. т за попадания в атмосферу одной тонны условного загрязняющего вещества. Пример такого перевода приведен в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что валовый выброс, который определяется как сумма выброса по всем загрязняющим веществам без учета их агрессивности (сумма колонки 3) в 16 раз меньше суммарного приведенного выброса (сумма колонки 4). Таким образом, учет агрессивности выброса позволяет корректно оценивать загрязнение окружающей среды рассматриваемым источником загрязнения и проводить сопоставление предприятий-загрязнителей, в выбросах которых содержатся загрязняющие вещества.

Это позволяет перейти от квотирования выбросов в атмосферу отдельных веществ к квотированию суммарной приведенной массы выбросов и последующей торговле такими квотами на загрязнение. Особенностью реализуемых природоохранных проектов является сокращение не одного, а одновременно нескольких загрязняющих веществ.

Поскольку приведенный выброс охватывает весь спектр веществ в выбросах предприятий, то механизм торговли квотами суммарного приведенного выброса, измеряемого в усл. т/год, дает, с одной стороны, большую гибкость в торговле квотами на загрязнение между предприятиями, функционирующими в регионе, а с другой стороны, предоставляет возможность добиваться существенного улучшения состояния атмосферного воздуха за счет полного охвата всего спектра загрязняющих атмосферный воздух веществ в регионе [11–15].

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ С УЧЕТОМ ТОРГОВЛИ КВОТАМИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Процедура региональной торговли квотами на загрязнение основана на реализации цели достижения заданных уровней сокращения приведенного выброса M_k для каждого предприятия $k = 1, 2, \dots, K$ и возможностях реализации портфеля атмосфероохраняющих проектов $j \in J_k$. На рис. 1 приведена блок-схема процесса поиска оптимального портфеля проектов с учетом приобретения части квот на загрязнение.

Начало процесса решения поставленной задачи (блок 1, рис. 1) заключается в формировании оптимального портфеля проектов для достижения квотированного объема выбросов вредных веществ для k -го предприятия — M_k который определяется



Рис. 1 / Fig. 1. Блок-схема замещения затратных проектов сокращения загрязнения атмосферного воздуха предприятия k^* на менее затратные проекты других предприятий / Block diagram of the replacement of costly projects to reduce air pollution of the enterprise with less costly projects of other enterprises

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

на основе решения следующей оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимальности целесообразно использовать минимизацию суммарных затрат на реализацию проектов сокращения выбросов в атмосферный воздух:

$$f_k(x) = \sum_{j \in J_k} s_{kj} x_{kj} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где s_{kj} — затраты на реализацию j -го проекта на k -м предприятии ($k = 1, 2, \dots, K$);

J_k — множество проектов, которые могут быть реализованы на k -м предприятии ($k = 1, 2, \dots, K$);

x_{kj} — искомая переменная, принимающая значение 1, если j -й проект включается в оптимальный портфель k -го предприятия, или ноль — в противном случае.

В качестве ограничения в данной задаче используется обязательное достижения квотированного объема выбросов вредных веществ за счет выбираемых в оптимальный портфель атмосфероохраняющих проектов:

$$\sum_{j \in J_k} m_{kj} x_{kj} \geq M_k, \quad (2)$$

где m_{kj} — объем снижения приведенного выброса за счет j -го проекта k -го предприятия.

Ограничение на область изменения искомым переменных устанавливается следующим образом:

$$x_{kj} = 0 \vee 1, \quad j \in J_k. \quad (3)$$

В результате решения задач для каждого предприятия находится оптимальный портфель проектов J_k^* ($k = 1, 2, \dots, K$).

Блок 2 (рис. 1) позволяет определить худший проект j^* по величине удельных затрат на снижение выбросов на предприятии k^* по формуле:

$$(k^*, j^*) = \arg \max_{k=1, 2, \dots, K} \left[\max_{j \in J_k^*} \left(\frac{s_{kj}}{\Delta m_{kj}} \right) \right]. \quad (4)$$

Найденный проект j^* предприятия k^* подлежит замещению путем торговли квотами на менее затратный проект другого предприятия.

