

**А. Е. Курило**

доктор экономических наук, заместитель директора на научной работе  
Институт экономики КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

**Г. Т. Шкиперова**

кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник  
Институт экономики КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

**П. В. Дружинин**

доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник  
Институт экономики КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

## **МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**Аннотация.** Перед современным обществом встают задачи снижения негативного влияния развития экономики на окружающую среду. Для прогнозирования экологической нагрузки социально-экономического развития территорий необходим инструментарий, позволяющий проводить аналитическую работу. В качестве такого инструментария могут быть использованы математические модели, учитывающие влияние факторов социально-экономического развития на загрязнение окружающей среды. В работе продемонстрированы регрессионные модели антропогенного воздействия и построенные на их основе функции загрязнения. Данные функции использованы для проведения расчётов на статистических данных по Республике Карелия, представлены результаты аналитической работы и описаны факторы, оказывающие существенное влияние на экологическую ситуацию в регионе в разные временные периоды. Технологическая модернизация производств и структурные сдвиги в экономике оказывают более существенное воздействие при моделировании ситуации. Показатель, учитывающий природоохранные инвестиции имеет меньшую значимость в предыдущие периоды. На основе построенных моделей разработана методика прогнозирования влияния развития экономики на экологическую ситуацию, описаны этапы проведения расчётов. Данная методика позволяет оценивать экологические последствия принимаемых решений на стадии прогнозирования и планирования социально-экономического развития территорий.

**Ключевые слова:** экономическое развитие, математические модели, загрязнение окружающей среды, экономика региона, Республика Карелия.

**A. E. Kurilo**

Doctor of Sciences (Economics), Vice-Director for Science  
Institute of Economy, Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk, Russia

**G. T. Shiperova**

PhD (Economics), Associate Professor, Senior Researcher  
Institute of Economy, Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk, Russia

**P. V. Druzhinin**

Doctor of Sciences (Economics), Associate Professor, Leading Researcher  
Institute of Economy, Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk, Russia

## **THE METHOD OF FORECASTING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION LEVEL ON THE BASIS OF SPECIAL MATHEMATICAL MODELS**

**Abstract.** The modern society encounters the tasks of decreasing negative impact of economic development on the environment. Therefore, for forecasting environmental pressure of socio-economic development it is necessary to find tools that allow to carry out analytical work. Mathematical models taking into consideration influence of factors of socio-economic development on environmental pollution can be used as such tools. The work shows regression models of anthropogenic influence and the pollution functions constructed on their basis. These functions are used for carrying out calculations on statistical data of the Republic of Karelia. The analytical work results are presented, and factors having significant effect on ecological situation in the region during the different temporary periods are described. Technological modernization of productions and structural shifts in the economy make more essential impact when modeling a situation. The indicator considering nature protection investments is less important during the previous periods. On the basis of the constructed models the technique of forecasting influence of economic development on ecological situation is developed, the stages of calculations are described. This technique allows to estimate ecological consequences of the made decisions at the stage of forecasting and planning socio-economic development of territories.

**Keywords:** economic development, mathematical models, environmental pollution, economy of the region, the Republic of Karelia.

В современном мире экономическое развитие оказывает влияние на окружающую среду, которое зачастую является негативным. В федеральных законодательных и стратегических документах последних лет актуализированы задачи по снижению негативного влияния развития экономики на окружающую среду, в том числе по ликвидации накопленного ущерба [1–5]. Для оценки и прогнозирования воздействия экономики на окружающую среду возникает потребность в разработке инструментария, позволяющего проводить аналитическую работу, строить сценарии и принимать управленческие решения. Для решения поставленной задачи необходимо определить факторы, воздействующие на окружающую среду, поскольку это влияние может быть разнонаправленным. Например, возрастание инвестиционной активности может привести к появлению новых производств, что увеличивает экологическую нагрузку, но технологическая модернизация может её существенно снизить. Причём технологическая модернизация может осуществляться в рамках «мягкой» государственной инновационной политики, которая в свою очередь «позволит обеспечить мультипликативный эффект инновационного экономического роста» [6].

В мировой научной литературе для исследования влияния факторов экономического развития на загрязнение окружающей среды предлагаются различные математические модели, среди которых можно выделить модели IPAT и STIRPAT. Это регрессионные модели, отражающие связь антропогенного воздействия на окружающую среду и влияющих на неё факторов. На основе модели IPAT (I (Impact) — воздействие; P (Population) — население; A (Affluence) — благополучие, благосостояние; T (Technology) — технология) строится стохастическая модель STIRPAT, учитывающая вероятностное распределение этих факторов.

