

ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 332.142.6: 332.146.2

© Дружинин П.В.

© Шкиперова Г.Т.

Оценка возможности снижения экологической нагрузки при переходе на инновационный путь развития *

В статье предлагается подход, в рамках которого строится несколько различных типов функций, связывающих экономические и экологические показатели. Данные модели позволяют учесть экологические ограничения экономического развития территории и могут использоваться при разработке различных стратегических документов. Для основных типов предложенных функций описываются результаты расчётов по данным Карелии.

Модель, окружающая среда, инвестиции, функция загрязнения.



**Павел Васильевич
ДРУЖИНИН**

доктор экономических наук, доцент
зав. отделом Института экономики Карельского научного центра РАН
pdruzhinin@mail.ru



**Галина Тимофеевна
ШКИПЕРОВА**

кандидат экономических наук, доцент
старший научный сотрудник Института экономики
Карельского научного центра РАН
shkiperova@mail.ru

Развитие экономики связано с воздействием на окружающую среду, поскольку создание новых и расширение существующих производств ведёт к положительным экономическим и социальным результатам, но имеет и отрицательные стороны, в частности может ухудшаться экологическая обстановка.

В 1990-х гг. спад в экономике сопровождался снижением воздействия на окружающую среду. Начавшийся с 1999 г. в большинстве регионов экономический рост создал опасность значительного ухудшения экологической ситуации. Основной причиной прогнозируемого увеличения негативного воздействия считалась

* Исследования финансируются РФФИ (грант № 11-06-00227а).

высокая степень изношенности как основного оборудования, так и природоохранных фондов. В реальности рост уровня загрязнения оказался не столь значительным, а по некоторым показателям экономический рост сопровождался уменьшением экологической нагрузки [1, 2].

Анализ данных по Российской Федерации и отдельным регионам показал, что возможно построение моделей, которые позволяют прогнозировать изменения экологических показателей в зависимости от сценариев развития экономики региона.

В рамках данного исследования построены эколого-экономические модели на основе различных типов функций, связывающих экономические и экологические показатели развития территории, исследованы их свойства, характеристики основных параметров, условия агрегирования и взаимосвязи параметров уравнений разного уровня. Данные модели позволяют учесть экологические ограничения экономического развития территории и могут использоваться при разработке различных стратегических документов.

Предпосылками исследования является сложившаяся ситуация с регулированием негативного воздействия экономики на окружающую среду, базирующимся на нормировании загрязнения на основе предельно допустимых концентраций, выбросов и сбросов (ПДК, ПДВ, ПДС), а также реализации принципа «загрязнитель платит».

В условиях, когда в качестве основного приоритета выступает экономический рост, институт нормирования на основе ПДК, ПДВ и ПДС является очень слабым инструментом регулирования уровня загрязнений.

В российской действительности он работает следующим образом: если загрязнение окружающей среды со стороны пред-

приятия укладывается в нормативы ПДВ и ПДС, то считается, что уровень загрязнения не превышает возможности ассимиляционного потенциала территории, и таким образом учитывается экологический фактор. А если предприятие не укладывается в нормативы, то используется другой показатель – временно согласованные сбросы и выбросы. Временно согласованные стандарты, как правило, максимально приближены к фактическим уровням загрязнения. Они действуют на протяжении длительного времени и не стимулируют предприятие к сокращению загрязнения.

Существующий принцип нормирования уровня загрязнения на основе ПДК, ПДВ и ПДС утратил свою актуальность ещё и потому, что не отвечает требованиям современной экологической идеологии, предполагающей предотвращение загрязнения, а не ликвидацию его последствий. Современный подход к регулированию нагрузки на окружающую среду основан на стратегии соответствия показателям наилучших существующих доступных технологий (НСДТ или Best Available Technology, BAT) [12]. Этот подход позволяет устанавливать единые технические стандарты и предельно допустимые уровни загрязнения, достижимые при использовании конкретной технологии.