Блок 3 (рис. 1) позволяет найти оптимальные варианты замещения высокозатратных проектов для осуществления торговли квотами на загрязнение. С этой целью решается задача корректировки оптимального портфеля проектов k^* -го предприятия. В качестве критерия модели решения задачи корректировки оптимального портфеля проектов предлагается использовать минимизацию суммарных затрат на найденные проекты:

$$\varphi(x) = \sum_{k=1}^K \sum_{\substack{j \in J_k^0 \\ k \neq k^*}} s_{kj} x_{kj} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где J_k^0 — множество проектов, которые не были выбраны в оптимальный проект k -го предприятия ($k = 1, 2, \dots, K, k \neq k^*$) и могут быть реализованы в рамках замещения затратных проектов предприятия k^* .

В модели применяется ограничение, регламентирующее обязательное достижение объема сокращения загрязнения атмосферного воздуха в рамках исключения высокозатратных мероприятий j^* предприятия k^* :

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq k^*}}^K \sum_{j \in J_k^0} m_{kj} x_{kj} \geq M_{k^*} - \sum_{j^*} m_{k^* j^*}. \quad (6)$$

Ограничение на область изменения искомым переменных устанавливается следующим образом:

$$x_{kj} = 0 \vee 1, \quad j \in J_k^0, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad k \neq k^* \quad (7)$$

Заметим, что обе модели (1–3) и (5–7) относятся к классу моделей линейного программирования с булевыми переменными [16–18], и для их решения можно воспользоваться методами случайного поиска, случайного управляемого поиска, а также модифицированным методом Фора и Мальгранжа и др.

В блоке 4 осуществляется проверка на возможность замещения затратных проектов более эффективными способами. Если такие возможности исчерпаны, то решение задачи поиска эффективной торговли квотами на загрязнение выполнено. В противном случае осуществляется переход к блоку 2 для выявления проекта j^* предприятия k^* , который подлежит замещению на менее затратный проект другого предприятия.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОГО МЕХАНИЗМА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ КВОТАМИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Для иллюстрации разработанного регионального механизма торговли квотами на загрязнение были рассмотрены три предприятия, расположенные в одном регионе. В этих предприятиях планируются к реализации атмосфероохранные проекты, характеристики которых приведены в табл. 2.

Воспользовавшись моделью (1–3), для каждого предприятия в отдельности были проведены расчеты по формированию оптимального портфеля атмосфероохранных проектов, результаты которых отражены в табл. 3.

В данной таблице показано, что выбранные проекты обеспечивают достижение заданного снижения выбросов вредных веществ, однако для третьего предприятия при сравнительно небольшом объеме снижения загрязнения (90 усл. т/год), затраты оказались наибольшие (129 млн руб.). Для детального анализа по каждому предприятию были найдены удельные затраты по проектам, по возрастанию которых эти проекты были ранжированы. На рис. 2 построен график показателей затрат и снижения загрязнения нарастающим итогом в ранжированном ряде проектов.

Таблица 2 / Table 2

Характеристики атмосфероохранных проектов по трем предприятиям / Characteristics of atmospheric protection projects at three enterprises

Предприятие / Enterprise	Показатели / Indicators	Значения показателей для проектов / Indicator values for projects						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Затраты, млн руб.	20	15	25	22	34	10	22
	Сокращение выбросов, усл.т/год	31	28	30	39	45	12	24
2	Затраты, млн руб.	29	32	19	24	31	11	22
	Сокращение выбросов, усл.т/год	42	40	25	21	35	12	20
3	Затраты, млн руб.	32	45	49	45	52	37	50
	Сокращение выбросов, усл.т/год	10	28	30	39	45	12	24

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

Таблица 3 / Table 3

Результаты формирования оптимальных портфелей атмосфероохранных предприятий на основе модели (1–3) / Results of forming optimal portfolios of atmospheric protection enterprises based own model (1–3)

Предприятие / Enterprise	Выбор проектов в оптимальный портфель / Selection of projects in the optimal portfolio							Снижение выбросов, усл. т/год / Reduction of emissions, tons per year		Затраты на проекты, млн руб. / Project costs, million rubles
	1	2	3	4	5	6	7	заданное	достигнутое	
1	1	0	1	1	0	0	0	100	100	67
2	1	0	1	0	1	0	1	120	122	122
3	1	0	0	1	1	0	0	90	94	129

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

На основе рис. 2 можно сделать вывод, что затраты на атмосфероохранные проекты на предприятии 3 значительно выше, чем на остальных предприятиях. Это может быть вызвано тем, что на других предприятиях возможности снижения выбросов вредных веществ существенно выше, поэтому проекты менее затратны. Удельные затраты на проекты, отобранные в портфель третьего предприятия, составляют:

- для первого проекта $\frac{32}{10} = 3,200$ млн руб./усл. т;
- для четвертого проекта $\frac{45}{39} = 1,154$ млн руб./усл. т;
- для пятого проекта $\frac{52}{45} = 1,155$ млн руб./усл. т.