В работах авторов в эти модели в качестве факторов вводились различные переменные: численность населения, валовой внутренний продукт (ВВП как индикатор благосостояния стран), объём промышленного производства на душу населения, технологический уровень. Для оценки влияния различных видов деятельности (с учётом специализации стран) применялись такие индикаторы, как доля промышленности и сельского хозяйства в ВВП, доля экспорта и импорта и др. Вместе с тем научных работ в этой области ещё достаточно мало.

В большинстве опубликованных работ показаны результаты расчётов для отдельных государств и отдельных видов загрязнений (чаще всего выбросы углекислого газа). Например, в работе Д. Крамера [7] установлена корреляционная зависимость загрязнения воздуха и численности населения для некоторых видов загрязняющих веществ на данных для штата Калифорния. В работах китайских учёных опубликованы результаты исследований влияния численности населения и его благосостояния (ВВП на душу населения) на загрязнение окружающей среды [8, 9].

В работах американских учёных Роза, Йорка, Дейца [10–12] на основе модели IPAT показаны результаты взаимосвязи антропогенного воздействия (выбросы углекислого газа) и численности населения и сделаны выводы о наличии единичной эластичности в этой модели (рост численности населения на 1 % приводит к увеличению выбросов примерно на 1 %). Результаты исследований на панельных данных по 86 странам мира, приведённые в работе [13], подтвердили эти выводы. В работах греческих исследователей на панельных данных 77 стран мира за 1980–2000 гг. показано прямое и косвенное влияние государственных расходов на загрязнение окружающей среды, причём авторы приходят к выводу о разнонаправленности такого влияния на различные виды загрязнений [14].

Итальянские исследователи [15] на панельных данных (1990–2007 гг.) показали взаимосвязь антропогенного воздействия и экономического роста для отдельных секторов итальянской экономики и сделали вывод о наличии различных сценариев: от прямо пропорциональной зависимости выбросов в атмосферу от объёма производства до эффекта абсолютного декаплинга. Они подтвердили гипотезу об увеличении нагрузки на окружающую среду по мере роста объёмов производства обрабатывающей промышленности, но выявили наиболее проблемные сектора экономики по уровню этой нагрузки.

В работе авторов [16] представлен сравнительный анализ воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду в России и Кыргызстане и показано влияние различий в структуре экономики этих стран на антропогенное воздействие. Например, в моделях, построенных для Киргизии, проявляется более существенное влияние отдельных демографических факторов.

В данной работе предлагается корректировка регрессионных моделей антропогенного воздействия (IPAT и STIRPAT) и демонстрируется построение на их основе функций загрязнения, позволяющих оценить динамику экологической напряжённости территории в зависимости от различных факторов её социально-экономического развития.

При расчётах использовались двух- или трехфакторные функции с постоянными и меняющимися факторными эластичностями, построенные по типу производственных, иногда с учётом нейтрального экологического прогресса [17, 18]:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t), \quad (1)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\nu}(t), \quad (2)$$

где  $Z(t)$  — анализируемый экологический показатель;  $A(t)$  — нейтральный экологический прогресс, который вводится через функцию времени  $A(t) = \exp(p \times t)$ , где  $p$  — темп роста нейтрального экологического прогресса (или интенсивность модернизации производства), позволяет учитывать структурные сдвиги в экономике и технологические изменения в её отдельных секторах;  $U_1(t)$  — показатель, учитывающий развитие экономики (как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду ВРП (инвестиции в экономику, новое строительство и др.));  $U_2(t)$  — показатель, учитывающий природоохранную деятельность и положительно действующий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды и др.);  $U_3(t)$  — показатель, учитывающий изменение действующих производств (как правило, положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в модернизацию производства и др.));  $t$  — год;  $\mu, \eta$  и  $\nu$  — константы (факторные эластичности).

Результаты расчётов данных функций загрязнения были представлены в работах [17, 18 и др.], а также при оценке влияния экономического развития на динамику выбросов парниковых газов в России [19].

В качестве экономических факторов, оказывающих влияние на экологические показатели, чаще рассматривались ВРП и различные виды инвестиций (в основной капитал, новое строительство, модернизацию и природоохранные).

Полученные результаты показали, что основными факторами, способствующими снижению негативного воздействия на окружающую среду, являются модернизация производств и структурные сдвиги в экономике. Влияние природоохранных инвестиций оказалось менее значимым. Для оценки влияния структурных сдвигов проводились также расчёты по отдельным видам экономической деятельности по данным РФ и Республики Карелия. Показано, что структурные сдвиги определяли снижение загрязнений до середины 2000-х гг., затем их положительное влияние существенно ослабевает.