Не менее важной проблемой на современном этапе является также необходимость учета экологического фактора при прогнозировании социально-экономического развития территории. Согласно новой редакции Градостроительного кодекса основные экологические обоснования хозяйственной деятельности должны выполняться на этапе планирования развития территорий [3].

Разрабатываемые в настоящее время стратегические документы, как правило, лишь формально учитывают экологические ограничения экономического роста.

Это в немалой степени обусловлено отсутствием необходимого инструментария для предварительной оперативной оценки негативного воздействия развития экономики на окружающую среду. Большинство реализующихся в нашей стране и за рубежом подходов ориентированы на достаточно сложные модели и требуют больших массивов качественной информации, что вызывает определённые трудности для их использования [7, 8, 9, 11, 13]. В связи с этим представляется актуальной разработка более простых моделей, не требующих больших массивов информации, позволяющих оперативно оценивать влияние отдельных шагов власти и бизнеса на экологические показатели.

Рассматривая влияние экономики на окружающую среду в Республике Карелия,

можно отметить, что оно определяется значительными объёмами выбросов в атмосферный воздух, водопотребления для промышленных целей, сброса сточных вод и образования отходов (таблица). Состояние окружающей природной среды в целом по республике характеризуется слабой напряжённостью.

Однако в районах, где работают предприятия целлюлозно-бумажной промышленности и металлургии, складывается более напряжённая экологическая обстановка, поскольку влияние крупных предприятий на состояние водоёмов, атмосферного воздуха, загрязнение земель наиболее значительно. В первую очередь, это характерно для промышленных центров (гг. Петрозаводск, Сегежа, Костомукша, Кондопога, Питкяранта, пгт. Надвоицы).

Динамика показателей негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду в Республике Карелия в 1990 – 2009 гг.*

Показатели	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Выбросы вредных веществ в атмосферу, всего, тыс. т	301	191	150	139	138	132	136	129	126	122	122,3	105,8
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	<i>100</i>	<i>63,5</i>	<i>49,8</i>	<i>45,8</i>	<i>45,8</i>	<i>43,9</i>	<i>45,2</i>	<i>42,9</i>	<i>41,9</i>	<i>40,5</i>	<i>40,6</i>	<i>35,2</i>
в т.ч.: твёрдых	87	34	33,4	30,3	27,6	27,5	29,9	27,7	26,5	27,7	28,2	20,7
газообразных	214	157	116,7	111,2	107,8	105,3	106,7	101,5	100,1	94,2	94,0	85,2
Забор воды, всего, млн. м ³	356,0	241,2	212,5	225,7	220,6	229	233	241	243	238	230	221
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	<i>100</i>	<i>67,8</i>	<i>59,7</i>	<i>63,4</i>	<i>62,0</i>	<i>64,3</i>	<i>65,4</i>	<i>67,7</i>	<i>68,8</i>	<i>66,9</i>	<i>64,6</i>	<i>62,1</i>
Использовано воды, всего, млн. м ³	336,4	226,9	198,8	218,3	214,4	222,0	225,5	236,6	235,6	226,3	220,7	213,5
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	<i>100</i>	<i>67,5</i>	<i>59,1</i>	<i>64,9</i>	<i>63,7</i>	<i>66,0</i>	<i>67,0</i>	<i>70,3</i>	<i>70,0</i>	<i>67,3</i>	<i>65,6</i>	<i>63,5</i>
в т.ч.: на производственные нужды	237,0	144,2	128,0	153,4	137,6	149,6	155,1	164,7	155,0	135,0	130,0	127,5
хозяйственно-бытовые нужды	77,7	70,3	56,8	53,9	55,8	52,8	52,7	53,0	52,2	48,3	47,0	45,1
Сброс сточных вод, всего, млн. м ³	273,3	234,3	215,0	226,0	220,4	224,4	242,4	240	243	241	233	223,6
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	<i>100</i>	<i>85,7</i>	<i>78,7</i>	<i>82,7</i>	<i>80,6</i>	<i>82,1</i>	<i>88,7</i>	<i>87,8</i>	<i>88,6</i>	<i>88,2</i>	<i>85,3</i>	<i>81,8</i>
в т.ч. без очистки		40,4	20,0	20,7	21,8	20,1	21,2	16,7	13,1	12,4	11,5	9,4
недостаточно очищенных		182,2	185,0	180,2	176,5	174,2	187,9	188,7	194,0	191,6	185,5	180,3
нормативно чистых		11,7	9,8	25,2	22,1	30,1	33,3	35,1	35,2	34,7	34,4	34,0
Образовано отходов, всего, млн. т	**	**	**	**	68,4	67,0	70,0	101,5	101,7	106,4	95,6	72,7
<i>Индекс к 2002 г.</i>					<i>100</i>	<i>98,0</i>	<i>102,3</i>	<i>148,4</i>	<i>148,8</i>	<i>155,6</i>	<i>139,8</i>	<i>106,3</i>
в т.ч.: 1 класса опасности, тыс. т					0,03	0,04	0,07	0,04	0,05	0,04	0,08	0,36
2 класса опасности, тыс. т					5,09	0,28	0,24	0,18	0,13	0,09	0,06	0,04
3 класса опасности, тыс. т					13,05	63,39	39,49	28,91	25,18	19,1	22,7	26,9
4 класса опасности, млн. т					0,25	0,547	0,554	0,573	2,014	0,694	0,671	0,560
5 класса опасности, млн. т					68,2	66,4	69,4	100,9	99,7	105,7	94,9	72,1

