



КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ

Дружинин П.В.,  
Шкиперова Г.Т.,  
Морошкина М.В.



## ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ: моделирование и анализ расчетов



ПЕТРОЗАВОДСК  
2010

Карельский научный центр  
Российской академии наук  
Институт экономики

Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т.,  
Морошкина М.В.

**ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ**

Петрозаводск 2010

УДК 332.1:502.131:001.891.57  
ББК 65.050

Д 76 Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Морошкина М.В. **Влияние развития экономики на окружающую среду: моделирование и анализ расчетов** / Институт экономики КарНЦ РАН. Под общей ред. П.В. Дружинина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 119 с.  
ISBN 978-59274-0445-2

В книге исследуется влияние экономического развития на состояние окружающей среды. Предложены достаточно простые модели, позволяющие анализировать влияние региональной и федеральной экономической политики на экологические показатели, исследовать различные сценарии развития экономики и оценивать возможные изменения окружающей среды в перспективе. Приведены результаты расчетов по предложенным моделям по данным Республики Карелия и Российской Федерации.

Книга предназначена для студентов, аспирантов, преподавателей вузов, научных работников, сотрудников природоохранных органов и всех интересующихся вопросами экологической экономики.

УДК 332.1:502.131:001.891.57  
ББК 65.050

Авторский коллектив:

*П.В. Дружинин, Г.Т. Шкиперова, М.В. Морошкина*

Ответственный редактор д.э.н. *Дружинин П.В.*

Рецензенты: *к.т.н., доцент Ш.Ш. Байбусинов, к.т.н., доцент В.Б. Ефлов*

*Издание профинансировано РФФИ проект № 09-06-00279\_a  
«Построение и исследование экологических инвестиционных функций»*

ISBN 978-59274-0445-2

© Институт экономики КарНЦ РАН, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> (Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т.) . . . . .	4
<b>Глава 1.</b> <i>Функции загрязнения</i> (Дружинин П.В.) . . . . .	13
<b>Глава 2.</b> <i>Концепция экологических инвестиционных функций</i> (Дружинин П.В.) . . . . .	22
<b>Глава 3.</b> <i>Исследование экологических инвестиционных функций</i> (Морошкина М.В., Дружинин П.В.) . . . . .	25
<b>Глава 4.</b> <i>Построение функций загрязнения по России</i> (Дружинин П.В.) . . . . .	42
4.1. <i>Развитие экономики России и изменение экологической ситуации</i> . . . . .	42
4.2. <i>Идентификация функций загрязнения по России</i> . . . . .	51
<b>Глава 5.</b> <i>Построение функций загрязнения по Карелии</i> (Шкиперова Г.Т., Дружинин П.В.) . . . . .	59
5.1. <i>Развитие экономики Карелии и изменение экологической ситуации</i> . . . . .	59
5.2. <i>Идентификация функций загрязнения по Карелии по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу</i> . . . . .	88
<b>Глава 6.</b> <i>Функции загрязнения как инструмент регионального прогнозирования</i> (Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т.) . . . . .	92
<b>Глава 7.</b> <i>Оптимизационные модели на основе функций загрязнения и экологических инвестиционных функций</i> (Дружинин П.В.) . . . . .	98
<b>Глава 8.</b> <i>Economic development impact upon the environment</i> (Дружинин П.В.) . . . . .	100
<b>Список литературы</b> . . . . .	112

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире наблюдаются тенденции усиления негативного воздействия экономики на окружающую среду, истощения природных ресурсов, нарушения динамического равновесия биосферы. Подобное экономическое развитие ведет к возникновению экологических проблем, препятствует устойчивому развитию регионов. Проблемы возникают в том случае, когда антропогенная нагрузка на территорию превышает ее экологические возможности, обусловленные природно-ресурсным потенциалом и общей устойчивостью природных комплексов к техногенным нагрузкам. В связи с этим вопросы оценки и оптимизации эколого-экономических взаимодействий приобретают на современном этапе особую актуальность.

Развитие экономики связано с воздействием на окружающую среду, поскольку создание новых и расширение существующих производств ведет к положительным экономическим и социальным результатам, но имеет и отрицательные стороны, в частности может ухудшаться экологическая обстановка. Поэтому важной научной проблемой является оценка воздействия экономического развития на окружающую среду. Сложность состоит в неоднозначности влияния в зависимости от вида деятельности и структуры инвестиций – создание новых производств увеличивает в той или иной степени нагрузку, а модернизация производств может ее существенно снизить. Исследование происходящих в РФ и отдельных регионах процессов должно привести к выявлению существующих закономерностей, которые могут использоваться в стратегическом планировании. Построенные на этих закономерностях модели должны позволять исследовать возможные пути развития территорий.

Для решения поставленной проблемы, прежде всего, необходима разработка соответствующего инструментария, математических моделей и методик, которые позволят исследовать взаимосвязь экономических и экологических показателей, выявить существующие закономерности и сделать необходимые оценки. Требуется

построить новые, достаточно простые и удобные для анализа и прогнозирования наблюдаемых процессов модели, которые описывают связь экономических и экологических показателей, параметры которых имели бы определенный смысл, понятный экономистам и экологам. Данные модели должны позволить определять взаимосвязь параметров функций и показателей разных уровней (экономики в целом и отдельных отраслей или макрорегионов), оценивать влияние структурных сдвигов в экономике и изменения структуры инвестиций по видам, исследовать распределение ресурсов между отраслями (макрегионами) и построить оптимальное по различным критериям.

В данной работе построены эколого-экономические модели на основе различных типов функций, связывающих экономические и экологические показатели развития территории, проведено исследование их свойств, характеристик основных параметров, условий агрегирования и взаимосвязи параметров уравнений разного уровня. Для основных типов функций проведены расчеты по данным РФ и ее отдельных субъектов, что позволило определить границы изменения параметров и выявить периоды, в которых параметры построенных функций стабильны.

Большинство инвестиционных проектов оказывает чаще отрицательное воздействие, лишь модернизация производства и переход к новым технологиям могут снизить нагрузку на окружающую среду. Природоохранные проекты ведут к уменьшению вредного воздействия на природу с разной степенью эффективности, которую можно оценить исходя из анализа данных и идентификации уравнений. Для того чтобы отразить в специальных функциях эти особенности надо проанализировать на реальных данных простые функции, построенные по аналогии с производственными, и предложить новые, которые позволяли бы исследовать эколого-экономические процессы.

Современная экономика характеризуется как техногенная, ведущая к истощению запасов природных ресурсов и загрязнению окружающей среды. Например, причиной разрушения озонового слоя является рост производства и выброса хлорфторуглеродов и других веществ, используемых при производстве холодильников, кондиционеров, аэрозолей и др.; основными причинами опустыни-

вания – массовые вырубki лесов и чрезмерное использование пастбищ. Кислотные дожди, наносящие ущерб лесам, озерам, почве, возникают в результате промышленных выбросов в атмосферный воздух двуокиси серы и окислов азота.

Проблема влияния экономики на экологию была поставлена в XIX в. представителями русских космистов, к которым относят Н.Н.Федорова, В.И. Вернадского, А.Л. Чижевского, и далее развита в работах Н.Н. Моисеева, В. Хесле, Дж. Форрестера, А. Печчеи, О. Тофлера, Н.А. Умова и других. В.И.Вернадский, разрабатывая теорию ноосферы, указал на возможное решение глобальных экологических проблем современности путем регламентации хозяйственной деятельности (Вернадский, 1989).

В 70-х гг. XX века в основном в работах Римского клуба было впервые показано, что появились «экологические ограничители» экономического роста, отражающие масштабы и последствия негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду (Медоуз, 1994; Месарович, 1994). В связи с этим сформировалось четыре точки зрения на возможные пути взаимодействия экономики и окружающей среды, от крайне техно-центристского до крайне экологоцентристского (Фишер, Петерсон, 1976). К настоящему времени в рамках этих направлений сложилось несколько концепций эколого-экономического развития общества. Наиболее известными из них являются фронтальная экономика, экотопия, концепция охраны окружающей среды, концепция умеренного развития и концепция гармоничного развития общества и природы (Осипов, 1991).

В конце 80-х – начале 90-х годов основополагающей и общепризнанной в деятельности международных организаций и многих стран стала концепция устойчивого развития, которая говорит о возможности гармоничного совмещения задач дальнейшего экономического роста и сохранения окружающей среды. Принятая на Конференции ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро в 1992 г. «Повестка дня на XXI век» определяет устойчивое развитие, как развитие, которое «сумеет обеспечить удовлетворение потребностей нынешнего поколения без ущерба для удовлетворения собственных нужд будущих поколений» (Программа...,1993). По мнению ряда авторов (Замятина, 2006; Хильчевская, Сафонов,

1994), концепция устойчивого развития призвана устранить сложившиеся противоречия во взаимоотношениях человека и природы, между экономическим ростом и окружающей средой, «объединить экономическую эффективность, социальную защищенность и экологическую безопасность в единую систему». Эта концепция получила широкое признание, как в экономической науке, так и в международной практике. Но спустя более 15 лет после ее принятия можно констатировать, что за прошедшие годы состояние окружающей среды продолжало ухудшаться. Это объясняется тем, что заявленные в концепции жесткие экологические стандарты приемлемы главным образом для стран с развитой рыночной экономикой, достигших высокого уровня жизни населения, которые могут ограничить потребление ресурсов, развивая высокотехнологичные отрасли, и на предыдущих стадиях перевели «грязные» производства в другие страны. Для большинства стран с низким уровнем развития экономики ограничение потребления природных ресурсов и развития сырьевого комплекса в ближайшее время практически невозможно.

Принимаемые до сих пор меры в области охраны окружающей среды связаны в основном со строительством очистных сооружений и не позволяют коренным образом решить экологическую проблему. В современных условиях особую актуальность приобретает применение предупредительных мер, т.е. технологическая перестройка, направленная на недопущение загрязнения среды и нерационального расходования природных ресурсов, а не устранение последствий загрязнения (Замятина, 2006).

Теоретическим вопросам устойчивого развития уделяется большое внимание в публикациях Н. Агафонова, С. Бобылева, В. Горшкова, К. Кондратьева, Н. Пахомовой, А. Урсула, Г. Фоменко, Р. Хильчевской и многих других. На сегодняшний день даже среди специалистов не существует общепризнанного определения устойчивого развития, также подчеркивается сложность практического применения этой концепции (Гизатуллин, Троицкий, 1998; Хильчевская, 1996; Диксон и др., 1994).

Много подходов к учету экологического фактора в экономике, в особенности на микроэкономическом уровне, опирается на теорему Р. Коуза и базируется на нулевых транзакционных издержках



и на точном определении прав собственности. На основе идеи Р. Коуза разработан рынок прав на загрязнение окружающей среды, когда фирма с низкими природоохранными издержками продает часть своих прав на загрязнение фирмам, которые не могут уменьшить загрязнение из-за высоких природоохранных издержек.

Некоторые подходы к учету экологического фактора связаны со стоимостной оценкой природного капитала и ущерба, наносимого окружающей среде. Термин «природный капитал» появился в экономической литературе достаточно давно и определялся чаще всего как «совокупность природных ресурсов, которые могут быть использованы в процессе производства». Для определения его стоимости использовались различные методы оценки отдельных видов природных ресурсов: затратный, результативно-доходный (рентный), рыночный, кадастровый, смешанный и др. (Думнов, Восьмиренко, 2001).

В 1992 г. Х. Дейли и Р. Костанза в работе «Природный капитал и устойчивое развитие» (Costanza, Daly, 1992) расширили и уточнили это понятие. Согласно их концепции, которая получила широкую известность и до сих пор используется в большинстве эколого-экономических исследований на Западе, природный капитал представляет собой «запасы/активы (stock), дающие поток ценных товаров и услуг в будущем». Здесь природный капитал уже не приравнивается, как раньше, к отдельным природным ресурсам, а предполагается учитывать все взаимосвязи отдельных элементов природной среды, включая экологические услуги. «Поток ценных товаров и услуг, обеспечиваемых природным капиталом, должен быть устойчивым. Избыточное использование природного капитала может снизить его способность оказывать экологические услуги, а также способность к самовоспроизводству» (Акимова, 2006).

Оценка экологических услуг как элемента природного капитала вызывает наибольшую трудность. Для определения их стоимости используются упрощенные экономические подходы, прежде всего связанные с теорией «готовности платить». Широко применяется метод оценки контингента (метод субъективной оценки стоимости), в котором путем анкетирования выясняют готовность людей заплатить за экологические товары и услуги в условиях гипотетических рынков. Также распространены метод транспортно-путевых затрат (определение стоимостных или временных затрат на

достижение интересующего места населением) и метод гедонистического ценообразования, им пытаются оценивать экологические блага, существование которых прямо воздействует на рыночные цены (Бобылев, Ходжаев, 2004).

Для научного обоснования соответствующей платы или цены также широко применяется теория альтернативной стоимости, определяемой в данном случае с точки зрения упущенной выгоды, которую могут принести экологические блага и услуги окружающей среды. Соответственно экономическая оценка таких благ и услуг позволит выбрать оптимальные варианты использования природных ресурсов.

В настоящее время природный капитал учитывается в национальном богатстве в натуральном выражении как материальные произведенные активы – это земля, полезные ископаемые, естественные биологические и подземные водные ресурсы (поверхностные воды учитываются в составе земельных ресурсов). Некоторые объекты природного происхождения не рассматриваются в международной системе национальных счетов (СНС) как экономические активы, так как на них не распространяются права собственности или владение ими не приносит экономической выгоды (воздушное пространство, океаны, не открытые или открытые, но недоступные для разработки полезные ископаемые и т.д.). Для преодоления этих недостатков существенно модифицирована существующая СНС и на ее основе разработана интегрированная система экономических и экологических счетов (ИСНС). В связи с этим большое количество современных исследований связано с включением оценки природно-ресурсного и экологического потенциала в состав макроэкономических показателей. Общепринятые показатели экономического благосостояния (валовой внутренний продукт, национальный доход и др.) не отражают экологической деградации. Соответственно их рост может привести к снижению запасов природных ресурсов, увеличению загрязнений и ограничению экономических возможностей в будущем.

В настоящее время предпринимаются попытки «зеленого» измерения основных экономических показателей с учетом экологического фактора. Наиболее функциональный подход к решению этой проблемы был первоначально разработан английскими уче-

ными Д. Пирсом и Дж. Аткинсоном и затем развит в работах К. Гамильтона, Д. Диксона и др. Предложенный ими интегральный показатель устойчивого развития (индекс истинных сбережений) оценивает изменения природных ресурсов и качества окружающей среды в дополнение к произведенным активам. Ущерб от загрязнения обычно учитывается в «зеленых» национальных счетах как вычет выбросов загрязняющих веществ, оцененных по их предельной социальной стоимости, измеряемой готовностью общества платить за то, чтобы избежать повышенной смертности и заболеваемости, связанных с загрязнением окружающей среды.

Включение наносимого в результате хозяйственной деятельности ущерба окружающей среде в состав макроэкономических показателей может существенно изменить сложившиеся представления об уровне развития стран и регионов. В нашей стране исследованию этой проблемы посвящены работы В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой, Г.Е. Мекуш, А.М. Аникиной и др. Е.В. Рюмина показала, что устойчивое развитие при существующих в РФ условиях и технологиях невозможно, только топливная промышленность и металлургия (основные загрязнители) рентабельны при платежах на уровне ущерба окружающей среды (Рюмина, 2009).

Независимое экологическое рейтинговое агентство с 2000 г. ведет оценку экологических издержек в крупнейших российских компаниях, отраслях и субъектах РФ, регулярно публикуя их экологические рейтинги. Согласно методике (Социально-экологическая ..., 2005), ранжирование проводится по интегральному уровню экологических издержек на одного работника и динамике его изменения. Для интегральной оценки по официальным статистическим данным рассчитываются шесть показателей (объемы использования воды, загрязненных стоков, выбросов транспортных и стационарных источников, образования отходов, трансформации земель), которые затем нормируются на численность работников компании и выражаются в процентах к среднероссийскому показателю таких воздействий. В результате показатели становятся однотипными и их можно корректно складывать, чтобы получить среднюю оценку экологических издержек для шести показателей.

Основной целью оценки воздействия осуществляемой и планируемой хозяйственной деятельности на окружающую среду

является учет экологических факторов в принятии решений по намечаемой деятельности. В идеале, опираясь на результаты оценки воздействия, органы власти, лица, принимающие решения, общественность и другие заинтересованные стороны смогут сказать, какой из предлагаемых вариантов намечаемой деятельности предпочтительнее (включая и вариант отказа от деятельности). Под оценкой воздействия в данном контексте понимается не только анализ и прогноз того, что воздействует (выбросов, сбросов, отходов, изымаемых ресурсов), но и информация о возможных изменениях в результате реализации намечаемой деятельности.

Начиная с работ Дж. Форрестера, М. Месаровича и Е. Пестеля множество исследований было посвящено моделированию влияния хозяйственной деятельности на глобальные биосферные процессы. Среди них надо выделить работы Ю.А. Анохина, С.М. Вишнева, Д.М. Гвишиани, В.Г. Горшкова, Н.И. Лапина, В.А. Геловани, Дж. Камберленда, В.А. Кочегурова, Н.П. Федоренко и др. В настоящее время интенсивно разрабатываются глобальные модели для прогнозирования климатических изменений, связанных с парниковым эффектом (Alcamo, 1994 и др.).

Первая межотраслевая модель, учитывающая экологический фактор, была разработана В.В. Леонтьевым и Д. Фордом (Леонтьев, Форд, 1972). Со времени появления этой модели накоплен широкий опыт ее практического использования на национальном и на региональном уровнях, разработано большое количество ее модификаций, в том числе и в нашей стране (модель Антоновского, модели «Область» и «Регион», модель С.В. Дубовского и др.). В России это направление достигло наибольших результатов в разработке эколого-экономических моделей управления регионом (Бурматова, 1983; Моделирование ..., 2001; Константинов, 1978; Модель ..., 1985; Рюмина, 2000). Среди работ по моделированию эколого-экономических процессов наиболее полными являются работы В.И. Гурмана и Е.В. Рюминой, которые охватывают различные стороны процесса, включая и инновационную составляющую. Для исследования проблемы компромисса между экономикой и окружающей средой используется также модель поверхности трансформации, в которой качество окружающей среды является независимой переменной (Васильева, 2003). Еще один подход

к соизмерению природных и производственных потенциалов основан на предположениях о связи энергетики производства и энергетики природы (Акимова и др., 2005). При определении взаимодействия экономических и экологических показателей большое внимание уделяется также оценке экономического ущерба от экологических нарушений (Глушкова, Макар, 2003; Моделирование..., 2001). Р. Хильчевская, используя специальные модели, показывает необходимость экологизации экономики (Хильчевская, 1996).

Влияние экономики и в особенности инвестиционной политики на окружающую среду рассматривается в работах И. Комарова, Н. Чепурных, Р. Хохна, М. Кроппера, К. Кларка и других. Вопросы агрегирования моделей с экологической составляющей имеются в работах А. Смирнова. Воздействие структурных сдвигов в экономике на окружающую среду анализируется на основе моделей в работах А. Лотова, А. Петрова, И. Пospelова, Н. Оленева и других. Для описания взаимосвязей экономических и экологических показателей широко используются регрессионный, корреляционный и факторный анализ.

Среди современных исследований в области математического моделирования эколого-экономических взаимодействий широко известны работы С.Н. Бобылева, К.Ф. Гофмана, В.И. Денисова, С.В. Дубовского, В.В. Лучшевой, И. Н. Ляшенко, Л.Г. Мельника, М.В. Михалевича, С.А. Фомина, П.И. Сафонова и других, в которых обосновывается необходимость оценки эколого-экономических взаимодействий на основе моделей, которые в совокупности описывают систему экологических и экономических процессов.

Большинство реализующихся в нашей стране и за рубежом проектов ориентированы на достаточно сложные модели и требуют больших массивов качественной информации. Что вызывает определенные трудности для их использования в целях выполнения предварительной оперативной оценки воздействия развития экономики на окружающую среду. 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 (Дружинин, Морощкина, Шкиперова, 2009).

## ГЛАВА 1

### ФУНКЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ<sup>1</sup>

Предлагаемый подход в значительной степени основан на изучении работ по теории производственных функций. В работах Ф. Фишера, М. Брауна, В. Винстона, К. Фаре, К. Сато, А. Сиерстада, Р. Солоу, Т. Сумма, С. Кумбхакара, Н. Баркалова, Э. Ершова, Г. Клейнера, А. Шананина, Ю. Федорова и других изложены различные подходы, которые могут быть использованы при построении моделей и исследовании эколого-экономических процессов. Особо надо выделить работы Ю. Иванилова и В. Бессонова, в которых систематизированы классические функции и функции в темпах в том виде, который удобен для использования их в другой сфере. Данные работы способствовали появлению концепции экологических инвестиционных функций, как и труды Н. Моисеева и В. Александрова.