На данном этапе исследования предлагается в качестве фактора, отражающего природоохранную деятельность и положительно влияющего на окружающую среду, рассматривать полные экологические затраты (сумму кумулятивных инвестиций в охрану окружающей среды и текущих затрат на природоохранную деятельность). Данное решение объясняется тем, что выполненные ранее исследования показали необходимость учёта изменений экологической политики. Ранее в расчётах для учёта природоохранной деятельности рассматривались только инвестиции в охрану окружающей среды. Однако все изменения экологических стандартов и требований экологического законодательства, как правило, требуют дополнительных природоохранных затрат, которые предприятия-загрязнители учитывают по статье «текущие (эксплуатационные) затраты на охрану окружающей среды».

Согласно данным Росстата, *текущие (эксплуатационные) затраты на охрану окружающей среды* включают следующие затраты: по содержанию и эксплуатации основных фондов природоохранного назначения; на мероприятия по сохранению и восстановлению качества природной среды, нарушенной в результате производственной деятельности; на мероприятия по снижению вредного воздействия производственной деятельности на окружающую среду; по обращению с отходами производства и потребления; на организацию контроля за выбросами (сбросами), отходами производства и потребления в окружающую среду и за качественным состоянием компонентов природной среды; на научно-исследовательские работы и работы по экологическому образованию кадров. В работе [20] показано, что именно величина текущих затрат на охрану окружающей среды является наиболее значимым фактором снижения отдельных видов загрязнения для регионов РФ.

*Инвестиции в основной капитал*, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, включают затраты на новое строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение и модернизацию объектов. Для учёта временного лага проявления эффекта строительства новых объектов природоохранного назначения и модернизации оборудования представляется целесообразным в расчётах использовать кумулятивные инвестиции за 3 или 5 лет. Соответственно полные экологические затраты будут включать сумму инвестиций в охрану окружающей среды за 3 (5) лет и текущие затраты на природоохранную деятельность.

Расчёты проводились на данных Республики Карелия за период 1990–2016 гг., с учётом лага проявления эффекта инвестиций использовался период 1993–2016 гг. Для построения сопоставимых рядов данные по инвестициям и текущим затратам пересчитывались в ценах 2015 г. Предварительный анализ графиков за 1993–2016 гг. показал, что в динамике зависимости выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от динамики полных экологических затрат можно выделить три периода (рис. 1). Спад экономики в 1990–1998 гг. сопровождался не только значительным снижением выбросов в атмосферу, но и сокращением объёмов финансирования природоохранной сферы. Начавшийся с 1999 г. экономический рост сопровождался дальнейшим уменьшением уровня загрязнения при росте экологических затрат.

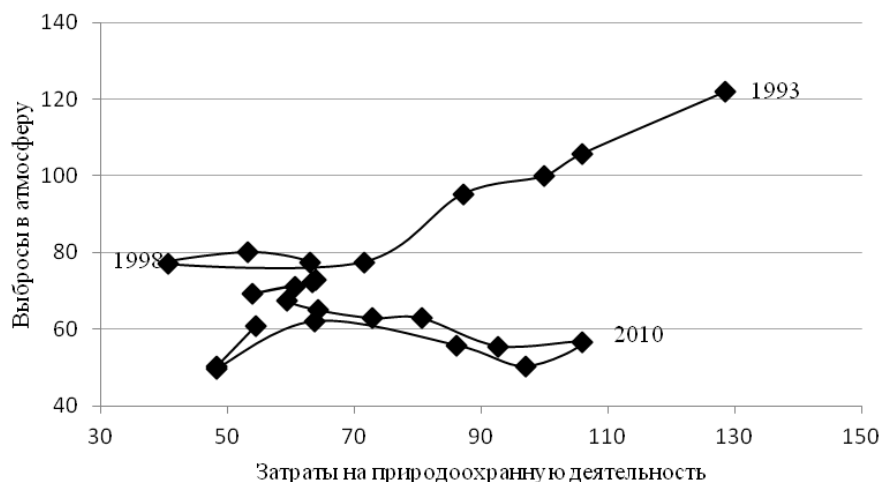


Рис. 1. Взаимосвязь затрат на природоохранную деятельность в РК в ценах 2015 г. и выбросов в атмосферу за 1993–2016 гг. (% к 1995 г.)

Можно предположить, что положительное влияние в период 1999–2010 гг. оказывали затраты на охрану атмосферного воздуха. Линейное уравнение зависимости выбросов в атмосферу от полных затрат на охрану атмосферного воздуха имеет достаточно хорошие статистические характеристики ( $R^2 = 0,80$ ,  $F = 35$ ). В результате расчётов получено, что рост экологических затрат на 1 % способствует снижению выбросов на 0,013 %. Однако, как показали результаты более ранних исследований [18], влияние структурных сдвигов в экономике в этот период было более значимым фактором, чем объём экологических затрат.

Период 2010–2016 гг. характеризуется снижением затрат на охрану атмосферного воздуха и незначительным увеличением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 2).