* Абсолютные показатели загрязнения приведены по данным государственных докладов о состоянии окружающей среды Республики Карелия соответствующих лет.
 ** В связи с изменением классификации данные не сопоставимы.

К числу наиболее крупных загрязнителей окружающей среды относятся: ОАО «Карельский окатыш», ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ОАО «ЦЗ Питкяранта», ОАО «ЛФК Бумэкс», ЗАО «Петрозаводскмаш», филиал СУАЛ «НАЗ-СУАЛ». Экологическая модернизация на этих предприятиях проходит в основном по экономическому сценарию и является следствием общего технического перевооружения.

Так, в ОАО «Карельский окатыш» модернизация обжиговых машин позволила снизить общий объём выбросов азота и серы, а выбросы сернистого ангидрида сократились в два раза к уровню 1990 г.

Начавшаяся на филиале СУАЛ «НАЗ-СУАЛ» в 1994 г. модернизация позволила сократить суммарные выбросы вредных веществ с 9,6 до 7,2 тыс. т в 2000 г., особо загрязняющих веществ — с 3,3 до 2,6 тыс. т, а содержание фтора в воде стало в пределах нормы.

ОАО «Кондопога» с 1994 г. вложило 0,9 млрд. руб. в мероприятия по уменьшению выбросов в атмосферу и 1,8 млрд. руб. на решение проблем очистки воды. Доля повторного и оборотного использования воды выросла на треть и достигла 86%. Выбросы диоксида серы уменьшились и составили 36% к уровню 1990 г. С 1999 г. ведётся модернизация биологических очистных сооружений.

Модернизация в ОАО «Сегежский ЦБК» позволила уменьшить выбросы в атмосферу и улучшить очистку воды. ОАО «ЦЗ Питкяранта» проводит модернизацию оборудования, которая позволит уменьшить воздействие на окружающую среду [6, 12].

Экологической модернизации предприятий Карелии в значительной степени способствовал и такой фактор, как приграничное расположение региона, которое благоприятствует развитию трансграничных контактов, облегчает экспорт продукции.

Этим объясняется и тот факт, что в инвестировании экологических программ практически всех предприятий в той или иной мере принимало участие Министерство окружающей среды Финляндии, заинтересованное в улучшении экологической обстановки в приграничном регионе.

Основным экономическим показателем, отражающим модернизационные процессы, являются инвестиции. Поэтому логично предположить, что для прогнозирования влияния развития экономики на окружающую среду необходимо установить наличие количественных взаимосвязей инвестиций в основной капитал и в охрану окружающей среды с экологическими показателями (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и сбросы сточных вод). Причём необходимо разделять вложения в новое строительство и в модернизацию производства, при которой воздействие на окружающую среду может существенно уменьшиться.