Описание эколого-экономических систем обычно производится путем синтеза достаточно сложных моделей из экологии и экономики, что часто приводит к громоздким конструкциям, трудоемким для проведения расчетов и сложным для теоретического анализа. Поэтому для дальнесрочного и долгосрочного прогнозирования представляется перспективным другой подход, связанный с построением относительно простых моделей, понятных и имеющих определенный экологический и экономический смысл, расчеты по которым за ретроспективный период позволяют делать разумные выводы и способны привести к относительно небольшому количеству альтернативных управленческих решений.

Исследование основано на информации, имеющейся в статистических сборниках по РФ и регионам (Регионы..., 2009; Республика..., 2009; Россия..., 2009; Охрана..., 2009; Основные..., 2009). Изучаются экологические показатели, характеризующие состояние природной среды и влияние развития экономики на нее – выбросы

---

<sup>1</sup> Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а.

загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, забор воды из природных водных источников для использования, образование токсичных отходов и другие. На основе простых показателей строятся комплексные показатели, отражающие общее воздействие развития экономики на разные характеристики.

Комплексные индексы интегрируют отдельные экологические индексы и демонстрируют макроуровень развития и состояния окружающей среды территории и уровень его экологической безопасности. Наиболее распространенной формой комплексного индекса  $Z$  является следующая:

$$Z = \sum_j Z_j \frac{P_j}{Np_j}, \quad (1.1)$$

где:  $j$  – номер простого экологического показателя;  $P_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го показателя (при расчетах обычно принимался одинаковым);  $Z_j$  – фактическое значение  $j$ -го экологического показателя;  $Np_j$  – нормирующий множитель (обычно за 100% бралось значение показателя в первый год).

Для оценки развития экономики выбираются следующие показатели – валовой внутренний продукт (ВВП) и его отраслевая структура, валовой региональный продукт (ВРП) и его структура, основные фонды и их структура, инвестиции и их структура и другие. По основным показателям (ВВП, ВРП, объем инвестиций и некоторые другие) расчеты проводятся для комплексных и простых показателей. Отраслевые показатели используются в уравнениях с простыми показателями. Например, выбросы в атмосферу от автотранспорта зависят от показателей развития транспорта.

На динамику экологических показателей также влияет природоохранная деятельность, ее 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 другие.

Полученные данные необходимо привести к сопоставимому виду, что представляет сложную, но разрешимую задачу, и в ходе экономического анализа выбираются показатели, наиболее точно отражающие происходившие изменения и позволяющие строить

специальные функции. Наиболее сложно построить сопоставимые ряды по динамике основных фондов (Бессонов, Воскобойников, 2006). Использовались несколько подходов – на основе данных о вводе и ликвидации, данных об использовании производственных мощностей, введения специальных коэффициентов в годы переоценки основных фондов, но результаты по региональным данным неудачные, остаются труднообъяснимые колебания. Поэтому чаще рассматриваются кумулятивные инвестиции – сумма накопленных за 3–5 лет инвестиций, а в отдельных случаях (идентификация приростных функций) используются инвестиции за один год.

Переход статистики от отраслей к видам деятельности создал определенные проблемы для построения динамических рядов в сопоставимом виде, которые решаются через введение коэффициентов и пересчет данных по отраслям за 90-е годы в данные по видам деятельности.

Поскольку инвестиции оказывают влияние с некоторым лагом, то учет инвестиций не за один год, а за несколько предыдущих с определенными коэффициентами дает более точные результаты. В последние годы оценок лага инвестиций не производилось, поэтому приходится использовать оценки дореформенного периода. Например, по оценке Госстроя СССР ввод основных фондов включал частично инвестиции четырех последовательных лет (60%, 22%, 11% и 7%).

Влияние разных производств на окружающую среду значительно отличается и в ходе анализа данных может производиться агрегирование отраслей (видов деятельности) в несколько секторов. Выделение секторов позволяет исследовать структурную политику, анализировать последствия возможных стратегических решений, получая для построенных различных сценариев развития экономики оценки их воздействия на окружающую среду. Ключевой фактор – разное распределение инвестиций по секторам. Агрегирование может проводиться по простым или комплексным показателям в зависимости от поставленной задачи и сектора, построенные по разным экологическим показателям, несколько отличаются.

В ходе исследований выделялось три сектора. По выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в сектор с наибольшим воздействием на окружающую



среду входят следующие отрасли – электроэнергетика, топливная промышленность, черная и цветная металлургия и транспорт. Соответственно виды деятельности – добыча полезных ископаемых, металлургические производства, транспорт, производство и распределение электроэнергии, газа и воды, у них удельные выбросы существенно превышают средний показатель по экономике.

Во второй сектор входят следующие отрасли – химическая и нефтехимическая, строительных материалов, лесопромышленный комплекс, сельское хозяйство, пищевая, машиностроение и жилищно-коммунальное хозяйство. Соответствующие виды деятельности – химическое производство, целлюлозно-бумажное, кокса и нефтепродуктов, прочих неметаллических минеральных продуктов, продуктов питания, машиностроительное и сельское хозяйство. У них удельные выбросы меньше средних по экономике. В третий сектор входят остальные виды деятельности, прежде всего сферы услуг.

Основное достоинство предлагаемых функций загрязнения (ФЗ), связывающих экономические и экологические показатели состоит в том, что они позволяют исследовать динамику экологической эффективности инвестиций, анализировать влияние изменения структуры инвестиций и экономики и учесть возможность компенсации одного фактора другим. ФЗ может быть двух или трехфакторной, строиться по частным или комплексным экологическим показателям:

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), t), \quad (1.2)$$

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, ВВП, ВРП и другие показатели),  $U_2(t)$  – фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды, текущие затраты на охрану окружающей среды и другие показатели). Можно предположить, что функция  $F$  является однозначной, непрерывной и дважды дифференцируемой. Факторы положительны, увеличение затрат одного фактора обычно приводит к снижению его эффективности.

Для отражения особенностей эколого-экономических процессов вводятся понятия предельной нормы компенсации (количество одного фактора необходимое для сохранения неизменного уровня воздействия на окружающую среду при изменении другого) и эластичности компенсации (степень сложности компенсации одного фактора другим). Данная характеристика может быть постоянной или зависеть от определенных показателей. Например, если эластичность компенсации равна нулю, то изменение одного фактора приводит к пропорциональному изменению воздействия на окружающую среду, которое не может быть компенсировано другим фактором.

Вводится понятие однородности степени  $g$  функции  $F$ , если она удовлетворяет следующим условиям:

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = \lambda^g F(U_1(t), U_2(t), t) \quad (1.3)$$

Расчеты показали, что однородность существенно меньше единицы и особый интерес представляют функции с нулевой однородностью, которые в отдельных ситуациях достаточно хорошо описывают реальные процессы:

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = F(U_1(t), U_2(t), t) \quad (1.4)$$

Вводится понятие факторных эластичностей, являющихся логарифмическими производными ФЗ по факторам. Параметры  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  можно определить как эластичности загрязнения по фактору, определяющие его эффективность. Они характеризуют степень влияния факторов: при увеличении ВРП (или иного экономического показателя) на 1% изучаемый экологический показатель возрастает на  $\varepsilon_1\%$ , а при увеличении инвестиций на охрану окружающей среды (или иного природоохранного показателя) на 1% – изменяется на  $\varepsilon_2\%$ , точнее уменьшается, поскольку эластичность  $\varepsilon_2$  отрицательна.

Вводится понятие нейтрального экологического прогресса –  $p$ , который связан с изменением уровня загрязнения, зависящим от времени, структурных сдвигов  $\varepsilon_0$ , или других факторов. Основное влияние на нейтральный экологический прогресс оказывают структурные сдвиги, для оценки степени воздействия которых для двухфакторной ФЗ построены ФЗ для каждого сектора и через

параметры этих уравнений определяется влияние структурных сдвигов  $\varepsilon_0$ , каждого из секторов  $\varepsilon_{1,i}$  и  $\varepsilon_{2,i}$ , и экологический нейтральный прогресс  $p$ :

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \sum_i \varepsilon_{1,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ \varepsilon_2 &= \sum_i \varepsilon_{2,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ p &= \sum_i p_i \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} + \varepsilon_0, \\ \varepsilon_0 &= \sum_i (\varepsilon_{1,i} \times (I_{1,i} - I_1) + \varepsilon_{2,i} \times (I_{2,i} - I_2)) \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)},\end{aligned}\tag{1.5}$$

где  $Z(t)$  – исследуемый экологический показатель,  $I_1$  – логарифмическая производная экономического показателя,  $I_2$  – логарифмическая производная природоохранного показателя,  $t$  – год,  $i$  – сектор.

В ходе первого этапа исследований (White, 2005, Дружинин, 2007), проводившихся по трем выделенным регионам, использовались простейшие функции, имеющие эластичность компенсации, равную единице:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t),\tag{1.6}$$

где  $\mu$  и  $\eta$  – константы, характеризующие степень влияния факторов.

Данная ФЗ очень удобна для расчетов – при логарифмировании она становится линейной, имеет простой экологический смысл. Часто берется  $A(t) = \exp(p \times t)$ , где:  $p$  – темп нейтрального экологического прогресса, он характеризует влияние неучтенных в данной формуле факторов, в т.ч. и структурных сдвигов, модернизации производства,  $\mu \geq 0$ ,  $\eta \geq 0$ . Параметры  $\varepsilon_1 = \mu$  и  $\varepsilon_2 = -\eta$  являются факторными эластичностями. При проведении расчетов функция (1.6) представлялась в логарифмическом виде или строилась подобная ей в темпах прироста.

Наиболее проста и удобна линейная функция

$$Z(t) = B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t),\tag{1.7}$$

где  $B(t)$ ,  $C(t)$  и  $D(t)$  зависят от времени. Поскольку исследуемый период достаточно короткий, то желательно минимизировать

количество оцениваемых параметров. Расчеты показали, что разумные результаты можно получить при  $B(t)=B \times t$ ,  $C(t)= C \times t$  и  $D(t)= D$ .

Факторные эластичности линейной функции определяются следующим образом:

$$\varepsilon_1 = B(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{B(t) \times U_1(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t)}$$

$$\varepsilon_2 = C(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{C(t) \times U_2(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t)}$$

Основной недостаток данной функции – бесконечность компенсации, изменение одного показателя может быть легко компенсировано изменением другого, что далеко от реальности. Вторая проблема связана с частым использованием в качестве одного из факторов объема кумулятивных инвестиций. Поскольку неясен объем действующих фондов (всех и природоохранных), то принято вместо них брать сумму инвестиций за несколько последних лет. Сложно определить период, за который должны суммироваться инвестиции, значит, требуется проверка нескольких вариантов сумм инвестиций, обычно не более чем за 5 лет. Для избавления от этой проблемы дополнительно использовалась модификация линейной функции:

$$\Delta Z(t) = B(t) \times \Delta U_1(t) + C(t) \times \Delta U_2(t) + D(t) \quad (1.8)$$

В данном случае рассматриваются приросты показателей, что позволяет использовать в качестве факторов объем инвестиций за год или за несколько последних лет с весами, чтобы учесть лаг строительства. Остается проблема бесконечности компенсации, а неясностью с выбытием можно пренебречь, поскольку наибольшее влияние на изменение объема загрязнений оказывают новые инвестиции, а выбытие можно примерно оценить через инвестиции предыдущих лет. В данном случае также использовались  $B(t)=B \times t$ ,  $C(t)= C \times t$  и  $D(t)= D$ .

Кроме функций (1.3)-(1.8) рассматривались и более сложные с лимитирующим фактором, которые оказывались близки к реальности в отдельные периоды, чаще в 90-х годах:

$$Z(t) = A(t) \times \min \{a \times U^{\alpha_1}(t), b \times U^{\beta_2}(t)\}, \quad (1.9)$$

где  $a$  и  $b$  константы, часто для упрощения принимается, что параметры  $a$  и  $b$  равны единице.

В функции (1.9) изменение одного из показателей не может быть компенсировано другим. Например, вложения в охрану окружающей среды неэффективны и рост производства (или падение) происходит без изменения технологий. Второй вариант – увеличивается производство в тех видах деятельности, которые практически не влияют на окружающую среду (например, информационные технологии и образование) и инвестиции в охрану окружающей среды существенно уменьшают выбросы в наиболее загрязняющих отраслях (металлургия, ЦБП).

Расчеты по Республике Карелия и другим регионам показали, что использование только функций, аналогичных широко известным производственным, не совсем оправдано. Эколого-экономические процессы характеризуются своими особенностями и необходимо строить специальные функции. На основе проведенных расчетов можно предположить, что факторные эластичности постепенно должны меняться, возможно, убывать. Вводятся все более современные технологии и их воздействие меньше, чем у существующих, замена систем очистки на более совершенные дает меньший эффект, чем первая их установка, ограничения по воздействию на окружающую среду становятся все более жесткими, но изменения становятся меньше. Предлагается несколько видов функций с меняющимися факторными эластичностями и эластичностями компенсации, из которых расчеты проводились по следующим:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) / U_2(t)), \quad (1.10)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp\left(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)}\right), \quad (1.11)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t)), \quad (1.12)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t)), \quad (1.13)$$

где  $a$  и  $b$  константы.

Факторные эластичности данных ФЗ зависят от показателей и их соотношений и могут меняться достаточно значительно. Функция (1.10) однородна, изменение факторных эластичностей разнонаправлено и данная ФЗ крайне редко хорошо отражает реальные процессы:

$$\varepsilon_1 = \mu + a \times U_1(t) / U_2(t),$$

$$\varepsilon_2 = -\eta - a \times U_1(t) / U_2(t).$$

У функции (1.11) факторные эластичности нелинейные и при росте показателей приближаются к параметрам  $\mu$  и  $\eta$ , что часто соответствует реальным процессам:

$$\varepsilon_1 = \mu - \frac{a}{U_1(t)},$$

$$\varepsilon_2 = -\eta - \frac{b}{U_2(t)}.$$

У функции (1.12) факторные эластичности линейны по показателям, что также часто встречается на практике:

$$\varepsilon_1 = \mu + a \times U_1(t),$$

$$\varepsilon_2 = -\eta + b \times U_2(t).$$

У функции (1.13) изменение факторных эластичностей однонаправлено, что иногда отражает реальные процессы:

$$\varepsilon_1 = \mu + a \times U_1(t) \times U_2(t),$$

$$\varepsilon_2 = -\eta + a \times U_1(t) \times U_2(t).$$

Возможны и другие варианты функций, но проведенные расчеты показали, что вышеперечисленные функции соответствуют реальным процессам и позволяют получить приемлемые результаты. В отдельных случаях использовалась модификация описанных функций, например, предполагалось, что в функции (1.6)  $\mu$  и  $\eta$  меняются с течением времени.

## ГЛАВА 2

### КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ<sup>2</sup>

Анализ имеющихся данных показал возможность построения трехфакторных функций, которые должны более точно описывать реальные процессы. Подобные функции должны учесть неоднозначность влияния развития экономики на экологические показатели в зависимости от вида деятельности и структуры инвестиций. Развитие экономики в основном ведет к количественному росту, большинство проектов оказывает чаще отрицательное воздействие, создание новых производств увеличивает в той или иной степени нагрузку на окружающую среду. В то же время другие проекты, инновационные и связанные с изменением структуры экономики, могут оказать положительное воздействие, например, модернизация производства, переход к новым технологиям, они могут существенно снизить нагрузку на окружающую среду. Надо отметить, что основное влияние оказывают вложения в машины и оборудование, которые приносят новые более совершенные технологии.

В таком случае можно записать трехфакторную функцию

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t) \quad (2.1)$$

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, ВВП, ВРП и другие показатели),  $U_2(t)$  – фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды, текущие затраты на охрану окружающей среды и другие показатели),  $U_3(t)$  – фактор, отражающий изменение действующих производств и, как правило, положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в модернизацию производства и другие показатели). Можно предположить, что функция  $F$  является однозначной, непрерывной и дважды диффе-

---

<sup>2</sup> Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а.

ренцируемой. Факторы положительны, увеличение затрат одного фактора обычно приводит к снижению его эффективности.

Данная функция позволяет выделить влияние нескольких факторов – количественного роста экономики (выражен через фактор  $U_1(t)$ ), природоохранной деятельности (выражена через фактор  $U_2(t)$ ), инновационной деятельности, связанной с совершенствованием технологий (выражена через фактор  $U_3(t)$ ). Для оценки влияния структурных сдвигов аналогично (1.5) строятся ФЗ для каждого сектора и через их параметры определяется вклад каждого сектора в величину параметра агрегированной ФЗ, влияние структурных сдвигов и вторая составляющая нейтрального экологического прогресса  $p$ , формирующаяся изменениями внутри секторов, не зависящими от исследуемых факторов:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \sum_i \varepsilon_{1,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ \varepsilon_2 &= \sum_i \varepsilon_{2,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ \varepsilon_3 &= \sum_i \varepsilon_{3,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ p &= \sum_i p_i \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} + \varepsilon_0, \end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\varepsilon_0 = \sum_i (\varepsilon_{1,i} \times (I_{1,i} - I_1) + \varepsilon_{2,i} \times (I_{2,i} - I_2) + \varepsilon_{3,i} \times (I_{3,i} - I_3)) \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)},$$

где:  $I_3$  – логарифмическая производная показателя, связанного с модернизацией действующего производства,  $i$  – сектор.

Наиболее интересная ситуация для исследований возникает, когда все три фактора – инвестиции за определенный период. Фактически суммарные инвестиции делятся на три части – инвестиции в новое строительство, инвестиции в модернизацию и реконструкцию, инвестиции в охрану окружающей среды. На основе информации об инвестициях могут строиться экологические инвестиционные трехфакторные функции. Можно строить функции и с большим количеством факторов, но определенным ограничением является сложность построения достаточно длинных динамических рядов.



В данном случае можно предложить несколько математических задач. Ситуация осложняется тем, что прямое использование статистических данных невозможно, поскольку есть две проблемы: в региональной статистике значительная часть иностранных инвестиций не учитывается в инвестициях в основной капитал (а именно с иностранными инвестициями и приходят новые технологии), почти четверть инвестиций составляет приобретение новых основных средств (под этим можно понимать и расширение на базе существующей технологии, и переход к другой технологии).

В случае, когда рассматривается трехфакторная функция загрязнения, для нее, как и ранее для двухфакторной, вводятся и исследуются понятия однородности функции, нейтрального экологического прогресса, эластичности загрязнения по инвестициям на новое строительство (модернизацию, охрану окружающей среды), предельная норма компенсации и эластичности компенсации. Но также возникает и возможность замещения одного фактора другим, переход на новые технологии может замещать природоохранные инвестиции, значит можно вводить понятие эластичности замещения.

По данным характеристикам могут строиться экологические инвестиционные трехфакторные функции. Анализ данных и построенных по ним графиков позволяет определить приближенные значения и динамику введенных показателей – эластичности загрязнений по виду инвестиций, эластичности компенсации и эластичности замещения.

Так же как и для двухфакторных функций можно выявить существующие закономерности, виды функций наиболее соответствующие реальности, провести периодизацию и выявить особенности каждого из периодов, отраженные в параметрах уравнений. Аналогично (Дружинин..., 2009) определяются уравнения, связывающие параметры экологических инвестиционных функций экономики в целом и отдельных секторов (отраслей и территорий). По имеющимся данным можно выделить три сектора и определить влияние структурных сдвигов на темп нейтрального экологического прогресса и каждого из секторов на эластичность загрязнения экономики в целом.

## ГЛАВА 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ<sup>3</sup>

В рамках данной работы будет изучено поведение функции загрязнения по трехфакторным частным или комплексным экологическим показателям. При трехфакторном представлении функции загрязнения существуют некоторые специфические особенности, выражающиеся в различном влиянии исследуемых факторов. Таким образом, фактор  $U_1(t)$  определяется как показатель, оказывающий отрицательное влияние на окружающую среду; фактор  $U_2(t)$  определяется как показатель, оказывающий положительное влияние на окружающую среду; фактор  $U_3(t)$  определяется как показатель, который может оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на окружающую среду.

Определение основных характеристик позволит более детально рассмотреть исследуемый процесс. Факторная эластичность  $\varepsilon_i$  показывает каким образом (на сколько %) увеличится (уменьшится) объем загрязнений, если затраты  $i$ - фактора увеличатся на 1% при неизменных объемах других факторов.