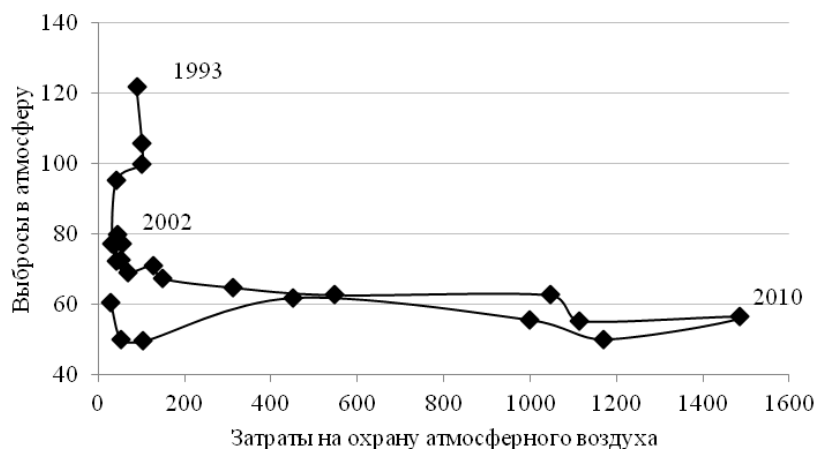


Рис. 2. Взаимосвязь затрат на охрану атмосферного воздуха в РК в ценах 2015 г. и выбросов в атмосферу за 1993–2016 гг. (% к 1995 г.)

Этот период можно характеризовать как переходный к новым экологическим стандартам, регламентированным меняющимся экологическим законодательством. Законодательно установленные ориентиры экологизации экономики были заданы еще в 2008 г. в Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. [21] в разделе «Экологическая безопасность экономики и экология человека»: снижение удельных уровней воздействия на окружающую среду в 3–7 раз в зависимости от отрасли; сокращение числа городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения не менее чем в 5 раз; сокращение количества жителей, проживающих в неблагоприятных экологических условиях, не менее чем в 4 раза; рост рынка экологического деvelopeмента, товаров и услуг в 5 раз и расширение занятости с 30 тыс. до 300 тыс. рабочих мест; снижение уровня экологического воздействия в 2–2,5 раза. Далее эти целевые индикаторы были закреплены в российской и региональных программах «Об охране окружающей среды». Однако затянувшийся кризис в экономике, введение санкций, падение цен на нефть и пр. отодвигает решение экологических задач на более длительную перспективу [22]. Влияние внешних факторов сказывается на степени достижимости установленных целевых индикаторов в сфере экологии. Так, например, в четырех регионах СЗФО (городе Санкт-Петербурге, Республике Карелии, Новгородской и Ленинградской областях) за весь период реализации Программы, включая 2016 г., не был достигнут ни один целевой показатель. Тем не менее, влияние такого фактора как изменение экологической политики в дальнейшем будет только усиливаться, и это необходимо учитывать в модели.

График зависимости сброса загрязнённых сточных вод и затрат на природоохранную деятельность представлен на рисунке 3. Расчёты по сбросу загрязнённых сточных вод по формуле (2) показали, что рост ВРП на 1 % ведёт к увеличению нагрузки на водоёмы на 0,30 %, инвестиции в основной капитал и затраты на охрану окружающей среды снижают сбросы загрязнённых сточных вод на 0,07 % и на 0,11 % соответственно.

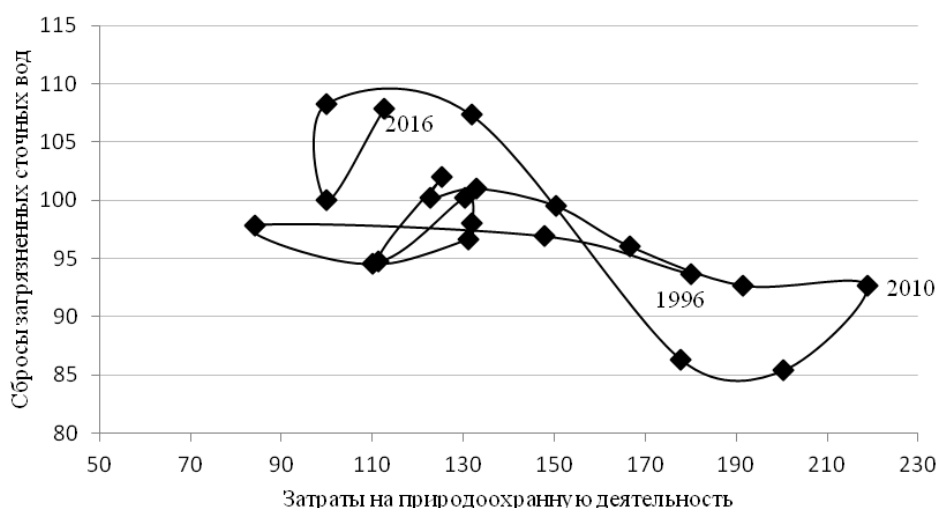


Рис. 3. Взаимосвязь затрат на природоохранную деятельность в РК в ценах 2015 г. и сбросов загрязнённых сточных вод за 1996–2016 гг. (% к 2015 г.)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что объёмы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, и объёмы сбросов загрязнённых сточных вод в значительной степени зависят от рассматриваемых факторов. Наиболее значимыми факторами по результатам настоящих и ранее проведённых исследований можно считать инвестиции в модернизацию, структурные сдвиги в экономике и величину затрат на природоохранную деятельность.