На *рисунке 1* рассматриваются данные Республики Карелия. Видны две тенденции, каждая из которых приближённо описывается линейной зависимостью. До 1998 г. примерно при 10-кратном спаде инвестиций в экономику региона выбросы в атмосферу уменьшаются на 40%, а затем при четырёхкратном росте инвестиций в экономику региона, значительная часть которых пошла на модернизацию производства и переход к более современным технологиям, выбросы в атмосферу снизились ещё на пятую часть, до 40% к уровню 1990 г.

Рассматривая аналогичные зависимости по показателю сброса сточных вод (*рис. 2*), можно отметить его резкое снижение в начале рассматриваемого периода (до 1993 г.) в связи со спадом производства, затем объём сброса стабилизировался, несмотря на дальнейшее, до 1998 г., снижение инвестиций и их рост в последующий период. Влияние инвестиций на снижение сброса производственных сточных вод можно наблюдать лишь с 2005 г. (благодаря накапливаемому росту, т.е. кумулятивному эффекту).

Рисунок 1. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в зависимости от динамики инвестиций в основной капитал Республики Карелия в 1990 – 2008 гг., % к 1990 г.

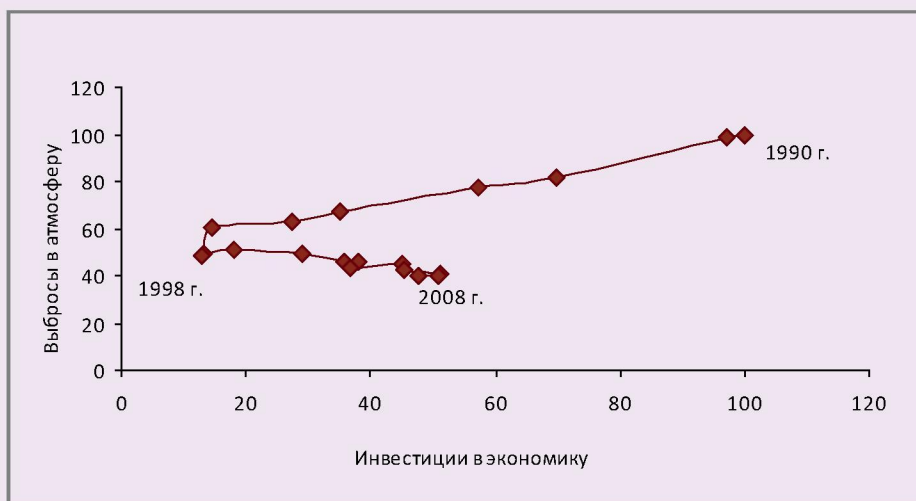


Рисунок 2. Изменение сброса сточных вод в зависимости от динамики инвестиций в основной капитал Республики Карелия в 1990 – 2008 гг., % к 1990 г.



Несмотря на то что инвестиции в основной капитал связаны с одновременным улучшением общепроизводственных и экологических факторов, целевые инвестиции на ввод в действие природоохранных объектов по-прежнему сохраняют свою актуальность. Анализ зависимости уровней загрязнений от природоохранных инвестиций показывает, что колебания объёма инвестиций в охрану окружающей среды в республике оказывали различное влияние на изменение объёмов выбросов в атмос-

феру от стационарных источников и сбросов сточных вод в поверхностные водоёмы. В начале 1990-х годов снижение выбросов и сбросов происходило при неизменных инвестициях, но затем резкое падение инвестиций во второй половине 1990-х годов не привело к изменению показателей загрязнения. После 2000-го года рост инвестиций, по-видимому, способствовал снижению выбросов вредных веществ в атмосферу при относительно стабильных уровнях сбросов сточных вод.

Выявленные закономерности свидетельствуют о возможности построения двух- или трёхфакторных экологических инвестиционных функций (аналогичных производственным), которые должны учитывать неоднозначность влияния различных сценариев развития экономики на окружающую среду региона в зависимости от структуры и направленности инвестиций.