**Определение 1:** Отношение предельной производительности  $M_i$  ресурса  $i$  к его средней производительности  $A_i$  называется частной эластичностью загрязнения по  $i$  ресурсу (эластичность по  $i$  фактору).

$$\varepsilon_i = \frac{M_i}{A_i} = \frac{x_i}{f(x)} \times \frac{\partial f(x)}{\partial x_i} \quad (3.1)$$

**Определение 2:** Средней отдачей  $i$  фактора (среднее загрязнение по  $i$  ресурсу) –  $A_i$  называется отношение загрязнения к объему  $i$  фактора.

$$A_i = \frac{f(x)}{x_i} \quad (3.2)$$

---

<sup>3</sup> Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а

**Определение 3:** Предельной отдачей  $i$  фактора (предельное загрязнение по  $i$  фактору) –  $M_i$  называется приращение величины загрязнения, обусловленное увеличением на единицу  $i$  фактора, от которого зависит величина экономического показателя (первая частная производная).

$$M_i = \frac{\partial f(x)}{\partial x_i} \quad (3.3)$$

Исходя из всего вышеизложенного для трехфакторной ФЗ –  $Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)$  средняя отдача по факторам будет следующей:

$$A_1 = \frac{Z(t)}{U_1(t)} = \frac{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{U_1(t)} \quad (3.4)$$

$$A_2 = \frac{Z(t)}{U_2(t)} = \frac{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{U_2(t)} \quad (3.5)$$

$$A_3 = \frac{Z(t)}{U_3(t)} = \frac{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{U_3(t)} \quad (3.6)$$

Предельная отдача по факторам:

$$M_1 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_1(t)} \quad (3.7)$$

$$M_2 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_2(t)} \quad (3.8)$$

$$M_3 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_3(t)} \quad (3.9)$$

Тогда по определению 1 факторная эластичность:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)} \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)} \quad (3.12)$$

**Определение 4:** предельной нормой компенсации (замещения)  $i$  ресурса (фактора загрязнения) ресурсом (фактором)  $j$  называется выражение:

$$Q_{ij} = -\frac{dx_j}{dx_i} \quad (i, j = 1, 2) \quad \text{при постоянной } y. \quad (3.13)$$

где:  $i$  – номер компенсируемого (замещаемого) ресурса,  $j$  – номер компенсирующего (замещаемого) ресурса

Непосредственно проверяется, что для двухфакторной функции справедливо равенство:

$$Q_{12} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{x_2}{x_1} \quad (3.14)$$

Исходя из уравнений (3.13), (3.10), (3.11) получаем следующее выражение для предельной нормы компенсации (замещения):

$$Q_{12} = \left( \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), t) * U_1(t)}{\partial U_1(t) * F(U_1(t), U_2(t), t)} * \frac{\partial U_2(t) * F(U_1(t), U_2(t), t)}{\partial F(U_1(t), U_2(t), t) * U_2(t)} \right) * \frac{U_2(t)}{U_1(t)} = \frac{\partial U_2(t)}{\partial U_1(t)}$$

Рассмотрим примеры представленных ранее функций. Наиболее проста и удобна линейная функция, аналогичная функции (1.7).

$$Z(t) = B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t) \quad (3.15)$$

Определение факторной эластичности позволит определить степень изменения исследуемого экологического показателя  $Z(t)$  в зависимости от изменения рассматриваемых факторов  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,  $U_3(t)$ .

Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_i$  для функции (3.15) будет иметь следующий вид для первых двух факторов:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)}$$

соответственно предельная отдача по первому фактору:

$$M_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial (B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t))}{\partial U_1(t)} = B(t)$$

и в результате факторная эластичность  $\varepsilon_1$  по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_1 = B(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{B(t) \times U_1(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t)} \quad (3.16)$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.15) будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

соответственно предельная отдача по второму фактору:

$$M_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t))}{\partial U_2(t)} = C(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_2 = C(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{C(t) \times U_2(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t)} \quad (3.17)$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.15) будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

соответственно предельная отдача по третьему фактору:

$$M_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t))}{\partial U_3(t)} = D(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_3 = C(t) \times \frac{U_3(t)}{Z(t)} = \frac{C(t) \times U_3(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \times U_3(t) + F(t)} \quad (3.18)$$

Рассматривались и более сложные функции с лимитирующим фактором, которые оказывались близки к реальности в отдельные периоды (в 90-е годы по РФ и Карелии):

$$Z(t) = A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\} \quad (3.19)$$

Определение факторной эластичности позволяет определить степень изменения исследуемого экологического показателя  $Z(t)$  в зависимости от изменения рассматриваемых факторов  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,  $U_3(t)$ .

Исходя из (3.10) факторная эластичность для функции (3.19) будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)}$$

$$M_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\})}{\partial U_1(t)} =$$

$$= \begin{cases} 0, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) > b \times U_2^\beta(t); a \times U_1^\alpha(t) > c \times U_3^\gamma(t); \\ \frac{\partial(a \times A(t) \times U_1^\alpha(t))}{\partial(U_1(t))} = a \times A(t) \times \alpha \times U_1^{\alpha-1} \end{cases}$$

$$\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \min(a \times U_1^\alpha(t)) = 1, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) < b \times U_2^\beta(t); a \times U_1^\alpha(t) < c \times U_3^\gamma(t) \\ \min(b \times U_2^\beta(t)) = 0, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) > b \times U_2^\beta(t); \\ \min(c \times U_3^\gamma(t)) = 0, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) > c \times U_3^\gamma(t) \end{cases}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_1 = \alpha \times U_1^{\alpha-1} \times a \times A(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{\alpha \times a \times A(t) \times U_1(t) \times U_1^{\alpha-1}(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} =$$

$$= \frac{\alpha \times a \times U_1^\alpha(t)}{\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} = \begin{cases} \alpha, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) < b \times U_2^\beta(t); a \times U_1^\alpha(t) < c \times U_3^\gamma(t) \\ 0, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) > b \times U_2^\beta(t); \\ 0, \text{если } a \times U_1^\alpha(t) > c \times U_3^\gamma(t) \end{cases}$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.19) будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

$$M_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\})}{\partial U_2(t)} =$$

$$= \begin{cases} 0, \text{если } b \times U_2^\beta(t) > a \times U_1^\alpha(t); b \times U_2^\beta(t) > c \times U_3^\gamma(t); \\ \frac{\partial(b \times A(t) \times U_2^\beta(t))}{\partial(U_2(t))} = b \times A(t) \times \beta \times U_2^{\beta-1} = b \times A(t) \times \beta \times U_2^{\beta-1} \end{cases}$$

$$\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \min(a \times U_1^\alpha(t)) = 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > a \times U_1^\alpha(t) \\ \min(b \times U_2^\beta(t)) = 1, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) < a \times U_1^\alpha(t); b \times U_2^\beta(t) < c \times U_3^\gamma(t); \\ \min(c \times U_3^\gamma(t)) = 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > c \times U_3^\gamma(t) \end{cases}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_2 = b \times A(t) \times \beta \times U_2^{\beta-1}(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{\beta \times b \times A(t) \times U_2(t) \times U_2^{\beta-1}(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} =$$

$$= \frac{\beta \times b \times A(t) \times U_2^\beta(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} = \begin{cases} 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > a \times U_1^\alpha(t) \\ \beta, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) < a \times U_1^\alpha(t); b \times U_2^\beta(t) < c \times U_3^\gamma(t); \\ 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > c \times U_3^\gamma(t) \end{cases}$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.19) будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

$$M_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\})}{\partial U_2(t)} =$$

$$= \begin{cases} 0, \text{ если } c \times U_3^\gamma(t) > a \times U_1^\alpha(t); c \times U_3^\gamma(t) > b \times U_2^\beta(t); \\ \frac{\partial(c \times A(t) \times U_3^\gamma(t))}{\partial(U_3(t))} = c \times A(t) \times \gamma \times U_3^{\gamma-1} & = c \times A(t) \times \gamma \times U_3^{\lambda-1}(t) \end{cases}$$

$$\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \min(a \times U_1^\alpha(t)) = 0, \text{ если } a \times U_1^\alpha(t) > c \times U_3^\gamma(t) \\ \min(b \times U_2^\beta(t)) = 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > c \times U_3^\gamma(t) \\ \min(c \times U_3^\gamma(t)) = 1, \text{ если } c \times U_3^\gamma(t) < a \times U_1^\alpha(t); c \times U_3^\gamma(t) < b \times U_2^\beta(t) \end{cases}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_3 = c \times A(t) \times \gamma \times U_3^{\lambda-1}(t) \times \frac{U_3(t)}{Z(t)} = \frac{c \times A(t) \times \gamma \times U_3^{\lambda-1}(t) \times U_3(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} =$$

$$= \frac{c \times A(t) \times \gamma \times U_3^\lambda(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t), c \times U_3^\gamma(t)\}} = \begin{cases} 0, \text{ если } a \times U_1^\alpha(t) > c \times U_3^\gamma(t) \\ 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > c \times U_3^\gamma(t) \\ \gamma, \text{ если } c \times U_3^\gamma(t) < a \times U_1^\alpha(t); c \times U_3^\gamma(t) < b \times U_2^\beta(t) \end{cases}$$

Чаще всего для расчетов использовалась мультипликативная функция

$$A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \quad (3.20)$$

Иногда для этой функции вводилась зависимость параметров от времени, обычно линейная. Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_1$  для функции (3.20) получается следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)}$$

$$M_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t))}{\partial U_1(t)} = \mu \times A(t) \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_1 = \mu \times A(t) \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{\mu \times A(t) \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times U_1(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)} = \mu$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.20) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

$$M_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t))}{\partial U_2(t)} = -\eta \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_3^\gamma(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= -\eta \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \\ &= \frac{-\eta \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_3^\gamma(t) \times U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)} = -\eta \end{aligned}$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.20) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

$$M_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t))}{\partial U_3(t)} = \gamma \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma-1}(t)$$



и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_3 = \gamma \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma-1}(t) \times \frac{U_3(t)}{Z(t)} = \frac{\gamma \times A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_3(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)} = \gamma$$

На основе проведенных расчетов можно предположить, что факторные эластичности постепенно должны меняться, возможно, убывать. Вводятся все более современные технологии и их воздействие меньше, чем у существующих, замена систем очистки на более совершенные дает меньший эффект, чем первая их установка, ограничения по воздействию на окружающую среду становятся все более жесткими, но изменения становятся меньше. Предлагается несколько видов функций с меняющимися факторными эластичностями, в частности:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \quad (3.21)$$

Возможно несколько вариантов близких функций, например:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_3(t)}{U_1(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right)$$

Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_1$  для функции (3.21) получается следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} \\ M_1 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t}))}{\partial U_1(t)} = \\ &= \mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) + U_1^\mu(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times \\ &\times \frac{\partial\left(\frac{a \times U_1(t)}{U_2(t)} + \frac{b \times U_1(t)}{U_3(t)}\right)}{\partial U_1(t)} \times A(t) = \\ &= \mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) + U_1^\mu(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times \\ &\times \left(\frac{a}{U_2(t)} + \frac{b}{U_3(t)}\right) \times A(t) \end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_1 &= (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) + U_1^\mu(t) \times A(t) \times \\
 &\times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times \left( \frac{a}{U_2(t)} + \frac{b}{U_3(t)} \right) \times \\
 &\times \frac{U_1(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)})} = \\
 &= (\exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times U_1^\mu(t)) \times (\mu + U_1(t) \times \left( \frac{a}{U_2(t)} + \frac{b}{U_3(t)} \right)) \times \\
 &\frac{U_1(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)})} = \\
 &= \frac{U_1(t) \times (\mu \times U_1^{-1}(t) + \left( \frac{a}{U_2(t)} + \frac{b}{U_3(t)} \right))}{1} = \frac{\mu + U_1(t) \times \left( \frac{a}{U_2(t)} + \frac{b}{U_3(t)} \right)}{1}
 \end{aligned}$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.21) будет получаться следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} \\
 M_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial (A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}))}{\partial U_2(t)} = \\
 &= -\eta \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma \times \\
 &\times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times \frac{\partial \left( a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + \frac{c \times U_2(t)}{U_3(t)} \right)}{\partial U_2(t)} \times A(t) = \\
 &= -\eta \times A(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma \times \\
 &\times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times \left( \frac{c}{U_3(t)} - \frac{a \times U_1(t)}{U_2^2(t)} \right)
 \end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_2 &= -\eta \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
 &\times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times \left(\frac{c}{U_3(t)} - \frac{a \times U_1(t)}{U_2^2(t)}\right) \times A(t) \times \\
 &\times \frac{U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right)} = \\
 &= \frac{\left(\exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t)\right) \times \left(-\eta + U_2^{-1}(t) \times \left(\frac{c}{U_3(t)} - \frac{a \times U_1(t)}{U_2^2(t)}\right)\right) \times \\
 &\frac{U_2(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right)} = \\
 &= \frac{U_2(t) \times \left(-\eta + U_2^{-1}(t) \times \left(\frac{c}{U_3(t)} - \frac{a \times U_1(t)}{U_2^2(t)}\right)\right)}{1} = \frac{-\eta + U_2(t) \times \left(\frac{c}{U_3(t)} - \frac{a \times U_1(t)}{U_2^2(t)}\right)}{1}
 \end{aligned}$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.21) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

$$\begin{aligned}
 M_3 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right))}{\partial U_3(t)} = \\
 &= (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \\
 &\times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times \frac{\partial\left(\frac{b \times U_1(t)}{U_3(t)} + \frac{c \times U_2(t)}{U_3(t)}\right)}{\partial U_3(t)}) \times A(t) = \\
 &= (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \\
 &\times \exp\left(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}\right) \times \left(-\frac{b \times U_1(t)}{U_3^2(t)} - \frac{c \times U_2(t)}{U_3^2(t)}\right)) \times A(t)
 \end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_3 &= A(t) \times (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) + U_3(t) \times \\
&\times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times \left( -\frac{b \times U_1(t)}{U_3^2(t)} - \frac{c \times U_2(t)}{U_3^2(t)} \right) \times \\
&\times \frac{U_3(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)})} = \\
&= (\exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)}) \times U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t)) \times (\gamma + U_3^{-1}(t) + \left( -\frac{b \times U_1(t)}{U_3^2(t)} - \frac{c \times U_2(t)}{U_3^2(t)} \right)) \times \\
&\frac{U_3(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(a \times \frac{U_1(t)}{U_2(t)} + b \times \frac{U_1(t)}{U_3(t)} + c \times \frac{U_2(t)}{U_3(t)})} = \\
&= \frac{U_3(t) \times (-\eta + U_3^{-1}(t) + \left( -\frac{b \times U_1(t)}{U_3^2(t)} - \frac{c \times U_2(t)}{U_3^2(t)} \right))}{1} = \frac{-\eta + U_2(t) \times \left( -\frac{b \times U_1(t)}{U_3^2(t)} - \frac{c \times U_2(t)}{U_3^2(t)} \right)}{1}
\end{aligned}$$

Рассмотрим функцию с факторными эластичностями, зависимость которых от факторов нелинейная:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp\left(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}\right) \quad (3.22)$$

Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_1$  для функции (3.22) получается следующим образом:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} \\
M_1 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}))}{\partial U_1(t)} = \\
&= A(t) \times (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) + U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times \frac{a}{U_1^2(t)})
\end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) - U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times \frac{a}{U_1^2(t)}) \times \frac{A(t) \times U_1(t)}{A(t) \times U_1^\mu \times U_2^{-\eta} \times U_3^\gamma \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \\
&= (\exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times U_1^\mu \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)) \times (\mu \times U_1^{-1}(t) - \frac{a}{U_1^2(t)}) \times \\
&\times \frac{U_1(t)}{U_1^\mu \times U_2^{-\eta} \times U_3^\gamma \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \frac{\mu + \frac{a}{U_1(t)}}{1} = \mu - \frac{a}{U_1(t)}
\end{aligned}$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.22) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

$$\begin{aligned}
M_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}))}{\partial U_2(t)} = \\
&= A(t) \times ((-\eta) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) - U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times \frac{b}{U_2^2(t)})
\end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_2 &= A(t) \times ((-\eta) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)}) \times \frac{b}{U_2^2(t)}) \times \frac{U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \\
&= (\exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t)) \times (-\eta \times U_2^{-1}(t) - \frac{b}{U_2^2(t)}) \times \\
&\times \frac{U_2(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \\
&= \frac{-\eta + (\frac{b \times U_2(t)}{U_2^2(t)})}{1} = \frac{-\eta + (\frac{b}{U_2(t)})}{1} = -\eta - \frac{b}{U_2(t)}
\end{aligned}$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.22) будет получаться следующим образом:

$$\begin{aligned}\varepsilon_3 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)} \\ M_3 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}))}{\partial U_3(t)} = \\ &= A(t) \times (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) - U_3^\gamma(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\ &\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times \frac{c}{U_3^2(t)})\end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}\varepsilon_3 &= \gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) - U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\ &\times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)}) \times \frac{c}{U_3^2(t)} \times \frac{A(t) \times U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \\ &= (\exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)}) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)) \times (\gamma \times U_3^{-1}(t) - \frac{c}{U_3^2(t)}) \times \\ &\times \frac{U_3(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)} + \frac{c}{U_3(t)})} = \\ &= \frac{\gamma + (\frac{c \times U_3(t)}{U_3^2(t)})}{1} = \frac{\gamma + (\frac{c}{U_3(t)})}{1} = \gamma - \frac{c}{U_3(t)}\end{aligned}$$

Рассмотрим функцию с линейно меняющимися в зависимости от факторов факторными эластичностями:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \quad (3.23)$$

Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_1$  для функции (3.23) получается следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)}$$

$$M_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t)) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))}{\partial U_1(t)} =$$

$$= (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times a) \times A(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_1 = (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times a) \times$$

$$\times \frac{U_1(t)}{U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} =$$

$$= (\exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t)) \times (\mu \times U_1^{-1}(t) + a) \times$$

$$\times \frac{U_1(t)}{U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} =$$

$$= \frac{(\mu \times U_1^{-1}(t) + a) \times U_1(t)}{1} = \mu + a \times U_1(t)$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.23) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

$$M_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)))}{\partial U_2(t)} =$$

$$= ((-\eta) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times b) \times A(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_2 = ((-\eta) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) +$$

$$+ c \times U_3(t)) \times b) \times A(t) \times \frac{U_2(t)}{A(t) \times U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} =$$

$$= \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times U_2^{-\eta}(t) \times (-\eta \times U_2^{-1}(t) + b) \times$$

$$\times \frac{U_2(t)}{U_1^{\mu}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^{\gamma}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} =$$

$$= \times \frac{U_2(t) \times (-\eta \times U_2^{-1}(t) + b)}{1} = \frac{-\eta + b \times U_2(t)}{1} = -\eta + b \times U_2(t)$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.23) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

$$M_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)))}{\partial U_3(t)} =$$

$$= (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times c) \times A(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\varepsilon_3 = (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times c) \times A(t) \times$$

$$\times \frac{U_3(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} =$$

$$= \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t)) \times U_3^\gamma(t) \times (\gamma \times U_3(t) + b) \times$$

$$\times \frac{U_3(t)}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t) + c \times U_3(t))} = \gamma + c \times U_3(t)$$

Рассмотрим функцию с меняющимися факторными эластичностями, зависящими от других факторов:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \quad (3.24)$$

Возможны и другие варианты похожих функций, но у них увеличивается количество параметров, что для коротких временных рядов создает определенные проблемы.

Исходя из (3.10) факторная эластичность  $\varepsilon_1$  для функции (3.24) получается следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{Z(t)}$$

$$M_1 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)))}{\partial U_1(t)} =$$

$$= (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times (a \times U_2(t) \times U_3(t))) \times A(t)$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_1(t)$  будет следующей:



$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))) \times A(t) \times \\
&\times (a \times U_2(t) \times U_3(t)) \times \frac{U_1(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} = \\
&= \frac{((\exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times U_1^\mu(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)) \times (\mu \times U_1^{\mu-1}(t) + a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)))}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} \\
&\times U_1(t) = \frac{\mu + a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)}{1}
\end{aligned}$$

Исходя из (3.11) факторная эластичность  $\varepsilon_2$  для функции (3.24) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)}$$

$$\begin{aligned}
M_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)))}{\partial U_2(t)} = \\
&= ((-\eta) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times a \times U_1(t) \times U_3(t)) \times A(t)
\end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_2(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_2 &= (-\eta \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times \\
&\times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))) \times A(t) \times \\
&\times a \times U_1(t) \times U_3(t) \times \frac{U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} = \\
&= \frac{\exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_3^\gamma(t) \times (-\eta \times U_2^{-1}(t) + a \times U_1(t) \times U_3(t))}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} \times U_2(t) \\
&= \frac{-\eta + a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)}{1}
\end{aligned}$$

Исходя из (3.12) факторная эластичность  $\varepsilon_3$  для функции (3.24) будет получаться следующим образом:

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} \times \frac{U_3(t)}{Z(t)}$$

$$\begin{aligned}
M_3 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_3(t)} = \frac{\partial(A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)))}{\partial U_3(t)} = \\
&= (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \\
&\times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times a \times U_1(t) \times U_2(t)) \times A(t)
\end{aligned}$$

и в результате факторная эластичность по фактору  $U_3(t)$  будет следующей:

$$\begin{aligned} \varepsilon_3 &= (\gamma \times U_3^{\gamma-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) + U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \\ &\times \exp a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times a \times U_1(t) \times U_2(t) \times A(t) \times \\ &\times \frac{U_3(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} = \\ &= \frac{\exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t)) \times U_3^\gamma(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times (\gamma \times U_3^{-1}(t) + a \times U_1(t) \times U_2(t))}{U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t))} \times U_3(t) \\ &= \frac{\gamma + a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3^2(t)}{1} = \gamma + a \times U_1(t) \times U_2(t) \times U_3(t) \end{aligned}$$

Анализ проведенных расчетов показал, что для трехфакторных функций (3.20) – (3.24) с инвестициями за один год (или за два последних года) в качестве факторов, можно использовать как зависимую переменную прирост загрязнений (точнее простую функцию от прироста загрязнений) или индекс роста загрязнений, например аналогом для функции (3.20) будет следующая:

$$Z(t) / Z(t-1) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\gamma(t)$$

где:  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,  $U_3(t)$  – инвестиции соответственно в новое строительство, природоохранную деятельность и модернизацию за год  $t$ , или их сумма за два года  $t$  и  $t-1$ .