На основе построенных моделей разработана методика прогнозирования влияния развития экономики на экологическую ситуацию. Прогнозирование осуществляется в несколько этапов. В ходе первого этапа рассматриваются основные экономические и экологические показатели развития, выделяются особенности территории и выявляются сектора экономики, оказывающие наибольшее влияние на окружающую среду. Анализируются данные, для первоначальной оценки динамики факторных эластичностей и выявления периодов с различными сценариями поведения показателей строятся графические зависимости экологических, экономических и природоохранных показателей. В результате определяются ограничения на параметры функций и выбираются функции, наиболее подходящие для расчётов, прежде всего исходя из соответствия поведения факторных эластичностей.

На втором этапе, на основе проведенного анализа данных, строятся уравнения и оцениваются их параметры по полному ряду данных и по отдельным периодам. Затем проводится анализ результатов расчётов, и уточняются, дополняются или корректируются данные. Полученные параметры уравнений сравниваются с результатами предварительного исследования графиков. Выбор функций для прогнозирования, наиболее адекватно описывающих анализируемые процессы, осуществляется с учётом полученных статистических характеристик. При этом для каждого вида загрязнений (выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод, образование отходов и пр.) и каждого региона индивидуально подбираются как факторы, так и параметры функций.

Третий этап связан с построением сценариев, учитывающих варианты внешнего воздействия на эколого-экономические процессы, включая политику органов власти. В модели это отражается в определении вариантов распределения инвестиций и других факторов и соответственно в изменении параметров уравнений. При решении этой задачи большое значение играют изменения как социально-экономической, так и экологической политики.

На четвёртом этапе на основе построенных моделей по выбранным сценарным условиям осуществляется прогнозирование, появляются сценарии, отражающие различные варианты распределения инвестиций и изменения других факторов. Сценарии представляют собой количественные оценки не только развития экономики региона, но и её влияния на окружающую природную среду.

Для проверки возможностей использования полученных моделей для прогнозирования были выполнены расчёты по сценарным условиям, взятым из утверждённой в 2010 г. Стратегии социально-экономического развития Республики Карелия до 2020 г. В Стратегии выделено три сценария развития республики (инерционный, инвестиционный и инновационный), которые были дополнены разделом по экологической политике, отражающим динамику природоохранных затрат по видам загрязнений. Так, в ходе расчётов предполагалось, что в инерционном сценарии инвестиции в охрану атмосферного воздуха снижались до уровня 2003 г. и затем к 2020 г. достигали уровня 2008 г. В инвестиционном сценарии природоохранные инвестиции сначала уменьшались вдвое, а затем к 2018 г. возвращались на уровень 2008 г. В инновационном сценарии после снижения они к 2020 г. в 1,5 раза превышали уровень 2008 г. Результаты расчётов показали, что лишь инновационный сценарий, который предполагает рост ВРП на 75 %, за счёт изменения структуры экономики даёт продолжение сложившихся тенденций снижения уровня загрязнения атмосферы. Остальные сценарии характеризуются сохранением или увеличением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 4). Прогноз строился без учёта изменений экологического законодательства.

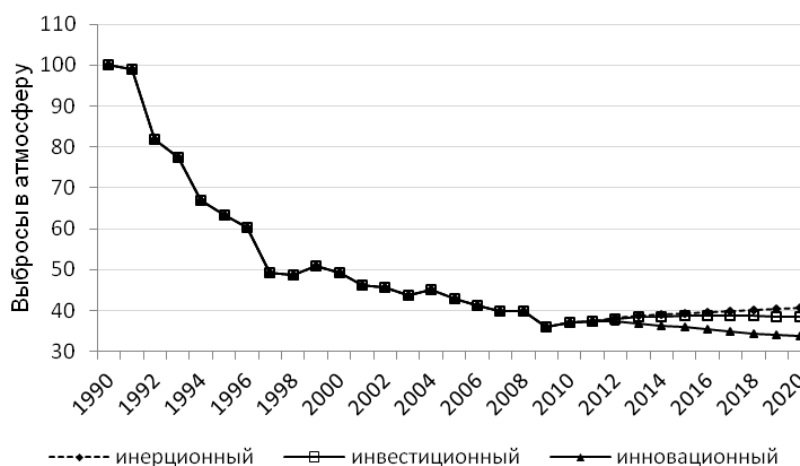


Рис. 4. Прогноз изменения выбросов в атмосферу в соответствии с экономическими сценариями развития Республики Карелия (% к 1990 г.)