Исследование основано на информации, имеющейся в статистических сборниках по регионам [10]. Изучаются экологические показатели, характеризующие состояние природной среды и влияние развития экономики на неё, — выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, сброс загрязнённых сточных вод в поверхностные водоёмы, забор воды из природных водных источников для использования, образование отходов и другие.

Для оценки развития экономики выбираются следующие показатели: валовой региональный продукт (ВРП) и его структура, инвестиции и их структура и др. По основным показателям (ВРП, объём инвестиций и др.) расчёты проводятся для комплексных и простых показателей. Отраслевые показатели используются в уравнениях с простыми показателями.

Природоохранную деятельность отражают следующие показатели: инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, текущие затраты на охрану окружающей природной среды и др.

Основное достоинство предлагаемых функций, связывающих экономические и экологические показатели, состоит в том, что они позволяют исследовать динамику экологической эффективности инвестиций, анализировать влияние изменения структуры инвестиций и экономики и учитывать возможность компенсации одного фактора другим. Они могут быть

двух- или трёхфакторными, строиться по частным или комплексным экологическим показателям:

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t), \quad (1)$$

где: $Z(t)$ — исследуемый экологический показатель;

$U_1(t)$ — фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду (инвестиции в экономику, инвестиции в новое строительство и др.);

$U_2(t)$ — фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды и др.);

$U_3(t)$ — фактор, отражающий изменение действующих производств и, как правило, положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в модернизацию производства и др.);

t — год.

Аналогично производственным функциям вводится понятие факторных эластичностей, являющихся логарифмическими производными функции по факторам. Параметры ε_1 , ε_2 и ε_3 можно определить как эластичности загрязнения по фактору, определяющие его эффективность. Они характеризуют степень влияния факторов: при увеличении инвестиций на новое строительство на 1% изучаемый экологический показатель возрастает на $\varepsilon_1\%$; при увеличении инвестиций на охрану окружающей среды (или иного природоохранного показателя) на 1% — он изменяется на $\varepsilon_2\%$, точнее, уменьшается, поскольку эластичность ε_2 отрицательна, а при увеличении инвестиций на модернизацию на 1% — изменяется на $\varepsilon_3\%$.

Вводится также понятие нейтрального экологического прогресса, который связан с изменением уровня загрязнения, зависящим от времени или других факторов. Основное влияние на нейтральный экологический прогресс оказывают структурные сдвиги [4].

В ходе первого этапа исследований [6], проводившихся по трем северным регионам, использовались простейшие функции:

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

где μ , η и ν – константы.

Данная функция очень удобна для расчётов – при логарифмировании она становится линейной, имеет простой экологический смысл, $\mu \geq 0$, $\eta \geq 0$. Параметры $\varepsilon_1 = \mu$, $\varepsilon_2 = -\eta$ и $\varepsilon_3 = \nu$ являются факторными эластичностями.

Расчёты по Республике Карелия и другим регионам показали, что использование только функций, аналогичных широко известным производственным, не совсем оправданно. Эколого-экономические процессы характеризуются своими особенностями, и необходимо строить специальные функции.

На основе проведённых расчётов можно предположить, что факторные эластичности постепенно должны меняться, возможно, убывать. Вводятся всё более современные технологии, воздействие которых меньше, чем у существующих; замена систем очистки на более совершенные даёт меньший эффект, чем первая их установка, ограничения по воздействию на окружающую среду становятся всё более жёсткими, но изменения становятся меньше. Предлагается несколько видов функций с меняющимися факторными эластичностями, которые подробно описаны в работах [4, 5, 6].

Таким образом, представленный подход к оценке влияния развития экономики на окружающую среду включал несколько этапов. Первоначально для приближённой оценки взаимосвязи показателей и основных параметров функций – факторных эластичностей и темпа нейтрального экологического прогресса – проводились анализ данных и построение различных графиков экологических и экономических показателей и их соотношений.