## ГЛАВА 4

### ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПО РОССИИ<sup>4</sup>

#### 4.1. Развитие экономики России и изменение экологической ситуации

Замедление экономического роста и увеличение технологического отставания от развитых стран способствовало началу активных рыночных реформ, которые привели к значительным изменениям экономики России. Была проведена либерализация цен, обменного курса, внешней и внутренней торговли, изменилась налоговая система, была осуществлена приватизация, развивалось законодательство, но производство снижалось, доходы бюджета резко сократились, уменьшились инвестиции в экономику. Значительно сократились инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды (рис. 4.1).

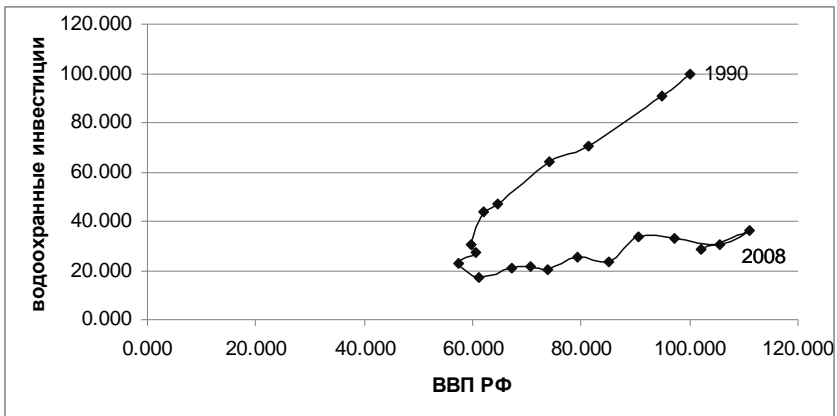


Рис. 4.1. Динамика инвестиций на охрану водных ресурсов (1990 г. принят за 100%) в зависимости от ВВП РФ (1990 г. принят за 100%)

<sup>4</sup> Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а.

Начавшийся в 1991 г. спад экономики охватил все отрасли и стал ускоряться, резко упали доходы населения, и стал сжиматься внутренний рынок. В то же время, несмотря на то, что оставалось много проблем (кризис неплатежей, высокая доля бартера, завышенный курс рубля), приватизированные предприятия постепенно адаптировались к новой среде, создавались и новые предприятия. В результате спад экономики стал замедляться, и в 1997 г. валовой внутренний продукт (ВВП) увеличился на 1.2%, было относительно небольшое снижение инвестиций в основной капитал, выросла производительность труда, немного возросли доходы населения.

Часть предприятий переориентировалась на внешний рынок. Среди предприятий, которые смогли компенсировать снижение объемов продаж на внутреннем рынке экспортом, оказались в основном добывающие и металлургические, наиболее сильно воздействующие на окружающую среду. Уже в 1995 г. выросло производство в металлургии и химико-лесном комплексе. Соответственно изменились структура экспорта и структура экономики.

Нерешенные макроэкономические проблемы привели к кризису 1998 г. и резкому падению курса рубля, что позволило многим предприятиям успешно развиваться, причем не только добывающим, но и перерабатывающим. После девальвации рубля начался быстрый рост экономики, начался рост природоохранных инвестиций, но накапливались новые внутренние проблемы. С одной стороны, ВВП за 2000–2007 гг. вырос на 72%; чуть меньше, на 56% вырос объем промышленного производства. Внешнеторговый оборот увеличился более чем в пять раз, инвестиции в основной капитал – более чем в 2.5 раза, реальные доходы населения – почти в 2.5 раза. Не удалось снизить инфляцию (индекс потребительских цен за последние восемь лет вырос почти в 3 раза), и выросла дифференциация доходов населения (13.9 в 2000 г. и 16.8 в 2007 г.).

Изменилась и стала более разумной экономическая политика, к числу относительно удачных шагов можно отнести налоговую реформу, бюджетную политику, банковскую реформу, развитие фондового рынка, формирование рынка земли и реформу трудовых отношений. Гораздо больше неуспешных и проваленных действий: административная реформа, защита прав собственности, пенсионная реформа, развитие конкуренции, реформа

ЖКХ, монетизация льгот и т.д. Но высокие мировые цены на нефть и накопленный в 90-х годах потенциал позволяли в 2000-х годах иметь высокие темпы роста, вплоть до начала нового мирового кризиса.

По оценкам экспертов дополнительный доход от экспорта нефти за восемь лет по сравнению с 1992–1999 гг. с поправкой на инфляцию составил около \$500 млрд. В итоге РФ оставалась с сырьевой, монополизированной экономикой. Экспортно-сырьевая зависимость российской экономики не снизилась, скорее даже существенно возросла, что проявилось с началом мирового финансового кризиса. Начался спад экономики, бюджет стал дефицитным, и если рост экономики возобновился, то бюджет будет дефицитным еще долго (Россия ..., 2009).

Современные тенденции экономического развития РФ являются «антиэкологическими» и закрепление этих тенденций в будущем приведет к неустойчивому развитию страны, явится дополнительным фактором дестабилизации биосферы планеты.

В 90-е гг. кризис оказал и негативное и положительное влияние на решение экологических проблем. В условиях огромного спада производства, падения его эффективности, нарастании социальных проблем внимание к охране окружающей среды, затраты в этой области свелись к минимуму (рис. 4.1). Приоритет получило решение краткосрочных экономических и социальных проблем, а экологические проблемы отошли на второй план. Отражением этой ситуации явилось постоянное уменьшение роли влияния экологических структур в правительстве РФ. Но спад производства привел к закрытию многих неэффективных и загрязняющих природу предприятий, часть из которых стала возрождаться в 2000-х годах на новой технологической основе, существенно меньше влияя на окружающую среду.

Современная экономика РФ характеризуется высокой природоемкостью. Такая ситуация сложилась в основных природоэксплуатирующих секторах, существенно воздействующих на экологическую ситуацию (энергетическом, аграрном и лесном). По оценкам экспертов, в РФ затраты энергии, земли, леса и других ресурсов на единицу конечной продукции в среднем в 2–6 раз превышают затраты развитых стран. Еще больше разница по выбросам в атмо-

сферу загрязняющих веществ. Диоксид углерода, главный парниковый газ, приводящий к глобальному изменению климата, превышает показатели развитых стран на единицу ВВП в 3-4 раза. Удельные выбросы оксидов серы, которые приводят к кислотным дождям и деградации больших площадей лесов и земель, в стране примерно в 20 раз выше, чем в Японии и Норвегии, и примерно в 6-7 раз – чем в Германии и Франции.

По мнению экспертов, важнейшая причина деградации природы РФ – неэффективная, природоёмкая структура экономики. Значительный спад обрабатывающей промышленности в 90-х годах, медленное развитие инфраструктуры, сферы распределения, отсталые и грязные технологии приводят к сохранению нагрузки на природу, значительным потерям природных ресурсов и сырья, высокому уровню загрязнений.

В условиях промышленного спада сократилось производство и потребление многих природных ресурсов, уменьшились суммарные выбросы и загрязнения. Во время кризиса 90-х годов отдельные удельные показатели затрат природных ресурсов и загрязнений в расчете на единицу конечной продукции возросли, поскольку выжили загрязняющие и ресурсоёмкие сектора, тогда как многие ресурсосберегающие и висотехнологичные производства деградировали.

Достаточно показательным является ухудшение одного из важнейших показателей устойчивого развития – энергоёмкости экономики, которая выросла на 30% за 1990–1998 гг., тогда как в развитых странах и многих странах с переходной экономикой этот показатель существенно уменьшился. Аналогичные тенденции сложились и в динамике некоторых показателей удельных загрязнений.

Надо отметить также увеличение нагрузки на природную среду в результате экспортной политики РФ. Удельный вес природно-сырьевых ресурсов в общем объеме экспорта РФ достигал 80%. Возникает проблема неравенства в распределении экологических ущербов и издержек при таком природоёмком экспорте. РФ оставляет эти ущербы у себя, а экспортирует значительно более экологически чистую продукцию, например, газ, электроэнергию, сталь, алюминий.

Важнейший сектор современной российской экономики – энергетический сектор, оказывает положительное влияние на развитие российской экономики и ведет к высоким доходам бюджета и населения лишь при высоких мировых ценах на энергоресурсы. Значит, при снижении цен резко уменьшается внутренний рынок. В силу сложных природных условий, удаленности мест добычи себестоимость нефти в стране в 3–5 раз выше, чем на Ближнем Востоке и Латинской Америке, и в дальнейшем она будет расти (да и лес в Боливии вырастает за 6 лет). С каждым годом надо осваивать все более далекие и сложные месторождения, растут риски разработки новых месторождений на неосвоенных территориях. Уменьшение мировых цен может сделать нерентабельной значительную часть газо и нефтедобычи в отдаленных северных районах с неразвитой инфраструктурой, заморозить огромные инвестиции, которые станут неэффективными, оставить экологически деградированными огромные территории. Поэтому и с экологических, и с экономических позиций РФ выгоднее интенсифицировать процессы энергосбережения, начать реальную структурную перестройку экономики.

За годы реформ структура экономики РФ изменилась скорее в отрицательную сторону. Важнейшим видом деятельности стала добыча топливно-энергетических полезных ископаемых, ее доля составляет 9.2%. В то же время по многим видам загрязнений этот вид деятельности является основным, например по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников – 27% от всех выбросов, по образованию отходов производства и потребления – 49%, лишь по сбросу загрязненных сточных вод доля невелика – менее 3% (Регионы ..., 2009; Россия ..., 2009; Охрана ..., 2009; Основные ..., 2009).

Удельный вес транспорта в ВВП – 7.1%, а по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников – 10.6%. Доля металлургии в ВВП – 4.1%, по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников – 23.2%, по сбросу загрязненных сточных вод – 3.8%, по образованию отходов производства и потребления – 5.4%. Удельный вес производства и распределения электроэнергии, газа

и воды в ВВП – 3.3%, по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников – 21.2%, по сбросу загрязненных сточных вод – 52.9%, по образованию отходов производства и потребления – 2.1%.

Некоторые отрасли выделяются только по одному виду загрязнений: производство кокса и нефтепродуктов (доля в ВВП – 3.3%) по выбросам загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников – 3.7%, добыча прочих полезных ископаемых (доля в ВВП – 1.2%) по образованию отходов производства и потребления – 34%, предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг (доля в ВВП – 2%) по сбросу загрязненных сточных вод – 10.8%, целлюлозно-бумажное производство (доля в ВВП – 0.7%) по сбросу загрязненных сточных вод – 6.6%, сельское и лесное хозяйство (доля в ВВП – 4.4%) по сбросу загрязненных сточных вод – 6.5%, химическое производство (доля в ВВП – 1.3%) по сбросу загрязненных сточных вод – 4.4%.

Динамику выбросов загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников определяют четыре вида деятельности – добыча топливно-энергетических полезных ископаемых, металлургия, производство и распределение электроэнергии, газа и воды и транспорт. Существенно меньше влияют производство кокса и нефтепродуктов, химическое производство и целлюлозно-бумажное производство. Влияние других видов деятельности невелико, менее 3%.

Для приближенной оценки взаимосвязи показателей и основных параметров ФЗ – факторных эластичностей и темпа нейтрального экологического прогресса, проводился анализ данных и построение различных графиков экологических и экономических показателей и их соотношений, осуществлялось сглаживание показателей. В результате были выделены периоды с потенциально отличным поведением основных характеристик исследуемого процесса, построены предположения о типе ФЗ, определены возможные ограничения на параметры ФЗ.



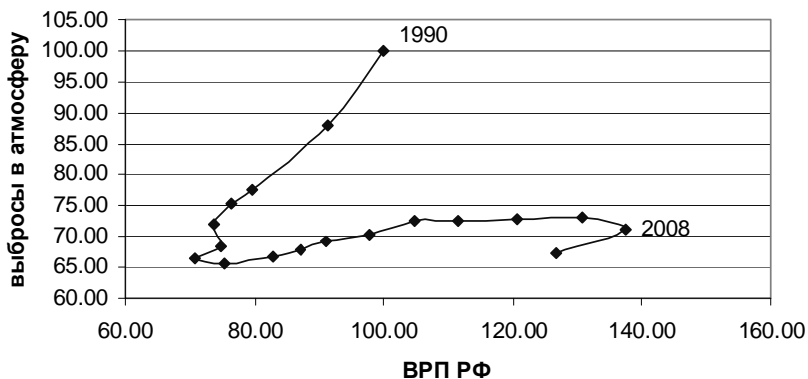


Рис 4.2. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики ВВП РФ (1990 г. принят за 100%)

Данные по РФ показывают примерно такую же зависимость, как и у большинства регионов. На рисунке 4.2 приведена динамика ВВП РФ и также видно, что с конца 90-х годов рост ВВП не вызывает значительного роста выбросов в атмосферу. По графику можно предположить, что возможно существует два периода с различными характеристиками, значит, для прогнозирования можно использовать результаты расчетов по второму периоду, после девальвации рубля. В то же время надо заметить, что возможно кризис 2008–2009 гг. ведет к началу нового третьего периода и прогнозные оценки будут не очень точными. Видимо, в переломные годы лучше использовать для прогнозирования функции загрязнения с нейтральным экологическим прогрессом.

При учете зависимости от времени (если принять, что нейтральный экологический прогресс не равен нулю) и учете второго фактора различия периодов могут исчезнуть. Построение графика одинакового уровня загрязнений через корректировку факторов (коэффициент определяется из соотношения уровня выбросов к 1990 г.) показывает несущественность различий двух периодов.

На рисунке 4.3 показано изменение зависимости выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от динамики ВВП РФ

при корректировке выбросов – уменьшении на 3% в год за счет не учитываемых в данной модели факторов (скорее всего связанных с модернизацией производств). Видно совпадение двух линий, значит можно строить ФЗ и в целом за период 1990–2009 гг.

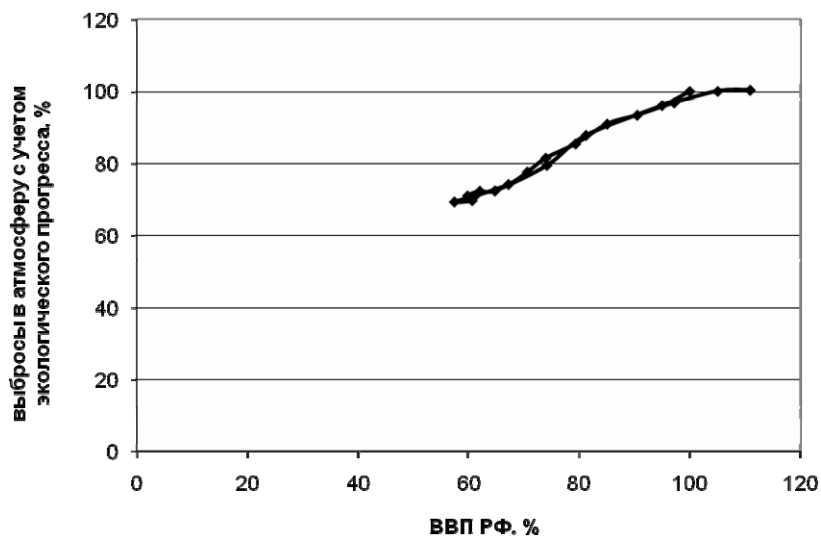


Рис 4.3. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики ВВП РФ (1990 г. принят за 100%) при предположении о существовании отрицательного нейтрального экологического прогресса  $p = -0.03$ .

На рисунке 4.4 показана взаимосвязь динамики ВВП РФ и сбросов загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты. Видно, что в 90-х годах падение ВВП ведет к существенно меньшему уменьшению сбросов (в 1990–1993 гг. при уменьшении ВВП на 25% сбросы практически не изменились), а с началом экономического роста тенденция к сокращению сбросов сохраняется, что может быть связано с модернизацией производства или ростом водоохраных инвестиций в 2000-х годах. Из рисунка 4.5 видно, что в 90-х годах водоохраные инвестиции уменьшились примерно в пять раз, а за 2000–2008 гг. выросли более чем в два раза.

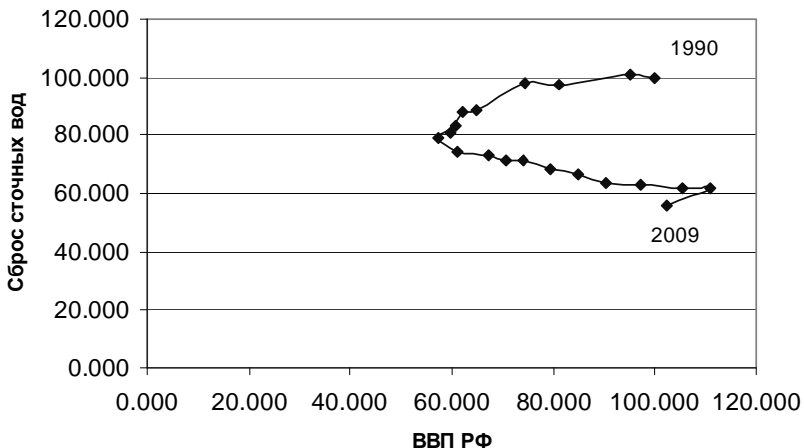


Рис 4.4. Изменение сбросов загрязненных сточных вод (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики ВВП РФ (1990 г. принят за 100%)

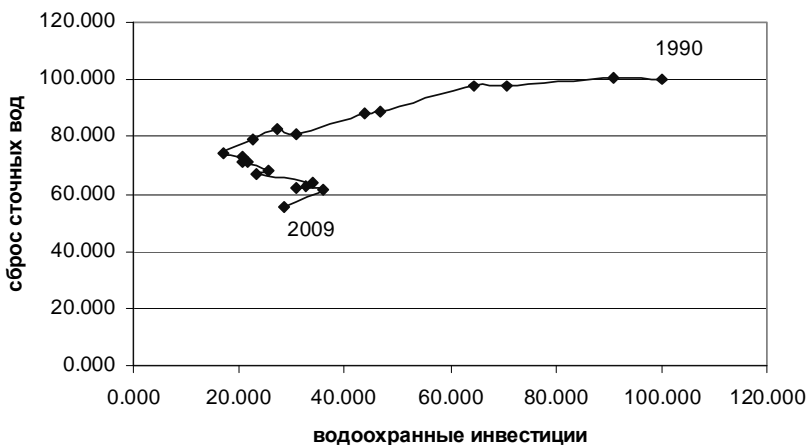


Рис 4.5. Изменение сбросов загрязненных сточных вод (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики водоохраных инвестиций (1990 г. принят за 100%)

По графикам можно предположить, что возможно существует два подпериода с различными характеристиками, значит, для прогнозирования можно использовать результаты расчетов по второ-

му подпериоду, после девальвации рубля. Возможно, введение нейтрального экологического прогресса позволит получить одну функцию для всего периода реформ. Данные 2009 г. отклоняются от общей тенденции, возможно, это говорит о начале нового третьего подпериода, в котором впрочем, могут продолжиться тенденции второго.

#### **4.2. Идентификация функций загрязнения по России**

Ниже приводятся результаты расчетов по России, в ходе которых определялись влияние изменения показателей на динамику выбросов в атмосферу. Расчеты проводились за весь период реформ, за оба подпериода и иногда за вычетом начала 90-х годов. По РФ использовались данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, ВВП, инвестициям в основной капитал и инвестициям в основной капитал, направленным на охрану атмосферного воздуха.

Основная проблема связана с коротким рядом данных, все виды функций можно оценивать за весь период, но определенные проблемы иногда возникают при расчетах за отдельные подпериоды. Расчеты проводились за 1990–2009 гг. и за докризисный период – 1990–2007 гг. или 1990–2008 гг. Вторая проблема, которая серьезно осложняет проведение расчетов, особенно для трехфакторных инвестиционных функций – мультиколлинеарность.