Сопоставление прогнозных и фактических показателей влияния экономики на окружающую среду в Карелии за период реализации Стратегии–2020 после её утверждения в июне 2010 г. свидетельствует о реализации инерционного сценария развития региона. Реализация инновационного сценария, который принят за базовый органами власти республики, требует изменения инвестиционной политики. Снижение нагрузки на окружающую среду возможно только при условии привлечения инвестиций в новые отрасли (реализация структурных сдвигов в экономике) и замены технологий на действующих предприятиях по производству бумаги и добыче полезных ископаемых.

В условиях высоких рисков инвестирования в экономику России и высокой капиталоемкости модернизации предприятий металлургии и ЦБП преодолеть разрыв в технологиях невозможно даже в рамках инновационного сценария рассматриваемой Стратегии.

Принимая во внимание сегодняшнюю ситуацию, в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов, предприятия, в первую очередь, нацелены лишь на постепенную замену оборудования. Но для улучшения сложившейся ситуации остро ощущается необходимость реализации крупных проектов, использующих современные экологичные технологии, но в тоже время доступные для предприятий.

Предложенная методика позволяет ещё на стадии прогнозирования и планирования социально-экономического развития территории рассчитывать различные сценарии и виртуально оценивать их экологические последствия, выбирая наиболее целесообразные варианты.

*Работа выполнена при поддержке отделения гуманитарных и общественных наук Российского фонда фундаментальных исследований (ОГОН РФФИ № 17-002-00449) в части анализа показателей и расчёта моделей по Республике Карелия. Методика прогнозирования разработана при проведении НИР по теме «Экономико-математическое моделирование и прогнозирование адаптации региональных социо-эколого-экономических систем к изменениям мировой экономики, Федеральной политики и другим внешним шокам» (№ 0224-2015-0002).*

## Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_174235/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174235/) (дата обращения: 03.10.2017).
2. Федеральный закон от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_172948/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/) (дата обращения: 03.10.2017).
3. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года (утв. Президентом РФ от 30 апреля 2012 г.) URL: <http://base.garant.ru/70169264/#ixzz3VNmrEFvB> (дата обращения: 03.10.17).
4. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 года № 326 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы». URL: <http://docs.cntd.ru/document/499091755> (дата обращения: 11.09.2017).
5. Указ Президента РФ от 19 апреля 2017 г. № 176. «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года». URL: [http://base.garant.ru/71659074/#block\\_1000](http://base.garant.ru/71659074/#block_1000) (дата обращения: 03.10.2017).
6. Жаров В. С., Цукерман В. А. Механизм стимулирования инновационного экономического развития / Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. VIII науч.-практич. конф. с междунар. участием, под. ред. А. В.Бабкина. 2017. С. 481–484.
7. Cramer J.C. Population Growth and Air Quality in California // Demography. 1998. Vol. 35. P. 45–56.
8. Dai H., Sun T., Zhang K., Guo W. Research on Rural Nonpoint Source Pollution in the Process of Urban-Rural Integration in the Economically-Developed Area in China Based on the Improved STIRPAT Model // Sustainability. 2015. Vol. 7. P. 782–793. URL: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/782/htm> (дата обращения: 10.09.2017).
9. Jia J., Deng H., Duan J., Zhao J. Analysis of the Major Drivers of the Ecological Footprint Using the STIRPAT Model and the PLS Method-A Case Study in Henan Province, China // Ecological Economics. 2009. Vol. 68. P. 2818–2824.
10. Rosa E. A., York R., Dietz T. Tracking the Anthropogenic Drivers of Ecological Impacts // AMBIO: A Journal of the Human Environment. 2004. Vol. 33. P. 509–512. URL: <http://res.ku.edu/~crgc/NSFWorkshop/Readings/TrackingTheAnthropogenic%20Drivers.pdf> (дата обращения: 03.11.2017).
11. York R. De-Carbonization in Former Soviet Republics, 1992–2000: The Ecological Consequences of De-Modernization // Social Problems. 2008. Issue 3. Vol. 55. P. 370–390.
12. York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts // Ecological Economics. 2003. Vol. 46 (3). P. 351–365.
13. Neumayer E. Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution // Population and Environment. 2004. Vol. 26 (1). P. 5–21.