Отсюда следует сделать вывод, что наиболее затратным является проект $j^* = 1$ предприятия $k^* = 3$.

Для замещения проекта $j^* = 1$ предприятия $k^* = 3$ можно привлечь проекты 2, 5, 6, 7 предприятия 1 и проекты 2, 4, 6 предприятия 2, которые не были включены в соответствующие портфели атмосфероохранных проектов. Решение задачи замещения затратного проекта третьего предприятия (5–7) позволяет найти решение сокращения загрязнения на третьем предприятии: собственные проекты предприятия: 1, 4 и в рамках торговли квотами проект 6, реализуемый на предприятии 1. Полученные результаты приведены рис. 3.

На рис. 3 видно, что график затрат третьего предприятия с учетом приобретения квот существенно приблизился к графикам затрат других предприятий. Однако вновь можно выделить чрезмерно затратные проекты третьего предприятия из исходного портфеля, к которым относятся проекты 1 и 3. С учетом

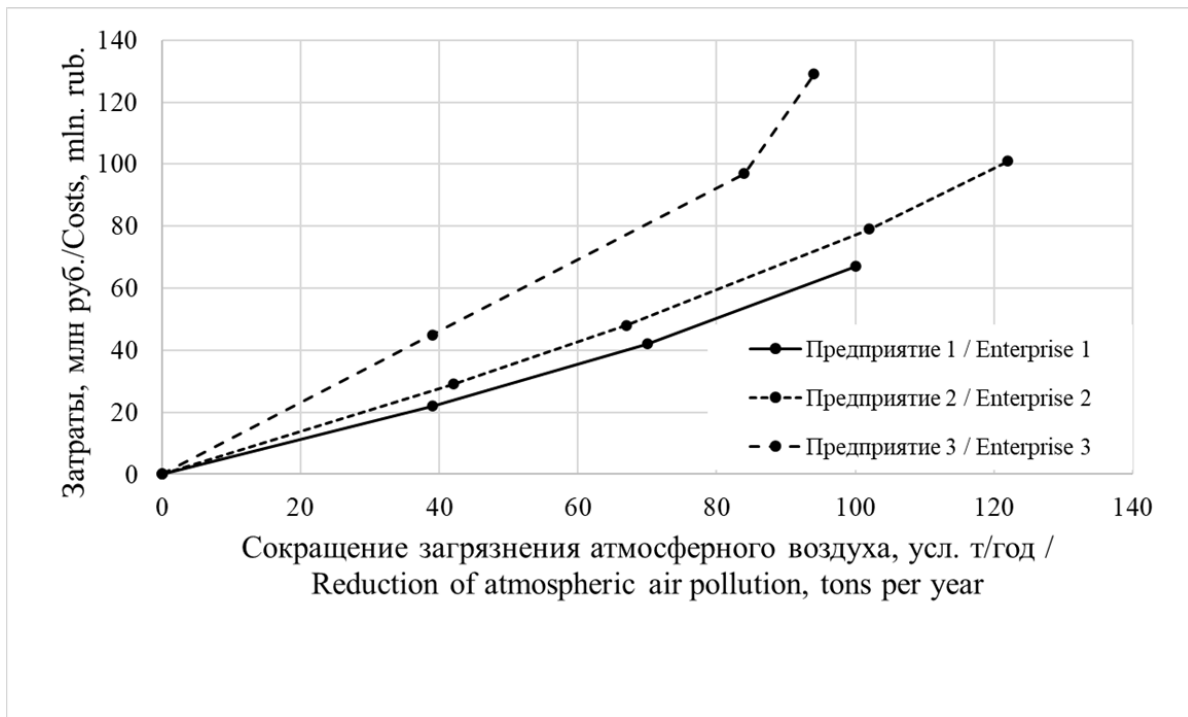


Рис. 2 / Fig. 2. Графики роста затрат для достижения заданных значений снижения загрязнения атмосферного воздуха на анализируемых предприятиях за счет собственных проектов / Graphs of the growth of costs to achieve the specified values of reducing air pollution at the analyzed enterprises at the expense of their own projects