Первоначально анализировались данные, по исходным и сглаженным данным строились графики взаимосвязи показателей для приближенной оценки динамики факторных эластичностей и выделения подпериодов с различным поведением показателей. В результате определялись ограничения на параметры функций, и происходил выбор наиболее подходящих функций, прежде всего исходя из соответствия поведения факторных эластичностей. Затем проводились расчеты, отбрасывались бессмысленные результаты (факторная эластичность по экономическому показателю отрицательна или факторная эластичность по природоохранному показателю положительна) и с учетом полученных статистических характеристик отбирались функции. Надо отметить низкое значение эластичности по природоохранному показателю, в отдельных

случаях полученные параметры оказываются незначимы. Различие подпериодов исчезало при введении нейтрального экологического прогресса, но возможно лучше было бы использовать сплайновые функции.

Расчеты проводились по всем представленным выше функциям. Линейная ФЗ (1.7) с постоянными коэффициентами лишь в нескольких вариантах расчетов по РФ привела к имеющим смысл результатам. За 1990–2007 гг. при использовании в качестве первого показателя ВВП было получено  $B=0.50$  и  $C=-0.06$ , близкие результаты были и для инвестиций в основные фонды ( $B=0.60$ ,  $C=-0.11$ ) при хороших статистических характеристиках. Разумные результаты оказались лишь при суммировании инвестиций за 1–3 года, использование кумулятивных инвестиций за 5 лет привело к не имеющим смысла результатам.

При расчетах по модификации ФЗ (1.8) с постоянными коэффициентами имеющий смысл результат был получен лишь для ВВП за 1991–2007 гг. при хороших статистических характеристиках ( $B=0.21$  и  $C=-0.11$ ). Если ввести зависимость свободного члена от времени, то статистические характеристики практически не меняются, но несколько меняются коэффициенты ( $B=0.19$ ,  $C=-0.12$ ).

Расчеты показали, что для функций (1.7) и (1.8) более близка к российской реальности зависимость коэффициентов  $C(t)$  и  $B(t)$  от времени, а  $D(t)$  можно принять постоянным. Это важно, поскольку как показали расчеты по трем северным регионам, изменение экономических показателей оказывало все меньшее влияние на окружающую среду в период реформ, а природоохранная деятельность становилась все более значимой. Расчеты по РФ по (1.8) дали похожий результат – факторная эластичность по ВВП убывает, а по природоохранным инвестициям растет:

$$\Delta Z(t) = (1.89 - 0.017 \times t) \times \Delta U_1(t) + (0.011 \times t - 1.19) \times \Delta U_2(t) + 0.29 \quad (4.1)$$

Более реальна нелинейная функция (1.6), у которой эластичность компенсации равна 1, ясен эколого-экономический смысл, но есть и проблемы при использовании инвестиций в качестве показателей. При преобразовании функции (1.6) к приростному виду возможно несколько вариантов формирования показателя, отражающего динамику инвестиций. В знаменателе ставится сумма инвестиций за

определенный промежуток (допустим за 5 лет). В первом случае в числителе берется разница инвестиций в первый и последний годы данного промежутка (выбывают инвестиции последнего года), во втором в числителе ставятся инвестиции за последний год, в третьем из инвестиций за последний год вычитается определенная часть инвестиций за весь промежуток. Сравнение результатов расчетов показало небольшое изменение коэффициентов.

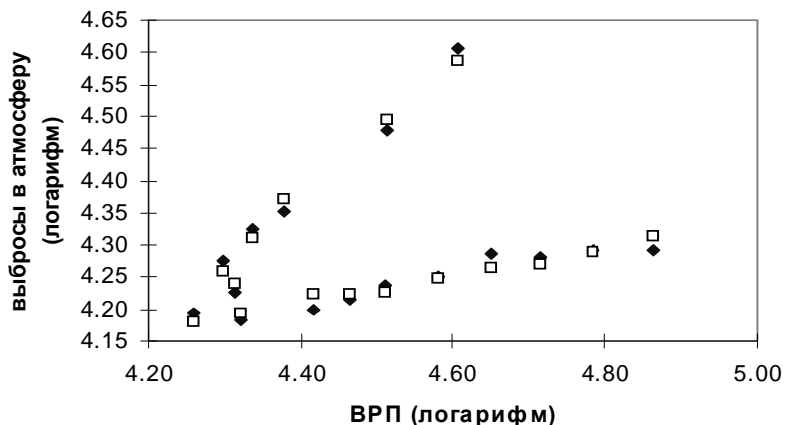


Рис. 4.6. Отклонение расчетных значений от фактических для функции (1.6) по российским данным за 1992–2007 гг.

Расчеты по российским данным привели к достаточно высоким значениям эластичности по ВВП. Для 1990–2007 г. при инвестициях за 1 год  $\mu = 0.51$  без учета нейтрального экологического прогресса и  $\mu = 0.68$  с учетом (был получен отрицательный, примерно  $-0.03$ ). При кумулятивных инвестициях за 3 года с учетом нейтрального экологического прогресса результат примерно такой же –  $\mu = 0.695$ , коэффициент  $\eta = 0.032$ , нейтральный экологический прогресс  $p = -0.030$  (рис. 4.6).

При расчетах за второй период эластичность  $\mu$  находится в интервале 0.21–0.3 в зависимости от границ периода и количества лет, за которые суммируются инвестиции. Можно сделать вывод о значительном уменьшении влияния изменения ВВП на динамику выбросов в атмосферу.

Коэффициент  $\eta$  оказался близок к нулю, при изменении периода расчетов и длительности лет суммирования инвестиций, наличия или отсутствия нейтрального экологического прогресса он колеблется между 0.001 и 0.04. Нейтральный экологический прогресс отрицателен и составляет примерно  $-0.03$ , его учет ведет к приближению параметра  $\eta$  к нулю.

При расчетах за первый и второй периоды были получены высокие значения коэффициентов корреляции и Фишера, как и за весь период при суммировании инвестиций за 1–3 года при учете нейтрального экологического прогресса. Расчеты при более длительном периоде суммирования инвестиций возможно менее надежны, поскольку происходит смещение данных за два периода, а динамика показателей в этих периодах противоположна.

Изменение факторных эластичностей по периодам должно было позволить построить ФЗ с нулевой однородностью ( $\mu = \eta$ ), но расчеты оказались неудачны – статистические характеристики оказались очень низкими. Значительное различие параметров  $\mu$  и  $\eta$ , полученное при расчетах по функции (1.6), не позволяет говорить о близости их суммы к нулю.

Более сложные функции (1.10) – (1.13) подтвердили данные результаты. Уравнение (1.10) позволяет оценить однородность и динамику факторных эластичностей. Расчеты при различных условиях показали, что однородность находится в пределах 0.1–0.5. Эластичность по ВВП немного убывает и находится в пределах 0.4–0.6, а эластичность по природоохранным инвестициям немного растет и находится в районе  $-0.1$ . Введение нейтрального экологического прогресса (он составил примерно  $-0.026$ ) немного сместило оценки, заметно выросла эластичность по ВВП и соответственно однородность. Значительная разница факторных эластичностей говорила о проблематичности построения в данном случае функции с нулевой однородностью, что и подтвердили расчеты.

Расчеты по функции (1.11) показали, что построение однородной функции возможно, но, скорее всего степень влияния показателей на динамику загрязнений снижается. По расчетам за 1990–2007 гг. эластичность по ВВП составляла 0.5–0.6, а по природоохранным инвестициям колебалась от  $-0.1$  до  $-0.2$ . Но в данном

случае получаются невысокие статистические характеристики, коэффициент корреляции только  $R=0.57$ . Введение нейтрального экологического прогресса резко улучшает статистические характеристики ( $R=0.99$ ,  $F=408$ ) и его учет ведет к росту эластичности по ВВП до 0.7 и по природоохранным инвестициям почти до нуля. Нейтральный экологический прогресс отрицателен и составляет примерно  $-0.03$ , как и для функции (1.6). Выделение двух периодов показывает, что влияние ВВП заметно снизилось (падение эластичности с примерно 0.9 в первом периоде до 0.2 во втором), а природоохранных инвестиций выросло (изменение эластичности с примерно нуля до  $-0.2$ ).

Расчеты по функции (1.12) показали близкие результаты. По расчетам за 1990–2007 гг. эластичность по ВВП составляла 0.53–0.55, а по природоохранным инвестициям колебалась около  $-0.2$ . В первом периоде эластичности оказались примерно такими же, как и для функции (1.11), а во втором степень влияния природоохранных инвестиций оказалась примерно вдвое выше. Статистические характеристики для всех вариантов расчетов примерно такие же, как и для функции (1.11).

Можно сделать следующие выводы – влияние экономического фактора (ВВП или инвестиции в основной капитал) постепенно снижается, но остается значительным, влияние инвестиций в охрану атмосферного воздуха растет, но остается небольшим, высокая величина нейтрального экологического прогресса говорит о значительном влиянии неучтенных факторов (доли инвестиций в модернизацию и структурных сдвигов в экономике РФ).

Намного сложнее оказалось провести расчеты по трехфакторным функциям для анализа загрязнений атмосферного воздуха. Прежде всего, влияет мультиколлинеарность данных по инвестициям в новое строительство и модернизацию. Также точность данных невелика – данные официальной статистики по инвестициям видимо неточны (Бессонов, Воскобойников, 2006), неоднократно менялась методика, на сайте ФСГС по структуре инвестиций доступна информация лишь с 2001 г., структура инвестиций по направлениям появилась в отчетности в 2000-х годах и она отличается от использовавшейся ранее воспроизводственной структуры. Кроме того, в последние годы от общего объема инвестиций почти



четверть не относится к новому строительству или модернизации – приобретение новых основных средств. Соответственно возникает проблема отнесения их к модернизации или их разбиения между двумя направлениями.

Поэтому больше внимания уделялось предварительному анализу данных, построению графиков, определению возможных ограничений на параметры, которые позволили бы получить разумные оценки. Факторные эластичности в отдельных подпериодах заметно отличаются, поэтому, как и для двухфакторной функции вводилась зависимость от времени, чтобы можно было рассматривать весь период реформ одновременно. При расчетах с кумулятивными инвестициями за 5 лет для 1994–2008 гг. для функции (3.20) было получено  $\mu = 0.30$ ,  $\gamma = -0.09$ ,  $\eta = 0.08$ , нейтральном экологическом прогрессе  $p = -0.002$  при хороших статистических характеристиках. Надо отметить, что для 90-х годов значимость водоохранных инвестиций близка к нулю, при учете только двух факторов за 1994–2000 гг. было получено  $\mu = 0.26$ ,  $\gamma = -0.04$ . Во втором под-периоде растет значимость модернизации (для 2003–2008 гг.  $\gamma = -0.23$ ) и природоохранных инвестиций, но ряд данных слишком мал для использования функций с меняющейся факторной эластичностью. Для кумулятивных инвестиций за 3 года за 1992–2008 гг. использование функции (3.22) позволило подтвердить убывание факторной эластичности по инвестициям в новое строительство (среднее значение 0.112) и возрастание по модулю отрицательной факторной эластичности по природоохранным инвестициям (среднее значение  $-0.084$ ).

Проведенные расчеты, по исследованию выбросов в атмосферу от динамики инвестиций в основной капитал по направлениям, позволили сделать некоторые выводы. Эластичности  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  имеют противоположный знак, эластичность  $\varepsilon_1$  убывает, эластичность  $\varepsilon_3$  отрицательна и возрастает по модулю, параметр нейтрального экологического прогресса отрицателен, существенно меньше, чем в двухфакторной функции (влияние учета модернизации). Проведенные расчеты при различных ограничениях показали, что, как и для производственных функций (было получено В. Бессоновым), так и для инвестиционных функций существует почти линейная зависимость между параметром  $p$  и суммой параметров  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ .

При анализе данных по водным загрязнениям видно (рис. 4.4 и 4.5), что в 1990–1993 гг. при заметном спаде ВВП и инвестиций в охрану водных ресурсов практически не уменьшался сброс загрязненных сточных вод. Затем в 1994–1998 гг. все три показателя снижаются, а в 2000-х годах при росте факторов продолжается падение сбросов загрязненных вод, что может быть связано и с ростом водоохраных инвестиций, и с модернизацией производства. Данные особенности сложно описать одной функцией, даже вводя нейтральный экологический прогресс, поэтому большинство расчетов проводилось за 1993–2009 гг.

Для 1990–2009 гг. лишь двухфакторная функция (1.12) с введением нейтрального экологического прогресса позволила получить приемлемые результаты, хотя параметр  $p = -0.037$ , что очень много. Соответственно другие параметры видимо оказались отличными от их реальных значений. Факторная эластичность по ВВП оказалась примерно равна 0.19, факторная эластичность по природоохраным инвестициям изменялась от 0 до  $-0.2$ . Для расчетов за 1993–2009 гг. тоже пришлось вводить нейтральный экологический прогресс, который оказался близким к полученному за 1990–2009 г. У функции (1.6) при хороших статистических характеристиках получилось параметр  $p = -0.038$ ,  $\mu = 0.21$ ,  $\eta = 0.014$ . У функций (1.10)–(1.13) оказались близкие значения факторных эластичностей. Расчеты за 1999–2009 гг. привели к более высокой факторной эластичности по ВВП, более высокой по модулю, но не превышающей 0.1, эластичности по водоохраным инвестициям и очень высокому по модулю темпу нейтрального экологического прогресса, что может быть связано с мультиколлинеарностью и значимостью модернизации. Для функции (1.6) получили  $p = -0.051$ ,  $\mu = 0.5$ ,  $\eta = 0.063$ .

При выделении инвестиций по направлениям рассматривались двухфакторные функции без учета природоохраных инвестиций, в таком случае лишь для 2000-х годов были получены результаты, например для функции (3.20) за 2000–2008 гг. с кумулятивными инвестициями за 3 года при  $\eta=0$  получено  $\mu=0.05$  и  $\gamma=-0.23$ . Введение нейтрального экологического прогресса приводит к положительному значению параметра  $\gamma$ .

Трехфакторная функция с кумулятивными инвестициями за 3 года показала высокую значимость водоохраных инвестиций при близких значениях влияния инвестиций по направлениям, например для функции (3.20) получили  $\mu=0.1$ ,  $\gamma=-0.17$ ,  $\eta=0.17$ . В целом надо отметить, что в отличии от расчетов по функциям для выбросов в атмосферу в данном случае существенно выше влияние природоохранных инвестиций и меньше влияние инвестиций в новое строительство.

## ГЛАВА 5

### ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПО КАРЕЛИИ

#### 5.1. Развитие экономики Карелии и изменение экологической ситуации

*Развитие экономики РК.* Реформы 90-х годов в Карелии привели к усилению влияния на ее развитие региональных особенностей и в первую очередь географического положения. Слабость центральной власти в 1991–1992 гг. позволила региональным властям использовать выгоды статуса республики и получить значительные налоговые и инвестиционные льготы. Налоги, которые должны были идти в федеральный бюджет, оставались в РК в специальном инвестиционном фонде, которым распоряжалось правительство РК. Около трети собираемых в РК налогов инвестировалось в реализуемые на территории республики проекты.

Рыночные реформы дали возможность Карелии, занимающей выгодное географическое положение, использовать либерализацию внешнеэкономической деятельности для смягчения влияния экономического кризиса и компенсации потери российских потребителей. В результате в 1992–1994 гг. спад ВРП в РК был меньше, чем в РФ, примерно в 3 раза вырос экспорт. Но большая часть инвестиций в промышленность была вложена не в новые проекты, а в поддержку старых производств. Поэтому при ухудшении экономической ситуации в РФ и прекращении действия льгот в середине 90-х годов оказалось мало конкурентоспособных перерабатывающих производств (Дружинин, 2005).

В 1989 г. Карелия была «донором» и передавала Центру 6,8% финансовых ресурсов, а с 1992 г. она уже стала получать от России недостающие ресурсы, доля которых достигла 25% всех финансовых ресурсов региона.

Федеральные власти первоначально оказывали значительную финансовую поддержку республикам. По мере укрепления центральной власти значимость большинства республик для централь-

ных властей резко уменьшилась, и права областей и республик фактически сравнялись. Карелия слабо влияет на итоги выборов – в ней проживает всего 1/200 часть населения России. С 1995 г. закончилось действие налоговых льгот для республики и статус республики приносит значительно меньше дополнительных доходов.

Наибольший спад ВРП был в 1992 г., затем начался процесс адаптации предприятий. Либерализация внешнеэкономической деятельности дала возможность предприятиям использовать преимущества приграничного положения региона и при значительном сокращении внутреннего рынка быстро увеличить экспортные поставки.

ВРП Республики Карелия снижался в течение 1991–1998 гг. и в расчете на душу населения упал до 45% к уровню 1990 г., промышленное производство уменьшилось более чем в два раза. Надо отметить, что спад промышленного производства уже к 1995 г. превысил 40%, но если у перерабатывающих он составил почти 47%, то у добывающих – только 26%. Наиболее тяжелым был 1996 г., когда спад в промышленности превысил уровень 1992 г., а объем инвестиций снизился почти в два раза. Но уже в 1997 г. промышленное производство выросло. Востребованным за границей оказалось сырье и продукция экологически опасных и энергоемких перерабатывающих производств, в первую очередь по первичной переработке сырья. Наименьший спад оказался в металлургии, лесозаготовительной и ЦБП, а в электроэнергетике производство даже немного выросло. Поскольку собственные производители удовлетворяют лишь половину потребности в электроэнергии, то снижение потребности привело к уменьшению перетоков из соседних регионов.

Из перерабатывающих отраслей только ЦБП смогла увеличить экспорт продукции. В 3–5 раз уменьшилось производство в машиностроении, легкой и промышленности стройматериалов. Потерю внутреннего рынка эти отрасли не смогли компенсировать ростом экспорта. Низкое качество продукции привело к неконкурентоспособности и на внутреннем, и на внешнем рынке. Спад производства в пищевой промышленности был не так значителен, поскольку она ориентирована на местный рынок и многие виды продукции малотранспортабельны.

Постепенно стали проявляться негативные стороны географического положения региона – отдаленность от густонаселенных территорий (прежде всего юга и Поволжья) и северное расположение. К 1998 г. экспорт продукции вырос почти в 2 раза, и одновременно поставки на внутренний рынок упали в 3.2 раза. После девальвации возобновился рост экспорта, и в целом за 90-е годы он увеличился в 3.7 раза. Но продолжилось и снижение продаж на внутреннем рынке. В 2000 г. на внутренний рынок поставлялось в 4 раза меньше продукции, чем в конце 80-х годов (Дружинин, 2005).

К 1998 г. спад в обрабатывающих отраслях достиг почти 60%, в деревообрабатывающей промышленности объемы производства упали в 5 раз. В то же время в добывающих даже производство немного выросло относительно 1995 г., самый заметный рост был в черной металлургии. Экспорт необработанной древесины за три года вырос в три раза. В результате в добывающих отраслях падение производства за 1991–1998 гг. составило всего 25%. Инвестиционный спад остановился лишь в 1998 г., а в перерабатывающих отраслях – в 1999 г.

Наиболее значительное снижение производства за 1991–1998 гг. было в легкой промышленности – на 90.4% и промышленности строительных материалов – на 90.7%. В сложном положении оказались машиностроение (снижение производства на 79.4%), пищевая (снижение на 61.9%) и деревообрабатывающая промышленность (снижение на 79.7%). Совершенно иначе развивались добывающие и экологически опасные отрасли. Относительно стабильной была ситуация в электроэнергетике (падение на 4.7%) и цветной металлургии (падение на 5.7%). Несколько больше был спад в черной металлургии – на 23.6%, лесозаготовительной – на 36.3% и ЦБП – на 49.2%.

Даже небольшие лесозаготовительные предприятия были эффективны, но слабый менеджмент и воровство приводили к высокой себестоимости, убыткам бывших государственных предприятий. Предложения экспертов о создании региональных вертикально-интегрированных структур, объединяющих лесопереработчиков и лесозаготовителей и ориентированных на внешний рынок,

были проигнорированы властями. В результате большинство лесозаготовительных предприятий стали банкротами, а объем производства в деревообрабатывающей промышленности уменьшился примерно в 5 раз.

С 1998 г. постепенно происходило усиление государственного влияния на развитие экономики РК. Была разработана Концепция социально-экономического развития РК, определены приоритеты, приняты меры по привлечению российских инвестиций в регион, по налоговым льготам для предприятий, реализующих инвестиционные проекты, смене менеджеров предприятий, содействию в создании интегрированных структур, изменению законодательства для создания более привлекательного инвестиционного климата, организационной и информационной помощи предприятиям, подготовке специалистов для нужд республики.

Девальвация рубля в 1998 г. и активные действия властей республики привели к положительным изменениям в экономике региона, и производство промышленной продукции в 1999 г. выросло на 21,6%. Важнейшим фактором является приграничное положение региона – доля экспорта в объеме промышленного производства в 1999 г. достигла 2/3. Темпы прироста производства в ЛПК превысили российские в 2 раза, а в целом по промышленности – в 5 раз. С 1999 г. начался рост ВРП.