14. Halkos G. E., Paizanos E. A. The Effect of Government Expenditure on the Environment: An Empirical Investigation // *Ecological Economics*. 2013. Vol. 91. P. 48–56.
15. Marin G., Mazzanti M. The Evolution of Environmental and Labor Productivity Dynamics // *Journal of Evolutionary Economics*. 2010. Vol. 23 (2). P. 357–399.
16. Шкиперова Г. Т., Курило А. Е., Дружинин В. П. Моделирование эколого-экономических процессов в России и Кыргызстане: отличительные особенности // *Экономика и предпринимательство*. 2015. № 6–3. С. 124–130.
17. Влияние развития экономики на окружающую среду: моделирование и анализ расчётов / под ред. П. В. Дружинина. Петрозаводск, 2010. 119 с.
18. Дружинин П. В. Об оценке влияния развития экономики на окружающую среду // *Экономика и математические методы*. 2010. № 4. С. 3–11.
19. Шкиперова Г. Т., Дружинин П. В. Оценка влияния климатических изменений на экономику российских регионов // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2014. № 34. С. 43–50.
20. Клевакина Е. А., Забелина И. А. Анализ эффективности природоохранных механизмов в регионах трансграничного взаимодействия с КНР // *Эколого-экономические проблемы развития регионов и стран (устойчивое развитие, управление, природопользование): мат-лы 14-й междунар. науч.-практич. конф. Российского общества экологической экономики*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017 С. 267–272.
21. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р (ред. от 10.02.2017) «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=212832&fld=134&dst=100007,0&rnd=0.17435023611650813#0> (дата обращения: 06.11.2017).
22. Замятина М. Ф. Экологизация промышленной политики как фактор регионального развития // *Стратегии бизнеса*. 2016. № 4. С. 6–9. URL: <http://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/229> (дата обращения: 06.11.2017).

## References

1. *Federalnyj zakon ot 21.07.2014 No. 219-FZ “O vnesenii izmenenij v Federalnyj zakon “Ob ohrane okruzhayushchej sredy” i otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii”* [The Federal Law of 21.07.2014 N 219-FZ “About Modification of the Federal Law “On the Protection of the Environment” and Certain Legislative Acts of the Russian Federation”]. (In Russ.). Available at: [http://consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_174235/](http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174235/) (accessed 03.10.2017).
2. *Federalnyj zakon ot 29.12.2014 No. 458-FZ “O vnesenii izmenenij v Federalnyj zakon “Ob othodah proizvodstva i potrebleniya”, otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii i priznanii utrativshimi silu otdelnyh zakonodatelnyh aktov polozhenij zakonodatelnyh aktov Rossijskoj Federacii”* [The Federal Law of 29.12.2014 No. 458-FZ “About Modification of the Federal Law “On Wastes of Production and Consumption”, Certain Legislative Acts of the Russian Federation and the Annulment of Certain Legislative Acts (Provisions of Legislative Acts) of the Russian Federation”]. (In Russ.). Available at: [http://consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_172948/](http://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/) (accessed 03.10.2017).
3. *Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti ehkologicheskogo razvitiya Rossii na period do 2030 goda (utv. prezidentom RF ot 30 aprelya 2012g.)* [Principles of State Policy in the Field of Environmental Development of Russia until 2030 (Approved. The President of the Russian Federation of April 30, 2012)]. (In Russ.). Available at: <http://base.garant.ru/70169264/#ixzz3VNmrEFvB> (accessed 03.10.2017).
4. *Postanovlenie pravitelstva RF ot 15 aprelya 2014g. No. 326 “Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federacii “Ohrana okruzhayushchej sredy” na 2012–2020 gody”* [The Decree of the RF Government of April 15, 2014 No. 326 “On Approval of the State Program of the Russian Federation “Environmental Protection” for 2012–2020”]. (In Russ.). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499091755> (accessed 11.09.2017).
5. *Ukaz prezidenta RF ot 19 aprelya 2017g. No. 176 “O strategii ehkologicheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda”* [The Decree of the President of the Russian Federation from April 19, 2017 No. 176 “On the Strategy of Ecological Security of the Russian Federation for the Period till 2025”]. (In Russ.). Available at: [http://base.garant.ru/71659074/#block\\_1000](http://base.garant.ru/71659074/#block_1000) (accessed 03.10.2017).
6. Zharov V. S., Cukerman V. A. *Mekhanizm stimulirovaniya innovacionnogo ehkonomicheskogo razvitiya* [The Mechanism of Stimulation of Innovative Economic Development]. *Innovacionnye klasteri v cifrovoj ehkonomie: teoriya i praktika. Trudy VIII nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Innovation Clusters in the Digital Economy: Theory and Practice. Proceedings of the VIII Scientific-Practical Conference with International Participation], 2017, pp. 481–484. (In Russ.).