В результате были выделены периоды с потенциально отличным поведением основных характеристик исследуемого процесса, построены предположения о типе функций, определены возможные ограничения на их параметры. Затем выполнялись расчёты, проводился анализ результатов расчётов и с учётом полученных статистических характеристик отбирались функции, наиболее адекватно описывающие анализируемый процесс.

Расчёты по Карелии проводились за весь период реформ, за оба подпериода и иногда – за вычетом начала 1990-х годов. Использовались данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, ВРП, об инвестициях в основной капитал и инвестициях в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды.

Особенностью региональных данных является то, что инвестиции достаточно сильно колеблются. В отдельные годы инвестиции в охрану окружающей среды увеличиваются в 4–5 раз или падают в 2–3 раза, а в 2008 г. они превышают уровень 1990 г. в 352 раза.

Расчёты проводились по представленным выше и более сложным функциям [5, 6]. Когда в качестве первого показателя был взят ВРП, то соответствующий параметр до 1999 г. был немного меньше единицы, а параметр, отражающий влияние инвестиций в охрану окружающей среды, – близок к нулю. С 1999 г. ситуация меняется – первый параметр становится близок к нулю, а второй варьируется от 0,3 до 0,2.

Это означает, что до 1998 г. воздействие экономики на окружающую среду определялось падением ВРП, а природоохранные инвестиции практически не влияли. После 1998 г., с началом экономического роста, изменение ВРП стало слабо влиять на экологический показатель, но усилилось влияние природоохранных инвестиций.

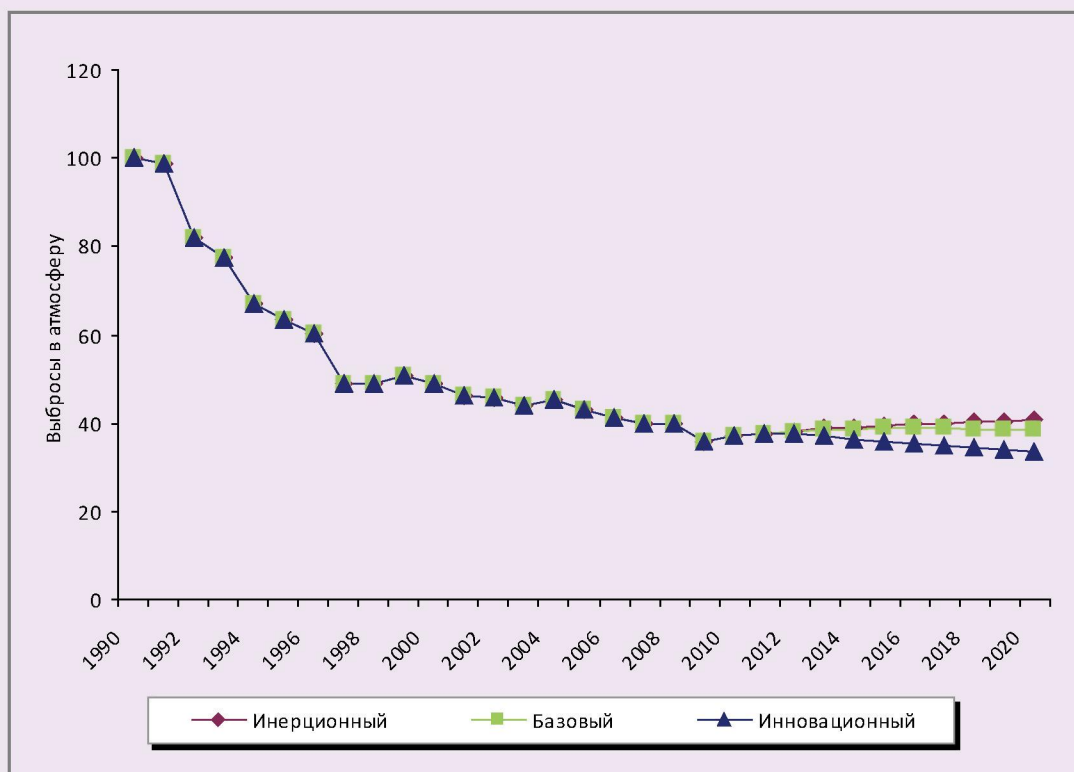
Расчёты по карельским данным с использованием в качестве первого показателя инвестиций в развитие экономики подтвердили полученные ранее выводы: до девальвации рубля природоохранные инвестиции практически не влияли на экологические характеристики. На изменение негативного воздействия большее влияние оказывали инвестиции в экономику. По результатам расчётов можно предположить, что до 1998 г. снижение инвестиций в развитие экономики на 1% приводило к уменьшению экологического показателя примерно на 0,3%, а после 1998 г. рост кумулятивных природоохранных инвестиций на 1% снижал экологический показатель примерно на 0,2%.