Практически во всех отраслях начался рост производства, причем в перерабатывающих отраслях за два года производство выросло почти на 40%, а в добывающих только на 11%. Видимо дальше наращивать экспорт сырья затруднительно. Быстрее всего развивалась деревообрабатывающая промышленность (202% за 1998–2000 гг.) и ПСМ. В добывающих отраслях выпуск продукции снижался в 2000–2001 гг.

В последние годы экономика республики успешно развивалась. Девальвация рубля способствовала бурному росту промышленности, затем других отраслей, но к 2003 г. рост прекратился во всех основных отраслях карельской экономики. Поэтому в Концепции развития Карелии на 2002–2006–2010 гг. в качестве приоритета была определена открытость республики для инвестиций, создание условий для привлечения в Карелию инвесторов, что способ-

ствовало ускорению роста экономики республики. В конце 2003 г. возобновился рост экономики (рис. 5.1). Высокие темпы роста экономики обеспечили промышленность и торговля, в 2005 и 2007 гг. успешно развивался транспорт, а в 2005–2007 гг. – строительство. В 2007 г. высокий рост продемонстрировала промышленность – 116.8%. С 2008 г. мировой финансовый кризис на несколько лет остановил развитие карельской экономики.

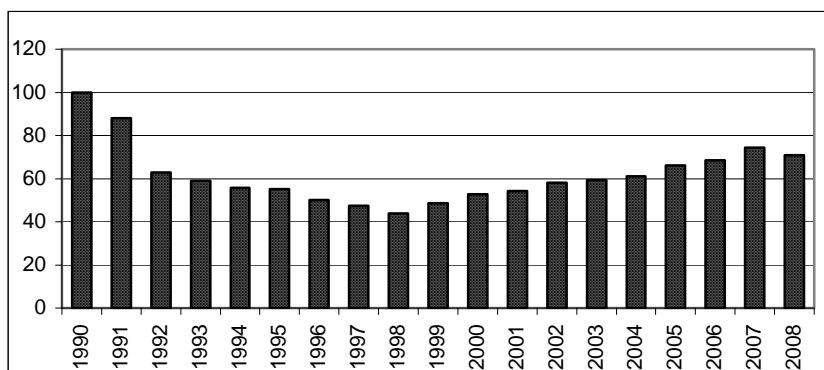


Рис. 5.1. Динамика ВРП Республики Карелия (1990 г. принят за 100%)

В структуре региональной экономики, определяемой валовым региональным продуктом (ВРП), снизилась доля промышленности, которая, тем не менее, остается ведущим сектором карельской экономики. Удельный вес обрабатывающих производств составлял в 2006 г. 19.2%, добычи полезных ископаемых – 12.8% и производства и распределения электроэнергии, газа и воды – 4.6%. Вторым по значимости сектором стали транспорт и связь, доля которых составила 16.9%, третьим – торговля, которая переживает значительные качественные преобразования – 13.2%. Отличительной особенностью Карелии является высокая доля в структуре промышленности добывающего сектора, высокая относительно соседних регионов доля услуг в ВРП и развитый сектор информационных технологий.

Рост цен на экспортируемую продукцию, вложение средств в модернизацию карельской экономики привели к росту прибыли в



2004–2007 гг., она увеличилась и достигла 9.8 млрд. руб. в 2007 г., основную часть обеспечила добыча полезных ископаемых. Рост прибыли привел к значительному увеличению доходов карельского бюджета.

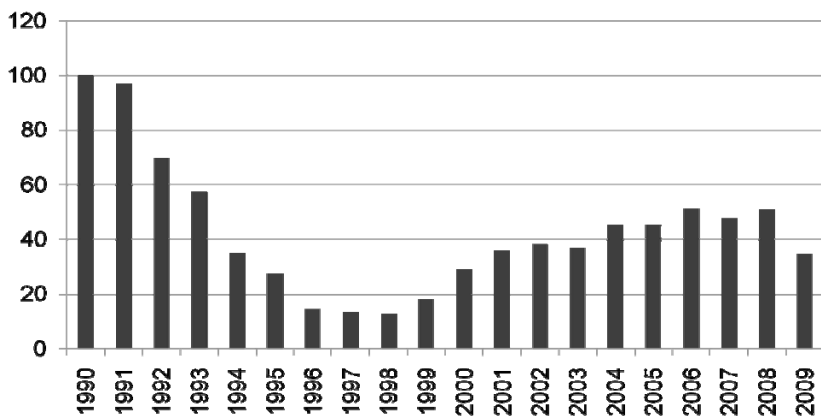


Рис. 5.2. Инвестиции в экономику РК, (1990 г. принят за 100%)

Темпы роста экономики зависят от объема инвестиций, их динамика была нестабильна, но в целом за последние восемь лет они существенно выросли (рис. 5.2). Увеличилась доля инвестиций в промышленность, прежде всего в ЦБП, и появились новые мощности по выпуску целлюлозы и бумаги, что способствовало росту объемов производства в промышленности. Были сданы также новые карьеры по добыче щебня, что способствовало росту в этой отрасли. Развивались мощности по обработке древесины, строительству судов, модернизировались предприятия пищевой промышленности, началось освоение нового карьера для добычи железной руды для ОАО «Карельский окатыш». В несколько раз выросла доля инвестиций в торговлю, стали возникать крупные торговые центры, выросла эффективность отрасли и культура обслуживания.

Уже в начале 90-х годов предприятия республики активизировали внешнеэкономическую деятельность, затем рост экспорта несколько приостановился. Но, начиная с 2003 г. экспорт из респуб-

лики стал быстро расти, и в 2005 г. превысил миллиард долларов (рис. 5.3).

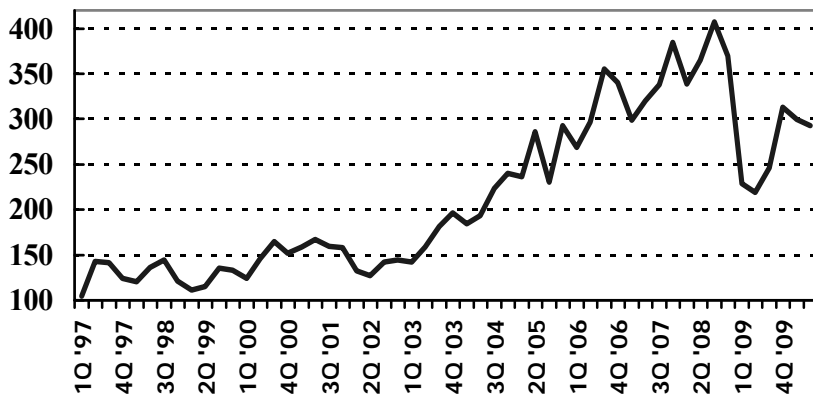


Рис. 5.3. Экспорт товаров из РК по кварталам за последние 12 лет, млн.долл.

Постоянно увеличивался экспорт основных для республики товаров – продукции ЛПК, а также черных металлов и электрооборудования. В структуре экспорта в 2007 г. примерно 60% составляла доля ЛПК, металлы и изделия из них – 24%, и в отличие от предыдущих лет была высокая доля экспорта машиностроительной продукции – почти 10%. Ежегодно увеличивался экспорт электрооборудования фирмой «АЕК» из Костомукши.

В этот период произошел значительный рост иностранных инвестиций, которые часто связаны с новыми технологиями и уменьшением вредного воздействия на окружающую среду. В Карелии возникли крупные деревообрабатывающие предприятия, использующие современные технологии. Привлечение «Северсталью» иностранных инвестиций для освоения нового месторождения привело к их увеличению до 288 млн. долл. в 2006 г. (рис. 5.4)

Большинство отраслей промышленности в начале XXI века успешно развивались, стали выпускаться и новые для РК виды продукции – взрывчатые эмульсионные вещества, морские сухогрузы, ДСП, электропакеты для автомобилей, отдельные виды картона и пищевой продукции.

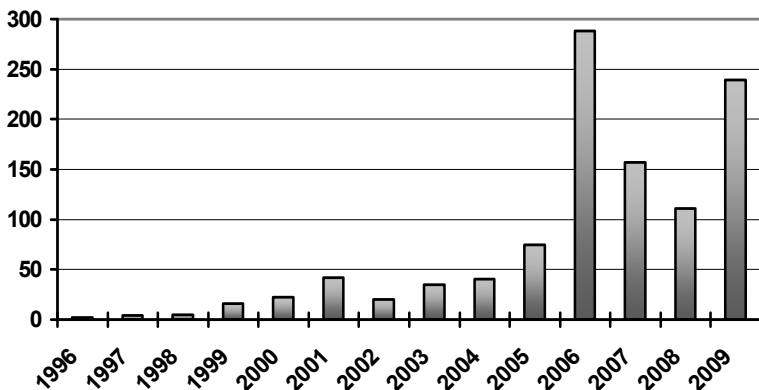


Рис. 5.4. Иностраннные инвестиции в экономику РК, млн. долл. США

На ОАО «Карельский окатыш» (входит в «Северсталь») началась модернизация производства, осваивается новое месторождение, выросли объемы производства, достигнув максимальной за все годы существования предприятия величины. Благодаря росту цен на железную руду и осуществляемым инвестиционным проектам с 2000 по 2007 г. доля горнодобывающих производств выросла в 2 раза. ОАО «Карельский окатыш» с марта 2007 г. стало добывать руду на новом месторождении – Корпангском, что позволило увеличить выпуск окатышей на 6.4%.

Особенно быстро развивалось производство щебня, создавались предприятия, использующие современные технологии, и только за 2007 г. производство щебня выросло на 41%. Значительный рост продемонстрировала и добыча блочного камня – 122% к уровню 2006 г. В 2008 г. работало 25 карьеров и начиналось освоение новых карьеров по добыче щебня.

Производство пищевых продуктов в начале 2000-х годов снижалось, лишь в последние годы росло, карельским предприятиям сложно конкурировать с расположенными в более южных регионах. В то же время такие предприятия, как «Ярмарка» активно работали на российском рынке, поставляя за пределы Карелии около 80% своей продукции. Устойчиво работали ОАО «Петрозаводский молочный комбинат «Славмо», ОАО «Карельский мяскокомбинат», ООО «Аалто» и некоторые другие.

Одним из наиболее успешных секторов стало производство форе́ли. Карельские предприятия стали ее важнейшими поставщиками на российский рынок. Постепенно от выращивания форе́ли предприятия переходили к ее переработке, выпуская различные виды продукции. В РК действует около 50 форе́левых хозяйств, проектная мощность 84 зарегистрированных хозяйств – 38 тыс.т.

Обработка древесины и производство изделий из дерева устойчиво росли и лишь в 2007 г. рост остановился. Появились новые современные предприятия. Фирма «Сведвуд» (дочерняя фирма концерна «ИКЕА») начала в Костомукше в 2005 г. строительство предприятия по выпуску компонентов мебели. В 2006 г. был открыт лесопильный завод, в 2007 г. – фабрика по производству мебельного щита. Концерн «Стора Энсо» вложил 11 млн. евро в создание ООО «Сетлес» (Импилаhti), выпускающего из тонкомерной древесины 100 тыс. м<sup>3</sup> пиломатериалов, которые вместе с опилками и щепой отправляли в Финляндию.

Производящая в Лахденпохье фанеру фирма «Бумэкс» осуществляла модернизацию, в 2005 г. для шведской фирмы ИКЕА было выпущено 100 тыс. комплектов корпусной мебели и 85 тыс. гнуклеенных изделий, в 2008 г. запущена самая быстрая в мире линия по производству шпона. ОАО «Карелия ДСП» уже в 2003 г. превысило проектную мощность и начало поставки на экспорт.

В целлюлозно-бумажном производстве рост был непрерывным до начала кризиса. Особенно значительно увеличение было в 2004–2005 гг., из-за пуска новой бумагоделательной машины в Кондопоге в 2003 г. (выпуск газетной бумаги возрос только в 2004 г. на 20.8%). В 2007 г. наиболее значительно выросло производство бумажных мешков – на 15.9%, рост других производств был небольшим (бумаги – на 0.4%, целлюлозы – на 4.9%), а производство картона упало на 2%. В то же время в модернизацию производства были вложены значительные средства, только ОАО «Кондопога» инвестировало 1.6 млрд.руб., что составляет почти 9% всех инвестиций в экономику республики, строится новая ТЭЦ на три котла. На ОАО «Сегежский ЦБК» (входит в ЗАО «Инвестлеспром») также осуществлялась модернизация производства – начала действовать немецкая линия по производству мешков, был

установлен «котел с кипящим слоем», начат выпуск цветных мешков и была установлена флексографическая машина, завершены модернизация бумагоделательной машины №10, потока непрерывной варки, сортирования и промывки целлюлозы. ОАО «Целлюлозный завод «Пикиранта» проводило реконструкцию оборудования, в ходе которой внедрялись энергосберегающие технологии, установлено финское оборудование, уменьшалась нагрузка на окружающую среду, что дало экономию энергии, сырья и химикатов.

Металлургические предприятия республики вошли в крупные российские структуры – «МЕЧЕЛ» и «РУСАЛ». Продолжается модернизация предприятий, более активная в Вяртсилья, где производство метизов выросло в 2007 г. на 32%, и в Надвоицах производство алюминия увеличилось на 1%. Вяртсильский метизный завод повысил качество продукции и стал экспортировать ее в Англию, Эстонию, Литву и Финляндию. Надвоицкий завод практически всю продукцию экспортирует, внедрена система менеджмента качества и получен сертификат ISO 9001:2000.

Производство машин и оборудования непрерывно возросло на протяжении последних пяти лет. Значительную роль в этом стали играть новые предприятия. Онежский судостроительный завод с 2003 г. работал на базе существовавшей ранее РЭБ флота и выпускал два судна класса «река-море» в год. Начата новая морская серия сухогрузов, первое судно было спущено в июне 2008 г. Развивалась фирма ООО «Кархакос» и ее дочернее предприятие ООО «АЕК» в Костомукше. Фирма выпускает автомобильные жгуты и автомобильную электронику. ООО «Харви Форестер» несколько лет ремонтировало скандинавскую технику для лесозаготовок, а с 2007 г. стало собирать лесозаготовительные комплексы.

ЗАО «Петрозаводскмаш» экспортирует свою продукцию, получен сертификат системы менеджмента качества ISO 9001:2000. В 2006 г. была сдана котельная в Вяртсилья, для Минатома РФ реализуется проект создания двухцелевых контейнеров для хранения и перевозки облученного ядерного топлива.

В последнее десятилетие ОАО «ОТЗ» освоило выпуск тракторов ТЛТ-100-06, ТЛТ-4-01, ТЛК-604, «Онежец-300» и других. Завод постепенно перемещается на вторую площадку, где создано ООО «ОТЗ».

Появляются и развиваются наукоемкие фирмы. Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР» производит роботы и лафетные стволы с дистанционным управлением, их пожарными роботами оснащаются нефтяные платформы, пожарные суда, терминалы, аэропорты и нефтебазы. Фирма «Прорыв» проектирует и производит измерительные приборы, прибор для оценки качества электричества был признан лучшим отечественным измерительным прибором.

Производство и распределение электроэнергии, газа и воды развивается неустойчиво, поскольку основная отрасль – электроэнергетика зависит в основном от водности рек и озер. Доля собственного производства электроэнергии в структуре потребления в РК выросла с 49% в 2006 г. до 55.9% в 2007 г., что создает проблемы для развития экономики республики.

Все более значимым для республики становится успешно развивающееся химическое производство. В 2007 г. оно выросло почти на четверть, и его доля в структуре промышленного производства достигла 1.6%.

Для Карелии важно устойчивое развитие лесного хозяйства и лесозаготовительной промышленности. Положительным явлением было формирование интегрированных структур, объединяющих лесозаготовительные и лесоперерабатывающие предприятия. После снижения объемов лесозаготовок в предыдущие два года в 2007 г. начался их рост. Вывозка древесины увеличилась на 5.7% относительно 2006 г. Продолжается техническое перевооружение – доля использования сортиментной технологии достигла 71%.

В сельском хозяйстве пока не удалось преодолеть тенденции снижения производства, но в то же время продолжился рост эффективности животноводства, увеличение урожайности. Основными производителями оставались хозяйства населения, доля фермерских хозяйств в сельхозпроизводстве невелика, хотя в последние годы она растет. Отдельные предприятия успешно развивались, происходила модернизация производства.

После периода очень быстрого роста в 2000–2001 гг. в строительстве начался спад, но в 2005–2007 гг. объем подрядных работ снова значительно вырос. Реализовывалось несколько крупных

проектов. Строительство переходило на европейские стандарты, вводились жесткие требования к качеству, особенно к гидроизоляционным и отделочным работам. Крупные фирмы были высоко rentабельны, покупали импортную технику, осваивали новые технологии. Росту жилищного строительства способствовал ввод предприятий стройиндустрии и рост объемов ипотечного жилищного кредитования по республиканской программе.

Начавшийся в конце 90-х годов рост грузооборота транспорта продолжился. Наибольшие объемы перевозок грузов приходятся на железнодорожный транспорт. Отправка основных грузов (руда железная, строительные и лесные грузы) железнодорожным транспортом была стабильна и даже несколько выросла. На развитие железнодорожного транспорта затрачен значительный объем инвестиций, в 2006 г. завершена электрификация участка Идель-Свирь, проведена реконструкция нескольких станций. Газопровод от Петрозаводска до Кондопоги строился с ноября 1999 г. и был сдан в конце 2004 г.

Наиболее значительные изменения происходили в связи, сокращались традиционные виды деятельности, и бурно развивались мобильная связь и Интернет. Количество абонентов трех операторов сотовой связи превысило количество жителей в республике.

Торговля успешно развивалась, устойчиво рос товарооборот. С увеличением реальных зарплат и пенсий повысились темпы роста розничного товарооборота до 120% в 2002 г., затем они несколько снизились, но в среднем в год оборот розничной торговли увеличивался на 10%. Для оценки последствий нынешнего кризиса надо отметить, что последствия кризиса 1998 г. были ликвидированы лишь через четыре года – розничный квартальный товарооборот только в 2002 г. превысил докризисный уровень II квартала 1998 г.

**Экологическая ситуация** региона определяется его природными условиями и степенью антропогенной нагрузки от использования природных ресурсов и загрязнения отходами хозяйственной деятельности. Под антропогенным воздействием понимают деятельность человека, которая изменяет окружающую среду и влияет на климат, ассимиляционный потенциал биосферы, состояние здоровья населения и т.д. Соответственно, антропогенная нагрузка – это

степень прямого или косвенного воздействия на природную среду и, по расчетам специалистов, она удваивается каждые 10–15 лет. Антропогенные загрязнения можно классифицировать по нескольким признакам. Так, по объекту загрязнения выделяют загрязнение атмосферы, вод, почвы, ландшафта. По продолжительности и масштабу распространения различают загрязнение временное и постоянное; локальное, региональное, трансграничное и глобальное. Наибольший интерес представляет классификация загрязнений по источникам и видам загрязнителей. Это может быть физическое, химическое, биологическое, биотическое и механическое загрязнение.

Рассматривая влияние экономики на окружающую среду в Республике Карелия, можно отметить, что оно определяется значительными объемами выбросов в атмосферный воздух, водопотребления для промышленных целей, сброса сточных вод и образования отходов (табл. 5.1). Состояние окружающей природной среды в целом по республике характеризуется слабой напряженностью. Однако в районах, где работают предприятия целлюлозно-бумажной промышленности и металлургии, складывается более напряженная экологическая обстановка, поскольку влияние крупных предприятий на состояние водоемов, атмосферного воздуха, загрязнение земель наиболее значительно. В первую очередь, это характерно для промышленных центров – гг. Петрозаводск, Сегежа, Костомукша, Кондопога, Питкяранта, пгт. Надвоицы.

Сопоставление основных показателей воздействия экономики на окружающую среду в России, Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) и Карелии в 2002–2009 гг. позволяет определить роль республики в общем объеме загрязнений (табл. 5.2). Так, доля Карелии в общих выбросах загрязняющих веществ в атмосферу в России сократилась с 0,71% в 2002 г. до 0,61% в 2008 г., а в выбросах СЗФО – с 6,1 до 5,5%. Сброс сточных вод в республике стабилизировался на уровне 240–242 млн м<sup>3</sup>/год, их доля в сбросах России также не изменилась, а в сбросах СЗФО незначительно сократилась (с 2,12 до 1,87%). По объему образования отходов наблюдается похожая тенденция: доля Карелии в России снизилась с 3,35 до 2,47%, в СЗФО – с 25,1 до 24,6%.