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

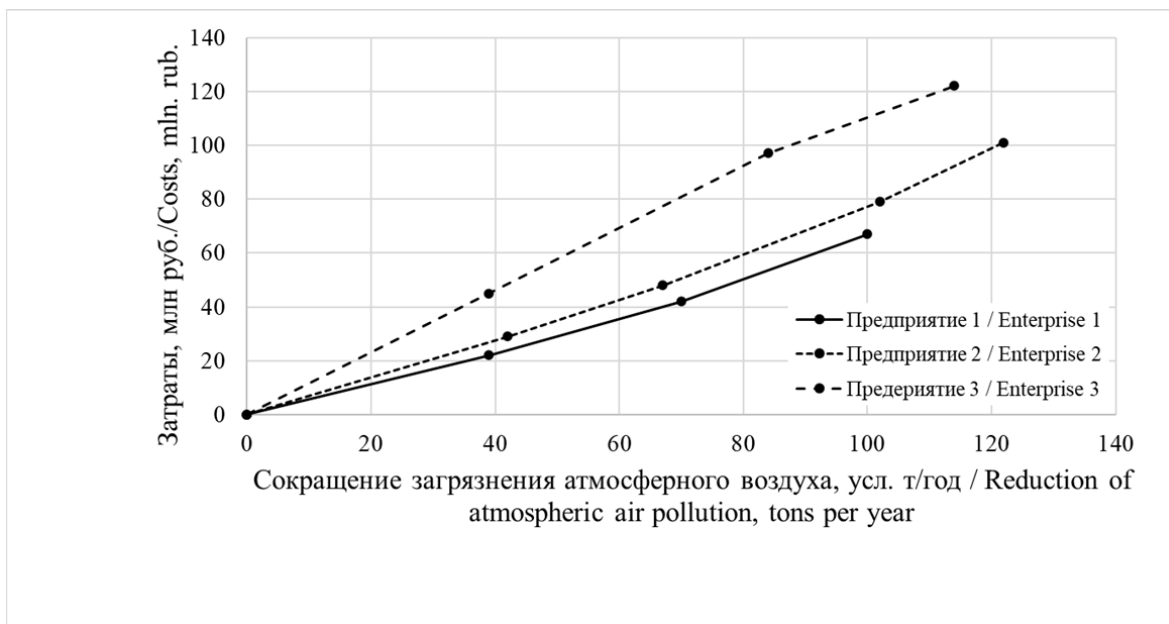


Рис. 3 / Fig. 3. Графики роста затрат для достижения заданных значений снижения загрязнения атмосферного воздуха на анализируемых предприятиях после замещения затратного проекта третьего предприятия / Graphs of cost growth to achieve the specified values of air pollution reduction at the analyzed enterprises after replacing the cost project of the third enterprise