Для проверки возможностей использования функций проводились расчёты на основе разработанной в 2005 г. и уточнённой позднее Стратегии развития Республики Карелия.

Прогнозирование осуществлялось по функции (2) без учета нейтрального экологического прогресса при $\mu = 0,191$, $\eta = 0,033$, $\nu = -0,042$. Три сценария, предложенные в Стратегии, дополнялись достаточно простыми предположениями о природоохранной деятельности и динамике природоохранных инвестиций. В инерционном сценарии инвестиции снижались до уровня 2003 г. и затем к 2020 г. достигали уровня 2008 г.; в базовом сценарии они снижались вдвое и возвращались на уровень 2008 г. к 2018 г.; в инновационном – после падения они к 2020 г. в полтора раза превышали уровень 2008 г. Сценарии включают также динамику изменения факторных эластичностей в соответствии с изменением структуры экономики.

Как видно из *рисунка 3*, инновационный сценарий (развитие секторов, очень слабо воздействующих на окружающую среду и рост вложений в природоохран-

Рисунок 3. Прогноз выбросов в атмосферу от стационарных источников в соответствии с тремя сценариями развития экономики Карелии, % к 1990 г.



ную деятельность) даёт продолжение сложившихся тенденций снижения уровня загрязнения, остальные – сохранение или рост выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Предложенная методика позволяет на стадии планирования развития территории оперативно оценивать экологические последствия предполагаемых сценариев развития экономики.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году». – М., 2010. – 523 с.
2. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2009 году. – Петрозаводск, 2010. – 296 с.
3. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/popular/gskrf/>
4. Дружинин, П.В. Об оценке влияния развития экономики на окружающую среду / П.В. Дружинин // Экономика и математические методы. – 2010. – № 4. – С. 3-11.
5. Дружинин, П.В. Влияние развития экономики на окружающую среду: моделирование и анализ расчётов / П.В. Дружинин, Г.Т. Шкиперова, М.В. Морощкина. – Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2010. – 119 с.
6. Дружинин, П.В. Моделирование влияния развития экономики на окружающую среду / П.В. Дружинин, М.В. Морощкина, Г.Т. Шкиперова. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – 96 с.
7. Иванов, П.М. Устойчивое региональное развитие: концепция и модель управления / П.М. Иванов // Экономика и математические методы. – 2006. – № 2. – С. 51-59.
8. Куклин, А.А. Социально-экономическое обоснование экологической безопасности региона / А.А. Куклин, И.С. Белик, Н.Л. Никулина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005.
9. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. – М.: Наука, 2001.
10. Республика Карелия в цифрах за 2008 год: стат. сб. / Карелиястат. – Петрозаводск, 2009. – 253 с.
11. Рюмина, Е.В. Моделирование взаимосвязей развития народного хозяйства и природоохранной деятельности / Е.В. Рюмина // Экономика и математические методы. – 1995. – Вып. 3.
12. Шкиперова, Г.Т. Экологизация производств как составляющая процесса технической модернизации / Г.Т. Шкиперова, Г.Б. Мелентьев // Экология промышленного производства. – 2010. – № 4. – С. 15-24.
13. Proops, J. Modeling in Ecological Economics / J. Proops, P. Safonov. – Cheltenham: Edward Elgar, 2004.