Таблица 5.1

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

Показатели	1990	1995	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	301	191	148	150	19	138	132	136	12	126		122,3	105,8
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	100	63,5	49,2	49,8	45,8	45,8	43,9	45,2	42,9	41,9	40,5	40,6	35,2
в т.ч.: твердых	87	34	27,6	33,4	30,3	27,6	27,5	29,9	27,7	26,5	27,7	28,2	...
газообразных	214	157	120,2	116,7	111,2	107,8	105,3	106,7	101,5	100,1	94,2	94,0	
	356,0	241,2	200,0	212,5	225,7	220,6	229	233	241	243	238	230	221
	100	67,8	56,2	59,7	63,4	62,0	64,3	65,4	67,7	68,8	66,9	64,6	62,1
		226,9	191,0	198,8	218,3	214,4	222,0	225,5	236,6	235,6	226,3	220,7	213,5
	100	67,5	56,8	59,1	64,9	63,7	66,0	67,0	70,3	70,0	67,3	65,6	63,5
в т.ч.: на производств. нужды	237,0	144,2	117,0	128,0	153,4	137,6	149,6	155,1	164,7	155,0	135,0	130,0	127,5
на хозяйств. нужды	77,7	70,3	66,3	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 <sup>3</sup>	273,3	234,3	210,0	215,0	226,0	220,4	224,4	242,4	240	243	241	233	223,6
<i>Индекс к 1990 г., %</i>	100	85,7	76,8	78,7	82,7	80,6	82,1	88,7	87,8	88,6	88,2	85,3	81,8
в т.ч.: без очистки		40,4	21,0	20,0	20,7	21,8	20,1	21,2	16,7	13,1	12,4	11,5	9,4
недостаточно очищенных		182,2	180,0	185,0	180,2	176,5	174,2	187,9	188,7	194,0	191,6	185,5	180,3
нормативно чистых		11,7	9,0	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>						100	98,0	102,3	148,4	148,8	155,6	139,8	106,3
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.

Таблица 5.2

Воздействие экономики на природную среду в Республике Карелия,  
СЗФО и Российской Федерации

Показатели	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, тыс. т</i>							
Россия	19 481,2	19 829,4	20 491,3	20 425,3	20 580,1	20 636,9	20 103,3
СЗФО	2 223,4	2 168,7	2 247,7	2 254,4	2 301,9	2 319,0	2 226,2
Карелия	135,38	132,85	136,56	129,18	126,59	121,88	122,26
Доля РК в РФ, %	0,71	0,66	0,67	0,63	0,60	0,58	0,61
СЗФО, %	6,1	6,1	6,1	5,7	5,4	5,2	5,5
<i>Использовано свежей воды, всего, млн. м<sup>3</sup></i>							
Россия	64 863,9	64 090,6	61 536,8	61 334,9	62 153,0	62 505,6	62 921
СЗФО	н.д.	н.д.	н.д.	11 366,0	11 641,2	11 774,4	12 338
Карелия	214,42	222,01	225,45	236,59	235,61	226,28	221
Доля РК в РФ, %	0,33	0,35	0,37	0,39	0,38	0,36	0,35
СЗФО, %	–	–	–	2,08	2,02	1,92	1,79
<i>Сброшено сточных вод, млн. м<sup>3</sup></i>							
Россия	54 712,1	52 306,8	51 329,5	50 894,6	51 387,4	51 421,7	52 078
СЗФО	н.д.	н.д.	11 439,6	11 456,1	11 648,0	11 865,3	12 477
Карелия	220,4	224,37	242,37	241,15	243,02	240,46	233,09
Доля РК в: РФ, %	0,40	0,43	0,47	0,48	0,47	0,47	0,45
СЗФО, %	–	–	2,12	2,10	2,09	2,03	1,87
<i>Образовано отходов производства и потребления, млн. т</i>							
Россия	2 034,9	2 613,5	2 634,9	н.д.	3 519,4	3 899,3	3 876,9
СЗФО	271,5	н.д.	246,0	н.д.	332,12	402,4	388,2
Карелия	68,15	67,03	70,03	101,52	101,73	106,38	95,6
Доля РК в: РФ, %	3,35	2,56	2,66	н.д.	2,89	2,73	2,47
СЗФО, %	25,10	–	28,47	–	30,63	26,44	24,63
<i>Из них использовано и обезврежено, млн. т</i>							
Россия	59,7	51,4	43,3	н.д.	39,6	57,9	50,6
СЗФО	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	22,5	н.д.	20,1
Карелия	3,93	4,34	4,24	13,40	10,16	6,70	4,82
Доля РК в: РФ, %	6,58	8,44	9,70	–	25,66	11,57	9,53
СЗФО, %	–	–	–	–	45,16	–	24,0

Удельные показатели загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов Карелии, приходящиеся на один км<sup>2</sup> территории и одного жителя, не превышают их средних значений по России и СЗФО (табл. 5.3). Но аналогичные удельные показатели образования твердых отходов в Карелии (528,8 т/км<sup>2</sup> и 138,4 т/чел.) значи-

тельно выше среднероссийского уровня и СЗФО. Республика занимает второе место в СЗФО (после Мурманской области) по объему образования твердых отходов (преимущественно вскрышных пород ОАО «Карельский окатыш»).

Таблица 5.3

Удельные показатели загрязнения окружающей среды в 2008 г.

	Площадь территории, тыс. км <sup>2</sup>	Численность населения, тыс. чел.	Выброшено вредных веществ в атмосферу			Сброшено сточных вод в пов. водные объекты			Образовано отходов		
			всего, тыс. т	т/км <sup>2</sup>	кг/чел	всего, млн. м <sup>3</sup>	тыс. м <sup>3</sup> /км <sup>2</sup>	м <sup>3</sup> /чел		т/км <sup>2</sup>	т/чел
Россия	17098,2	142000	20103,3	1,18	141,6	52078,2	3,05	366,8	3876,9	226,7	27,3
СЗФО	1687,0	13500	2226,2	1,32	164,9	12427,2	7,37	920,5	388,2	230,1	28,8
Карелия	180,8	691	122,26	0,68	176,9	233,09	1,29	337,3	95,6	528,8	138,4

Согласно экологическому рейтингу регионов России, составленному независимым экологическим рейтинговым агентством (НЭРА), Карелия занимает 37 место по интегральному показателю уровня воздействий на природу и активности охраны окружающей среды. В том числе по отдельным индикаторам воздействия на природу и активности охраны окружающей среды: по загрязнению воздуха – 55 место, загрязнению водоемов – 26, образованию отходов – 63, трансформации экосистем – 14, обеднению фауны – 23, снижению/росту загрязнения атмосферы после 2000 г. – 18, снижению/росту воздействий на водоемы после 2000 г. – 79, экологической прозрачности бизнеса – 28, охране экосистем – 60 (Социально-экологическая..., 2005).

Для определения нагрузки на окружающую среду представляет интерес метод ранжирования территорий на базе совокупности критериев, разносторонне характеризующих эколого-экономическую ситуацию. Исходные данные для ранжирования районов Карелии по основным показателям загрязнения окружающей среды приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4

Исходные данные для ранжирования районов Карелии по основным показателям загрязнения окружающей среды

№ п/п	Наименование районов	Наименование показателей					Итоговые баллы
		Выбросы вредных веществ, т/год	Сброс сточных вод, млн. м <sup>3</sup> /год	Удельные выбросы		Удельные сбросы тыс. м <sup>3</sup> /чел.	
				т/км <sup>2</sup>	т/чел.		
1	г.Петрозаводск	4465	46,49	39,5	0,017	0,173	<b>5</b>
2	г. Костомукша	49198	25,44	12,2	1,616	0,836	<b>1</b>
3	Беломорский	1895	5,71	0,1	0,087	0,263	<b>10</b>
4	Калевальский	340	0,24	0,0	0,035	0,025	<b>16</b>
5	Кемский	1396	6,36	0,2	0,073	0,332	<b>11</b>
6	Кондопожский	16561	81,35	2,8	0,388	1,907	<b>2</b>
7	Лахденпохский	2026	0,75	0,9	0,130	0,048	<b>7</b>
8	Лоухский	272	0,94	0,0	0,015	0,054	<b>18</b>
9	Медвежье-горский	2297	0,92	0,2	0,065	0,026	<b>14</b>
10	Муезерский	289	0,11	0,0	0,019	0,007	<b>17</b>
11	Олонецкий	1502	0,48	0,4	0,059	0,019	<b>15</b>
12	Питкярантский	5838	20,55	2,6	0,262	0,922	<b>4</b>
13	Прионежский	1787	0,71	0,4	0,077	0,031	<b>11</b>
14	Пряжинский	1831	0,46	0,3	0,107	0,027	<b>12</b>
15	Пудожский	2412	0,76	0,2	0,096	0,030	<b>8</b>
16	Сегежский	23085	44,5	2,2	0,491	0,947	<b>3</b>
17	Сортавальский	2916	3	1,3	0,087	0,090	<b>6</b>
18	Суоярвский	1894	2,22	0,1	0,088	0,103	<b>11</b>

При ранжировании по набору показателей применяются специальные методы одновременного учета всех рассматриваемых критериев. Сначала формируются таблицы парных сравнений районов по каждому показателю, далее полученные таблицы суммируются и образуется суммарная таблица парных сравнений по всем пяти показателям. Затем вычисляется пороговая величина как половина количества рассматриваемых показателей:  $\pi = 5/2 = 2,5$ . Результативная таблица парных сравнений по набору показателей строится, исходя из условия: если соответствующее число в суммарной таблице выше  $\pi$ , то в результативной таблице оно приравнивается к 1, если ниже  $\pi$ , то к 0. Итоговое количество баллов по ранжированию районов республики по набору показателей негативного воздей-

вия на окружающую среду приведено в последнем столбце таблицы 5.4. Из полученных результатов следует, что лучшими в экологическом отношении являются районы, набравшие максимальное количество баллов, – Лоухский (18 баллов), Муезерский (17), Калевальский (16), Олонецкий (15) и Медвежьегорский (14). Наихудшими районами следует признать г. Костомукшу (всего 1 балл), Кондопожский (2), Сегежский (3). Питкярантский (4) и г. Петрозаводск (5).

Для определения влияния экономики на окружающую среду часто используют метод анализа временных рядов. Анализ динамических рядов позволяет выявить ряд закономерностей и тенденций, которые проявляются в исследуемом периоде. На первом этапе с помощью рядов динамики можно получить такие данные, как интенсивность изменения исследуемых показателей (рост, уменьшение, стабильность); средний уровень показателя и среднюю интенсивность изменений; тенденции изменения показателей. Затем делается попытка объяснить его поведение с помощью других переменных и выяснить степень связи как между наблюдениями одного ряда, так и между разными рядами. Полученные данные дают возможность при необходимости прогнозировать характер изменения показателя в будущем, учитывая причинно-следственные связи.

Так, сопоставление динамики произведенного ВРП республики за 1998–2008 гг. в ценах 1998 г. с индексами потребленного хозяйством республики природных ресурсов (воды) и электроэнергии выявило положительные тенденции экономического роста за этот период (рис. 5.5). В результате удельный расход электроэнергии на 1 руб. ВРП снизился с 0,606 до 0,506 кВт-ч, или на 16,5%. Забор воды хозяйством республики в 2008 г. по сравнению с 1998 г. повысился на 14,3%, но удельный расход воды на 1 руб. ВРП снизился с 17,9 до 12,7 л/руб., или на 29,3%.

Сопоставление динамики изменения экономических показателей (ВРП, инвестиции в экономику) с основными показателями загрязнения окружающей среды позволяет выделить два периода (табл. 5.5, рис. 5.6). Снижение ВРП и инвестиций в 1990–1998 гг. сопровождалось уменьшением показателей загрязнения. Причем падение экономических показателей происходило более высокими

темпами. Так, спад ВРП за этот период составил 56,1%, в то время как выбросы в атмосферу и сброс сточных вод снизились соответственно на 50,8 и 23,2%. Начавшийся с 1999 г. рост ВРП не вызвал адекватного увеличения показателей загрязнения.

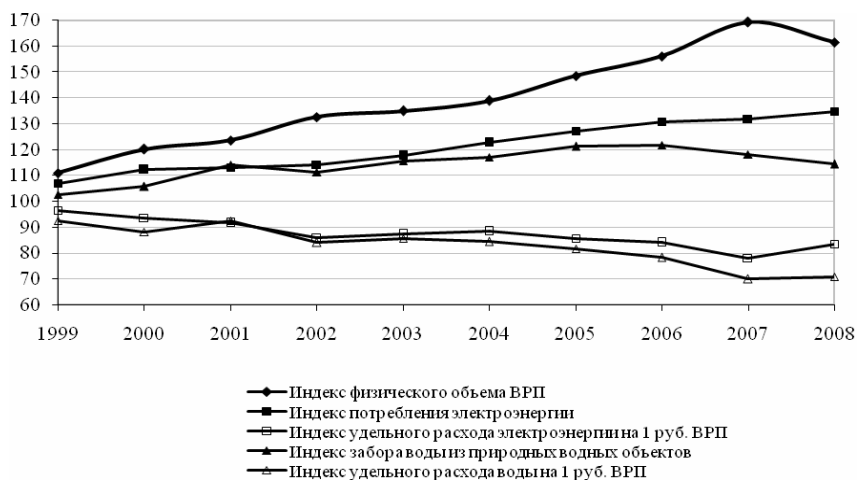


Рис. 5.5. Сравнительная динамика ВРП и потребления ресурсов в Республике Карелия в 1998–2008 гг., % к 1998 г.

На втором этапе (1998–2008 гг.) при сопоставлении динамики ВРП и индексов воздействия хозяйства республики на природную среду также наблюдаются позитивные тенденции (табл. 5.5, рис. 5.6). При увеличении ВРП на 61,5% сброс сточных вод возрос лишь на 10,5%, в результате чего удельный сброс сточных вод (на 1 руб. ВРП) уменьшился с 18,8 до 12,8 л/руб., или на 31,7%. Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу на 17,3% также позволило значительно уменьшить удельные выбросы (на 48,6%).

Данное явление можно объяснить либо структурными изменениями в экономике, либо модернизацией наиболее воздействующих на окружающую среду предприятий, улучшением охраны окружающей среды – ростом текущих расходов и природоохранных инвестиций.

Таблица 5.5

Сравнительная динамика индексов основных экономических показателей и удельных показателей воздействия экономики Карелии на природную среду в 1990–2008 гг., % к 1990 г.

Показатели	1990	1995	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ВРП	100	55,2	43,9	52,7	54,2	58,2	59,2	61,0	65,2	68,5	74,4	70,9
Инвестиции в основной капитал	100	27,2	12,8	28,9	35,8	38,1	36,7	45,1	45,4	51,2	47,6	50,8
В т.ч.: Инвестиции на новое строительство	100	29,7	13,8	47,2	84,1	79,0	62,8	63,8	97,2			
Инвестиции на модернизацию и реконструкцию	100	27,7	12,8	23,5	21,4	27,7	34,6	49,3	28,8			
Инвестиции в охрану окружающей среды	100	51,0	24,5	70,6	32,7	30,8	61,6	50,1	42,2	62,9	73,8	162,3
Удельный расход воды на 1 руб. ВРП, % к 1998 г.	–	–	100	88,0	92,4	83,9	85,7	84,3	81,6	78,2	69,8	70,7
Удельный сброс сточных вод на 1руб. ВРП, % к 1998 г.	–	–	100	84,8	86,8	78,7	78,9	82,8	77,0	73,4	67,0	68,3
Удельный выброс вредных веществ в атмосферу на 1 млн. руб. ВРП, % к 1998 г.	–	–	100	84,6	77,5	69,0	66,6	66,5	58,9	55,0	48,9	51,4
Объем отходов, приходящихся на 1 руб. ВРП, % к 2002 г.	–	–	–	–	–	100	96,4	97,8	132,6	126,1	121,7	115,2

Сопоставление динамики ВРП и образования отходов производства и потребления за 1998–2008 гг. не представляется возможным из-за учета отходов в этом периоде в разных единицах измерения ( $\text{м}^3$ , т) и отсутствия их классификации. Анализ выполнен

лишь начиная с 2002 г. – после принятия классификации отходов по 5 классам опасности. Расчеты свидетельствуют о негативной тенденции увеличения объема образования отходов за период 2002–2007 гг. на 55,6%, в 2008–2009 гг. наметилась некоторая тенденция к снижению этого показателя в основном из-за уменьшения объемов производства горных предприятий. Удельные показатели остаются значительно выше уровня 2002 г. Так, объем отходов, приходящихся на 1 руб. ВРП, увеличился с 4,6 кг в 2002 г. до 5,3 кг в 2008 г.

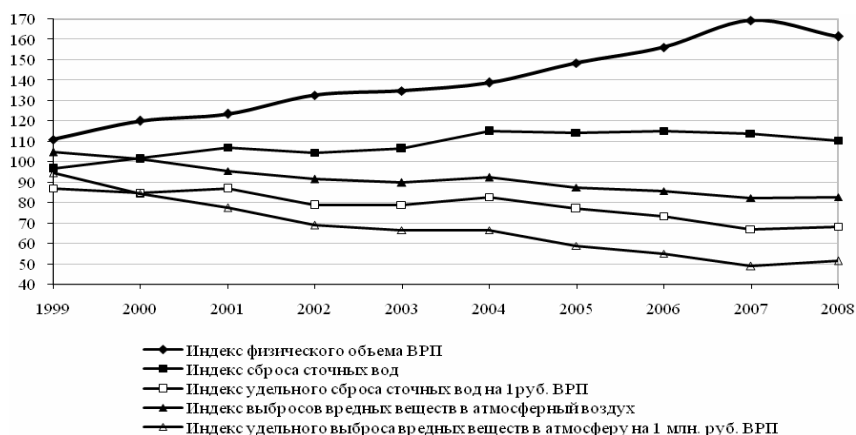


Рис. 5.6. Сравнительная динамика ВРП и воздействия народного хозяйства Карелии на природную среду в 1998–2008 гг., % к 1998 г.

Таким образом, снижение негативного воздействия на окружающую среду в период 1990–1998 гг. произошло главным образом в результате спада производства, а в период 1998–2008 гг. – в результате выполнения ряда технологических и природоохранных мероприятий на основных предприятиях-загрязнителях. В разрезе видов экономической деятельности основной вклад в загрязнение атмосферы вносят добыча полезных ископаемых (39,6% от объема валовых выбросов по республике); целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность (28,1%); производство и распределение электроэнергии, газа и воды



(13,1%) и металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (6,9%).

Крупнейшими источниками загрязнения водных объектов в республике являются предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (49,4% общего объема сточных вод), химическое производство (27,2%), обработка древесины (14,6%) и добыча полезных ископаемых (7,7%). Структура сброса сточных вод в разрезе видов экономической деятельности в целом повторяет структуру забора и использования воды. Наиболее крупные объемы отходов образуют предприятия по добыче железных руд (97,3%), добыче прочих полезных ископаемых (1,2%), целлюлозно-бумажное производство (0,8%) (Государственный..., 2009). К наиболее крупным загрязнителям окружающей среды промышленными отходами относятся ОАО «Карельский окатыш», ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ОАО «ЦЗ «Питкяранта», ОАО «ЛФК Бумэкс», филиал СУАЛ ОАО «НАЗ-СУАЛ». Основные источники загрязнения водных объектов – ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ОАО «ЦЗ Питкяранта». Основные источники загрязнения атмосферного воздуха – ОАО «Карельский окатыш», ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», филиал СУАЛ «НАЗ-СУАЛ», ОАО «ЦЗ Питкяранта».

Современный этап экономического развития во многом формируется под влиянием экологического фактора и требует от предприятий больших усилий и затрат для снижения негативного влияния на окружающую среду. Так, предприятия металлургии стали уменьшать воздействие на окружающую среду. На ОАО «Карельский окатыш» выбросы сернистого ангидрида к уровню 1990 г. сократились в два раза, модернизация обжиговых машин позволила сократить выбросы азота и серы. Начавшаяся на филиале СУАЛ ОАО «НАЗ-СУАЛ» в 1994 г. модернизация позволила сократить суммарные выбросы вредных веществ с 9,6 до 7,2 тыс. тонн в 2000 г., особо загрязняющих веществ с 3,3 до 2,6 тыс. тонн, а содержание фтора в воде стало в пределах нормы. Ведется работа по внедрению интегрированной системы экологического менеджмента и менеджмента профессионального здоровья и безопасности в соответствии с ISO 14001.

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. ведется модернизация биологических очистных сооружений. Модернизация на 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 (Белое..., 2007).

Выполненный предварительный анализ шести карельских предприятий, основных загрязнителей окружающей среды в республике, позволяет отследить существующие тенденции развития экологической модернизации в регионе и определить значимость факторов, способствующих экологической модернизации (табл. 5.6) (Шкиперова, 2010).

Приведенные данные позволяют предположить, что экологическая модернизация на всех предприятиях проходит, в основном, по экономическому сценарию и является следствием общего технического перевооружения. Даже простая реконструкция котлоагрегатов с переводом на газовое топливо, кроме экономического эффекта, автоматически приводит к снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, т.е. обуславливает заметный экологический эффект.