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

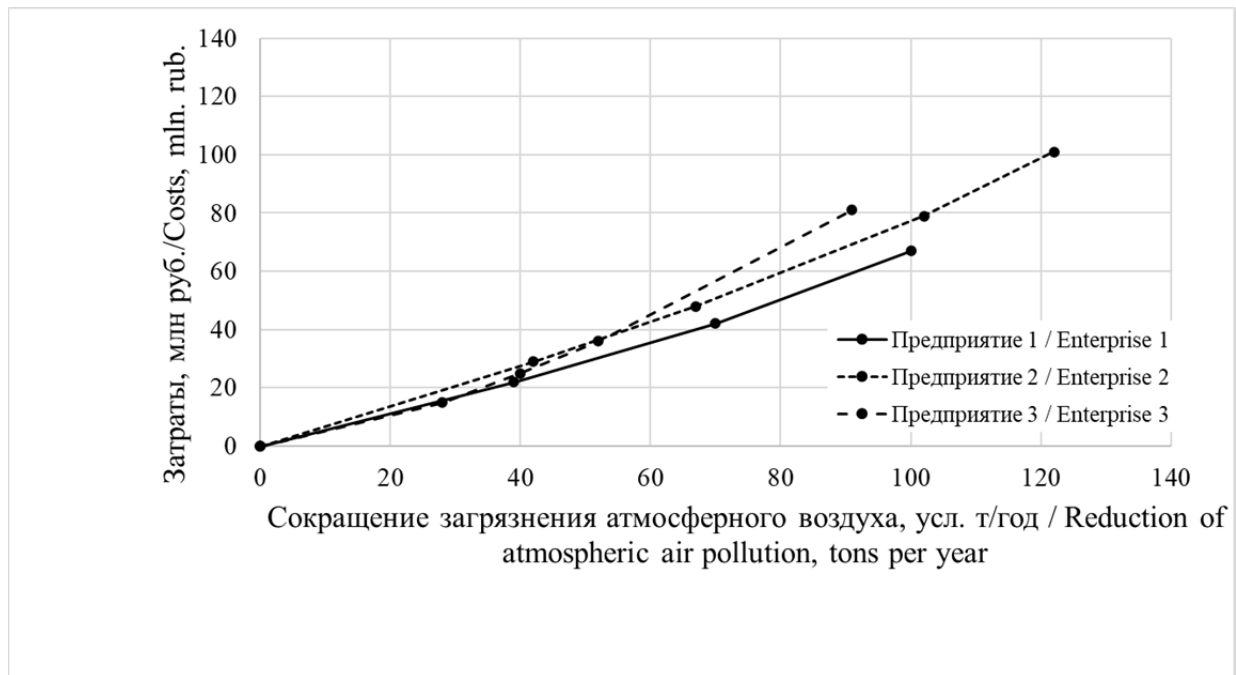


Рис. 4 / Fig. 4. Графики роста затрат для достижения заданных значений снижения загрязнения атмосферного воздуха на анализируемых предприятиях после замещения двух затратных проектов третьего предприятия / Graphs of cost growth to achieve the target values of reducing air pollution at the analyzed enterprises after replacing the two cost projects of the third enterprise

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

Таблица 4 / Table 4

Обобщение полученных результатов региональной торговли квотами на загрязнение / Summary of the results of regional trade in pollution quotas

Отказ от проектов / Refusal of the projects	Требуемое снижение загрязнения, усл. т/год / Required reduction of pollution, tons/year	Затраты на исключаемые проекты, млн руб. / Costs of excluded projects, million rubles	Затраты приобретение квот на загрязнение, млн руб. / Costs of acquiring pollution quotas, million rubles	Проекты, обеспечивающие продажу квот на загрязнение на предприятиях / Projects that ensure the sale of pollution quotas at enterprises		Экономия затрат на третьем предприятии, млн руб. / Cost savings at the third enterprise, million rubles
				1	2	
1	10	32	10	6	-	22
1 и 5	42	84	36	2 и 6	6	48

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

исключения этих проектов увеличивается объем необходимого приобретения квот, и с помощью решения задачи (5–7) получаем дополнительные проекты: 2 и 6 на предприятии 1, проект 6 на предприятии 2. Полученные результаты представлены на рис. 4.

Согласно рис. 4 затраты на сокращение загрязнения на основе реализации собственного проекта и приобретении квот на загрязнение от других предприятий, выполняющих для этого дополнительные проекты, существенно снизились. Экономические показатели, характеризующие сокращение затрат

за счет приобретения квот на загрязнение, приведены в табл. 4.

Таким образом, первая итерация решения задачи торговли квотами на загрязнение позволила сократить затраты на достижение заданной величины сокращения выбросов на 22 млн руб. с приобретением квоты на загрязнение в размере 12 усл. т/год у первого предприятия, а вторая итерация — сократить затраты на 48 млн руб. за счет приобретения квот на загрязнение в размере 42 усл. т/год у первого и второго предприятия.

ВЫВОДЫ

Разработанный механизм региональной торговли квотами на загрязнение парниковыми газами соответствует требованиям оптимального «зеленого» финансирования, поскольку денежные средства поступают предприятию-продавцу квот на загрязнение для реализации атмосфероохраняющих проектов, которые обеспечивают сокращение выбросов парниковых газов сверх заданного объема, реализуемого предприятиям, несущим

затраты на реализацию чрезмерно затратных проектов.