7. Cramer J. C. Population Growth and Air Quality in California. *Demography*. 1998, vol. 35. pp. 45–56.
8. Dai H., Sun T., Zhang K., Guo W. Research on Rural Nonpoint Source Pollution in the Process of Urban-Rural Integration in the Economically-Developed Area in China Based on the Improved STIRPAT Model. *Sustainability*. 2015, vol. 7, pp. 782–793. Available at: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/782/htm> (accessed 10.09.2017).
9. Jia J., Deng H., Duan J., Zhao J. Analysis of the Major Drivers of the Ecological Footprint Using the STIRPAT Model and the PLS Method-A Case Study in Henan Province, China. *Ecological Economics*. 2009, vol. 68, pp. 2818–2824.
10. Rosa E. A., York R., Dietz T. Tracking the Anthropogenic Drivers of Ecological Impacts. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2004, vol. 33, pp. 509–512. Available at: <http://res.ku.edu/~crgc/NSFWorkshop/Readings/TrackingTheAnthropogenic%20Drivers.pdf> (accessed 03.11.2017).
11. York R. De-Carbonization in Former Soviet Republics, 1992–2000: the Ecological Consequences of De-Modernization. *Social Problems*. 2008, Issue 3, vol. 55, pp. 370–390.
12. York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts. *Ecological Economics*. 2003, vol. 46, no. 3, pp. 351–365.
13. Neumayer E. Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution. *Population and Environment*. 2004, vol. 26, no. 1, pp. 5–21.
14. Halkos G. E., Paizanos E. A. The Effect of Government Expenditure on the Environment: An Empirical investigation. *Ecological Economics*. 2013, vol. 91, pp. 48–56.
15. Marin G., Mazzanti M. The Evolution of Environmental and Labor Productivity Dynamics. *Journal of Evolutionary Economics*. 2010, vol. 23, no. 2, pp. 357–399.
16. Shkiperova T. G., Kurilo A. E., Druzhinin V. P. *Modelirovanie ehkologo-ehkonomicheskikh processov v Rossii i Kyrgyzstane: otlichitel'nye osobennosti* [Modeling of Ecological-Economic Processes in Russia and Kyrgyzstan: Specific Features]. *Ehkonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and Entrepreneurship], 2015, no. 6–3, pp. 124–130. (In Russ.).
17. *Vliyanie razvitiya ehkonomiki na okruzhayushchuyu sredu: modelirovanie i analiz raschetov* [The Impact of Economic Development on the Environment: Modeling and Analysis of Calculations]. Petrozavodsk, 2010, 119 p.
18. Drizhinin P. V. *Ob ocenke vliyaniya razvitiya ehkonomiki na okruzhayushchuyu sredu* [Estimation of the Effect of Economic Development on the Environment]. *Ehkonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], 2010, no. 4, pp. 3–11. (In Russ.).
19. Shkiperova T. G., Druzhinin P. V. *Ocenka vliyaniya klimaticheskikh izmenenij na ehkonomiku rossijskikh regionov* [Assessment of the Impact of Climate Change on the Economy of Russian Regions]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'* [National Interests: Priorities and Security], 2014, no. 34, pp. 43–50. (In Russ.).
20. Klevakina E. A., Zabelina I. A. *Analiz ehffektivnosti prirodohrannykh mekhanizmov v regionah transgranichnogo vzaimodejstviya s KNR* [Analysis of the Effectiveness of Environmental Mechanisms in the Regions Cross-Border Cooperation with China]. *Ehkologo-ehkonomicheskie problemy razvitiya regionov i stran (ustojchivoe razvitie, upravlenie, prirodopol'zovanie)* [Ecological-Economic Problems of Development of Regions and Countries (Sustainable Development, Governance, Environmental Management)]. *Materialy 14-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Rossijskogo obshchestva ehkologicheskoy ehkonomiki* [Materials of 14<sup>th</sup> International Scientific-Practical Conference of the Russian Society of Ecological Economics]. Petrozavodsk, Publ. Karelian Research Centre of the RAS, 2017, pp. 267–272. (In Russ.).
21. Rasporyazhenie pravitelstva RF ot 17.11.2008 No. 1662-R (red. ot 10.02.2017) “O koncepcii dolgosrochnogo socialno-ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda” [The Order of the Government of the Russian Federation of 11.17.2008 No. 1662-R (Eds. of 10.02.2017) “About the Concept of Long-Term Social and Economic Development of the Russian Federation until 2020”]. (In Russ.) Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=212832&fld=134&dst=100007,0&rnd=0.17435023611650813#0> (accessed 06.11.2017).
22. Zamyatina M. F. *Ehkologizaciya promyshlennoj politiki kak faktor regional'nogo razvitiya* [The Greening of Industrial Policy as a Factor of Regional Development]. *Strategii biznesa* [Business Strategy], 2016, no. 4, pp. 6–9. (In Russ.) Available at: <http://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/229> (accessed 06.11.2017).