Модели, включенные в механизм региональной торговли квотами на загрязнение, не привязаны к отраслевой специфике и могут быть использованы для добывающих, транспортных, перерабатывающих, сельскохозяйственных и других предприятий. Приведенный пример демонстрирует простоту разработанного механизма и его гибкость. Дальнейшее практическое использование регионального механизма торговли квотами на загрязнение предполагает:

- разработку организационной схемы проведения купли-продажи квот на загрязнение между предприятиями внутри региона;
- формирование и институциональное обеспечение центра обеспечения региональной торговли квотами на загрязнение;
- создание специальной информационно-аналитической среды для поддержания принятия решений по вопросам купли и продажи квот на загрязнение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Jirajariyavech I., Kunnoot S., Iemthanon K. Accounting for external costs in the allocation of carbon emissions quotas for selected industries in Thailand. *Environment Asia*. 2020;13(1):14–25.
2. Chen L. and Wang J. Allocative efficiency of carbon emission allowances among sectors in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018.27(2):557–564.
3. Malagó A., et al. An analytical framework to assess SDG targets within the context of WEF nexus in the Mediterranean region. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021;(164).
4. Zou H., Qin J. and Long X. Coordination decisions for a low-carbon supply chain considering risk aversion under carbon quota policy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(5).
5. Jindal A. and Shrimali G. Cost–benefit analysis of coal plant repurposing in developing countries: a case study of India. *Energy Policy*. 2022;(164).
6. Bravo S.S. Cross-border pollution in an asymmetric trade competition. *International Journal of Sustainable Economy*. 2019;11(1):41–60.
7. Zhao L., et al. A cooperative governance model for SO₂ emission rights futures that accounts for GDP and pollutant removal cost. *Sustainable Cities and Society*. 2021;(66).
8. Bravo S.S. and Ramírez R.S.E. Cuotas de contaminación y tecnología medioambiental diferenciada en presencia de inversión extranjera directa. *Contaduría y Administración*. 2021;66(2).
9. Yashalova N.N., Vasiltsov V.S. and Potravny I.M. Decarbonization of ferrous metallurgy: Objectives and regulatory instruments. *Chernye Metally*. 2020;(8):70–75.
10. Tan Y. and Zhu Z. The effect of ESG rating events on corporate green innovation in China: the mediating role of financial constraints and managers' environmental awareness. *Technology in Society*. 2022;(68).
11. Yan Y., et al., Emissions trading system (ETS) implementation and its collaborative governance effects on air pollution: The China story. *Energy Policy*. 2020;(138).
12. Bartsch A., et al. Expanding infrastructure and growing anthropogenic impacts along Arctic coasts. *Environmental Research Letters*. 2021;16(11).
13. Lee J.H. and Cho J.H. Firm-value effects of carbon emissions and carbon disclosures — evidence from Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(22).

14. Pan Y. and Dong F. How to optimize provincial PM2.5 reduction targets and paths for emerging industrialized countries? Fresh evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(48):69221–69241.
15. Huang D., et al. Industrial-environmental management in China's iron and steel industry under multiple objectives and uncertainties. *Journal of Environmental Management*. 2022;(310).
16. Novoselov A., et al. Preventing regional social and environmental conflicts during oil pipeline construction projects. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2019;7(1):773–785.
17. Novoselov A., et al., Sustainable development of the arctic indigenous communities: The approach to projects optimization of mining company. *Sustainability (Switzerland)*, 2020;12(19):1–18.
18. Novoselov A.L., et al. The mechanism to implement environmental investment projects on the basis of equity financing. *Economy of Region*. 2018;14(4):1488–1497.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ирина Юрьевна Новоселова — доктор экономических наук, профессор департамента отраслевых рынков факультета экономики и бизнеса, Финансовый университет, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-5054-0676>

iunov2010@yandex.ru

Андрей Леонидович Новоселов — доктор экономических наук, профессор кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1495-4836>

alnov2004@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

Irina Yu. Novoselova — Dr. Sci. (Econ.), Prof. of Department of Industry Markets, Faculty of Economics and Business, Financial University, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5054-0676>

iunov2010@yandex.ru

Andrey L. Novoselov — Dr. Sci. (Econ.), Prof. of Department of Mathematical Methods in Economics of Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1495-4836>

alnov2004@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The authors have no conflicts of interest to declare.

Статья поступила 21.05.2022; принята к публикации 27.07.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was received 21.05.2022; accepted for publication 27.07.2022.

The authors read and approved the final version of the manuscript.