Особую роль практически для всех предприятий играет фактор внешнего воздействия, связанный с открытием границ, расширением международной торговли, влиянием научных и общественных экологических организаций (НПО). Роль последних достаточно ярко проявилась в экологической модернизации ЦБК, которые проходили сертификацию своих арендных площадей по системе FSC. Так, привлечение НПО «СПОК» Сегежским ЦБК в качестве партнера при подготовке к сертификации по международным стандартам отнюдь не случайно. Эта организация в 90-е гг. активно помогала Гринпис РФ организовывать бойкоты в защиту коренных лесов республики (Тысячнюк, 2008).

Таблица 5.6

Факторы экологической модернизации на предприятиях –  
основных загрязнителях окружающей среды в Республике Карелия

Краткая характеристика предприятия	Этапы и элементы модернизации (гг.)	Факторы, влияющие на ЭМ
<p><b>ОАО «Кондопога»</b> – градообразующее предприятие (более 7 тыс. чел.) <i>Продукция:</i> газетная бумага. <i>Рынки сбыта:</i> Россия (20%), Европа, США. <i>Собственники:</i> Мингоссобственности РК (10%), ООО «Авангард» (7,5%), ООО «Конрад-Якобсон ГмБХ» (20%), ЗАО «ММБ» (15%), ООО «Бумажник» (14%) и др.</p>	<p>1976–1980 – расширение предприятия; 1977 – ввод в строй механических очистных сооружений промстоков; 1986 – ввод сооружений биологической очистки промстоков (БОС); 1998 – реконструкция очистных сооружений с установкой нового илососа, пуск сооружений очистки ливневых вод (1 очередь); 2000-2008 – модернизация БОС с внедрением бионасадов Natrix; 2003 – получение сертификата ISO 9001:2000; 2004–2009 – реконструкция котлоагрегатов с переводом на газовое топливо (снижение выбросов на 8,3%)</p>	<p>Роль собственника, требования международных рынков (экспорт –80%)</p>
<p><b>ОАО «Сегежский ЦБК»</b> – градообразующее предприятие (3 тыс. чел.) <i>Продукция:</i> сульфатная целлюлоза, бумажные мешки, крафт-бумага. <i>Рынки сбыта:</i> Россия, Европа, Китай. С 2006 г. входит в холдинг «Инвестлеспром»</p>	<p>1960 – проведение крупной технической реконструкции; 1999-2002 – модернизация СРК с заменой мазута на щепу: экономия мазута – 15-20% , уменьшение выбросов в атмосферу; 2005 – модернизация БДМ №№9, 10 с улучшением экологических характеристик; 2007 – получение сертификата лесоправления и цепочки поставок по системе FSC; инициировано создание проекта Модельный лес «Сегозерье»</p>	<p>Роль собственника, преследующего экономические цели; расширение холдинга за счет иностранных предприятий; общественные движения</p>
<p><b>ОАО «ЦЗ Питкяранта»</b> – <i>Продукция:</i> целлюлоза. <i>Рынки сбыта:</i> СНГ, Центральная и Западная Европа, Юго-Восточная Азия. <i>Основные акционеры:</i> Marlin Enterprises Limited (40%), Balendean Limited (37%), ОАО «Кареллеспром» (10%)</p>	<p>2000 – вхождение в SFT-group; 2004 – сертификация ISO 9001:2000; 2005 – реконструкция СРК № 1 (сокращение выбросов на 9%); 2003-2009 – крупномасштабная модернизация с целью внедрения энергосберегающих технологий, уменьшения нагрузки на окружающую среду</p>	<p>Иностранные собственники, внедряющие свой менеджмент, социальную и экологическую культуру; требования международных рынков</p>

Краткая характеристика предприятия	Этапы и элементы модернизации (гг.)	Факторы, влияющие на ЭМ
<p><b>ОАО «ЛФК Бумэкс»</b> (г. Лахденпохья) <i>Продукция:</i> шпон, корпусная мебель, технологическая щепка. <i>Рынки сбыта:</i> США, Италия, Финляндия, Россия</p>	<p>2003 –технологическая модернизация; 2004 – получение сертификата ISO 14001</p>	<p>Требования международных рынков</p>
<p><b>ОАО «Карельский окатыш»</b> – градообразующее предприятие, (5 тыс. чел.) <i>Продукция:</i> железорудные окатыши. <i>Рынки сбыта:</i> Россия, Великобритания, Финляндия, Германия. <i>Основные акционеры:</i> «Северсталь-Ресурс»</p>	<p>2001–2003 – техпереворужение; автоматизация управления горно-транспортным комплексом; модернизация обогатительного передела; 2004–2009 – реконструкция системы гидротранспорта, замена оборудования для системы сжигания на 3 обжиговых машинах в цехе по производству окатышей (снижение расхода мазута на 20%, уменьшение выбросов окислов азота и серы; сокращение сернистого ангидрида за 10 лет в 2 раза). Обучение 22 специалистов по программе «Чистое производство». Получение сертификатов ISO 14001, EMAS и ISO 9001</p>	<p>Роль собственника, преследующего экономические цели; требования международных рынков</p>
<p><b>Филиал ОАО «НАЗ СУАЛ»</b> (п. Надвоицы) <i>Продукция:</i> алюминий, силумин, порошки, пудры и пасты из алюминия и его сплавов. <i>Рынки сбыта:</i> 100% на экспорт через Роттердам. <i>Основные акционеры:</i> ОАО «СУАЛ» (более 90%)</p>	<p>1993 – прекращение сброса загрязненных вод за счет создания замкнутого водооборота; 1994 – замена электролизеров, автоматизация технологического процесса (снижение экологической нагрузки в 200 раз); 2004-2005 – модернизация вспомогательного производства; получение сертификата ISO 9001:2000; внедрение АСУТП ТРОЛЛБ со значительным уменьшением выбросов фтористых соединений; 2007 – строительство «сухой» газоочистки, обеспечивающей задержание 90% выбросов; Реализуется программа «Окружающая среда и здоровье населения на территориях присутствия предприятий, входящих в алюминиевый комплекс»</p>	<p>Государственное регулирование; общественные движения; роль собственника</p>

Стремление собственника работать на экологически «чувствительных» рынках стало определяющим фактором экологической модернизации для ОАО «Кондопога» и ОАО «НАЗ СУАЛ», поскольку большая часть (80–100%) их продукции поставляется на экспорт. Экономические показатели деятельности экспортно-ориентированных предприятий напрямую зависят от соответствия их продукции и технологических процессов международным экологическим стандартам. Все шесть исследуемых предприятий имеют сертификаты ISO 9001, ISO 14001, либо системы FSC. Основным мотивом для внедрения стандартов, по мнению 84% опрошенных менеджеров, служит перспектива расширения международного рынка и лишь для 3% респондентов – улучшение качества. Тогда как на Западе основными мотивациями для внедрения стандартов служат улучшение качества (73%) и расширение бизнеса (59%), а перспективы продвижения на зарубежные рынки – всего 9%. Внешнее воздействие оказывают и иностранные собственники предприятий: например, в ОАО «ЦЗ Питкяранта» более 70% акций принадлежит иностранным собственникам, внедряющим на предприятии свой менеджмент, корпоративную этику, социальную и экологическую культуру, что позволяет говорить о действии еще и культурно-дискурсивного сценария.

Экологической модернизации предприятий Карелии в значительной степени способствовал и такой фактор, как приграничное расположение региона, которое благоприятствует развитию трансграничных контактов, позволяет использовать западные услуги, 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.

Роль государственного регулирования в экологии России в настоящее время значительно уменьшилась. Новый экономический механизм природоохранной деятельности еще не создан, а старый выполняется формально. Для государственных органов экологический фактор не является ключевым, они стремятся скорее к тому, чтобы улучшались социально-экономические условия жизни насе-

ления (стабильность доходов, снижение безработицы и т.п.). В связи с этим институционально-политический сценарий не был доминирующим ни в одном из рассматриваемых случаев, за исключением Надвоицкого алюминиевого завода, где государственное регулирование стало решающим фактором на первом этапе экологической модернизации. Это было связано с экологическими нарушениями на комбинате, обусловившими загрязнение окружающей среды фтором и рост заболеваемости детей флюорозом.

С принятием «Экологического кодекса» роль государственного регулирования возможно усилится, поскольку предполагается, что формирующийся механизм регулирования природоохранной деятельности, наряду с административными методами, будет включать различные стимулирующие меры для экологизации экономики.

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). Построенные для карельских предприятий зависимости также позволяют выделить два периода (рис. 5.7, 5.8).

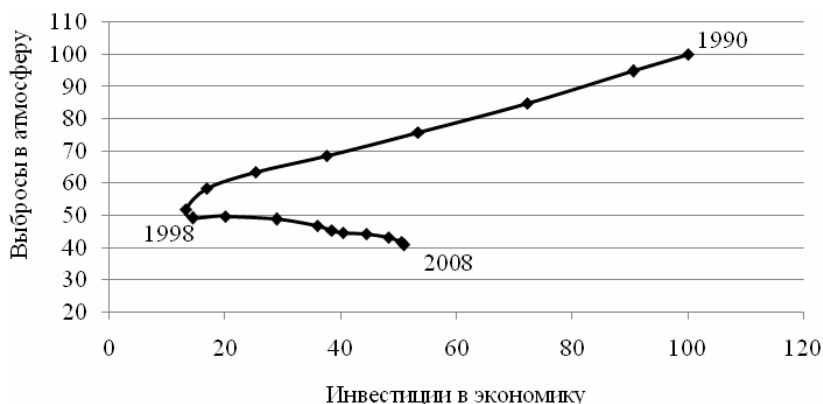


Рис. 5.7. Изменение выбросов в атмосферу в зависимости от динамики инвестиций в экономику Карелии в период 1990–2008 гг. (% к 1990 г.)

Снижение инвестиций в основной капитал до конца 90-х годов сопровождалось снижением выбросов в атмосферу в регионе, но вряд ли можно говорить о взаимовлиянии, так как эти процессы были связаны с экономическим спадом. Рост инвестиций в основной капитал после 1998 г. сопровождался снижением выбросов в атмосферу, что можно объяснить вложениями в модернизацию производств, особенно в ОАО «Кондопога» и ОАО «ЦЗ Питкяранта».

Рассматривая аналогичные зависимости по показателю сброса сточных вод (рис. 5.8), можно отметить его резкое снижение в начале рассматриваемого периода (до 1993 г.) в связи со спадом производства, затем объем сброса стабилизировался, несмотря на дальнейшее снижение инвестиций до 1998 г. и их рост в последующий период. Говорить о влиянии инвестиций на снижение сброса производственных сточных вод можно лишь с 2005 г. (благодаря накапливаемому росту, т.е. кумулятивному эффекту).



Рис. 5.8. Изменение сброса сточных вод в зависимости от динамики инвестиций в экономику Карелии в период 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. В конце 90-х годов экологические фонды в России были ликвидированы, экологическое страхование почти не работает, объемы бюджетного финансирования природоохранных мероприятий остаются стабильно низкими и имеют тенденцию к сокращению

(рис. 5.9). Основными источниками инвестиций в природоохранную сферу являются собственные средства предприятий. С одной стороны, это можно рассматривать как реализацию принципа «загрязнитель платит», но с другой – свидетельствует об отсутствии государственного интереса к сфере охраны окружающей среды, как на федеральном, так и на региональном и местном уровнях.

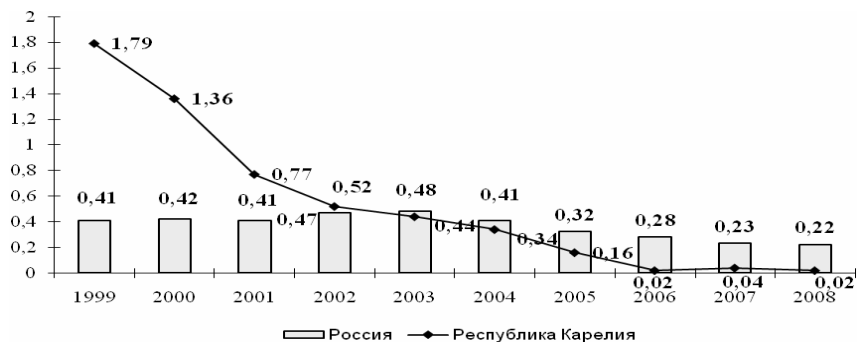


Рис. 5.9. Доля расходов на охрану окружающей среды в общем объеме расходов консолидированных бюджетов России и Карелии, %

Так, федеральные бюджетные расходы на охрану окружающей среды не превышали в 1999–2008 гг. 0,5% расходной части бюджета, а в 2008 г. составляли лишь 0,22% (рис. 5.9), что явно недостаточно даже для текущей борьбы с загрязнением окружающей среды. Расходы бюджетов ряда субъектов РФ на финансирование природоохранной сферы значительно ниже федерального уровня. В 2008 г. в Карелии доля бюджетных средств в финансировании природоохранных мероприятий составила лишь 0,2%, причем все из федерального бюджета. Это еще раз подтверждает низкую значимость фактора государственного регулирования экологизации экономики (Шкиперова, 2009). Опыт развитых стран (Японии, Германии, Великобритании, США) свидетельствует о том, что для улучшения экологической ситуации необходимо выделение на охрану окружающей среды 4–5%, а для поддержания на стабильном уровне – не менее 3% расходных бюджетных средств.



Анализ зависимости уровней загрязнений от природоохранных инвестиций показывает, что колебания объема инвестиций в охрану окружающей среды в республике оказывали различное влияние на изменение объемов выбросов в атмосферу от стационарных источников и сбросов сточных вод в поверхностные водоемы. В начале 90-х годов снижение выбросов и сбросов происходило при неизменных инвестициях, но затем резкое падение инвестиций во второй половине 90-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 трехфакторных экологических функций, которые должны учитывать неоднозначность влияния различных сценариев развития экономики на окружающую среду региона в зависимости от структуры и направленности инвестиций.

Для приближенной оценки взаимосвязи показателей и основных параметров ФЗ – факторных эластичностей и темпа нейтрального экологического прогресса, проводился 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 ФЗ, определены возможные ограничения на параметры ФЗ.

## **5.2. Идентификация функций загрязнения по Карелии по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу**

Далее приводятся результаты расчетов по Карелии за 1990–2008 гг., в ходе которых определялось влияние изменения показателей на динамику выбросов в атмосферу. Расчеты проводились за весь период реформ, за оба периода и иногда за вычетом начала 90-х годов. По Карелии использовались данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, ВРП, инвестициям в основной капитал и инвестициям в основной капитал, направленным 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.

Расчеты проводились по представленным выше функциям. Линейная ФЗ (1.7) скорее всего не подходит для анализа и прогнозирования в случае постоянных коэффициентов. Линейная ФЗ с постоянными коэффициентами лишь в нескольких вариантах расчетов по Карелии привела к имеющим смысл результатам. За 1990–2008 гг. при использовании в качестве первого показателя ВРП было получено  $B=0.92$  и  $C=-0.0012$  при  $R^2=0.55$ , за другие периоды были получены хорошие статистические характеристики, результаты не имеют экологического смысла.

При использовании в качестве экономического показателя кумулятивных инвестиций в основные фонды за 3 года лишь для 1992–1998 гг. были получены имеющие смысл результаты ( $B=1.92$ ,  $C=-0.00038$ ) при хороших статистических характеристиках. Разумные результаты при использовании кумулятивных инвестиций за 5 лет получились лишь для периода 1994–1998 гг. ( $B=1.81$  и  $C=-0.00091$ ).

При расчетах по ВРП по приростной модификации ФЗ (1.8) с постоянными коэффициентами имеющий смысл результат был получен лишь для ВРП за 1991–2007 гг. при хороших статистических характеристиках ( $B=0.47$  и  $C=-0.0009$ ) и за 1991–1998 гг. при  $R^2=0.32$  было получено  $B=0.41$  и  $C=-0.0057$ .

При использовании в качестве экономического показателя кумулятивных инвестиций в основные фонды за 3 года и 5 лет имеющие смысл результаты были получены и за весь период, и за оба подпериода, но статистические характеристики оказались очень плохими.

Расчеты подтвердили, что для линейных функций более близка к российской реальности зависимость коэффициентов  $C(t)$  и  $B(t)$  от времени, а  $D(t)$  можно принять постоянным. Зависимость от времени важна и улучшает статистические характеристики, поскольку изменение экономических показателей оказывало все меньшее влияние на окружающую среду в период реформ, а природоохран-

ная деятельность становилась все более значимой. Расчеты по Карелии дали похожий результат – факторная эластичность по ВРП убывает, а по природоохранным инвестициям растет (по модулю):

$$\Delta Z(t) = (0.93 - 0.488 \times t) \times \Delta U_1(t) + (-0.051 \times t + 0.439) \times \Delta U_2(t) - 2.45$$

При использовании в качестве экономического показателя кумулятивных инвестиций в основные фонды за 3 года имеющие смысл результаты были получены и за весь период, и за оба подпериода, при достаточно хороших статистических характеристиках, если брать инвестиции за 5 лет, то результаты оказались существенно хуже.

Расчеты по карельским данным по функции (1.6) привели к различным значениям эластичности по ВВП и по кумулятивным инвестициям. Для 1990–2008 г. при использовании ВРП получили  $\mu=0.741$  и  $\eta=-0.119$  без учета нейтрального экологического прогресса. При кумулятивных инвестициях за 3 года за 1992–2008 гг. получили существенно большее значение  $\mu=1.583$  при коэффициенте  $\eta=-0.009$ . При кумулятивных инвестициях за 5 лет результат близкий –  $\mu=1.627$ , коэффициент  $\eta=-0.084$ .

Изменение факторных эластичностей по периодам должно было позволить построить ФЗ с нулевой однородностью ( $\mu = \eta$ ), но расчеты оказались неудачны – статистические характеристики оказались очень низкими. Значительное различие параметров  $\mu$  и  $\eta$ , полученное при расчетах по функции (1.6), не позволяет говорить о близости их суммы к нулю, что подтвердили расчеты по функции (1.10).

Уравнение (1.10) позволяет примерно оценить однородность и динамику факторных эластичностей. Расчеты для 1990–2008 гг. показали высокую однородность – 0.783. Эластичность по ВВП немного колеблется около 0.9, а эластичность по природоохранным инвестициям также достаточно стабильна и находится в районе – 0.11. Статистические характеристики невысокие,  $R=0.72$ ,  $F=5.6$ .

Расчеты по функции (1.11) показали близкие значения параметров. По расчетам за 1990–2008 гг. эластичность по ВВП составляла примерно 0.8, а по природоохранным инвестициям около 0.08. Статистические характеристики лишь немного лучше предыдущей функции.

Расчеты по функции (1.12) показали близкие результаты. По расчетам за 1990–2008 гг. эластичность по ВВП составляла 0.6–0.9 (в среднем 0.728), а по природоохранным инвестициям колебалась около  $-0.07$ – $-0.09$ , затем стала расти (по модулю). Статистические характеристики для всех вариантов расчетов примерно такие же как и для функции (1.11).

Расчеты по функции (1.13) также не сильно отличаются. За 1990–2008 гг. эластичность по ВВП составила в среднем 0.765, а по природоохранным инвестициям практически совпала с функцией (1.12), в среднем составила  $-0.113$ .

В четырех данных функциях вводились разные зависимости факторных эластичностей от факторов, но результаты оказались близкими (и эластичности, и статистические характеристики), что говорит о возможности описания процесса более простыми функциями, в частности (1.6).

## ГЛАВА 6

### **ФУНКЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

Управление развитием экономики с началом рыночных реформ изменилось – фактически стала формироваться новая система управления, которая строилась одновременно на основе адаптации использовавшихся ранее в плановой экономике методов к новым условиям и методов, заимствованных в развитых странах, успешность которых требовала учета российской специфики. В стране постепенно накапливался необходимый опыт, появилось понимание сложности происходящих процессов.

Управление экономикой требует информации не только о прошлом и нынешнем ее состоянии, но и о возможных будущих изменениях. Следует учитывать внешнее воздействие, поскольку глобализация все в большей степени будет влиять на развитие РФ и ее регионов. Необходимо анализировать тенденции развития экономики в целом и отдельных отраслей, оценивать возможные последствия принимаемых решений, как региональными, так и федеральными органами власти и управления. Для повышения эффективности управления экономикой большое значение имеет прогнозирование, стратегирование и программирование ее развития, которое позволяет подготавливать и принимать решения, разрабатывать основные мероприятия по достижению поставленных целей.

Развитие экономики РФ и ее регионов и становление рыночных институтов ведут к необходимости создания системы прогнозирования, стратегирования и программирования развития экономики, которая должна быть относительно самостоятельна и учитывать федеральные и региональные интересы, иметь упреждение примерно на 20 лет с выделением отдельных более детальных документов на 6–12 лет, 3–5 лет и на следующий год. На рисунке 6.1 представлена упрощенная схема, связывающая прогнозирование, стратегирование и программирование. Учитывать воздействие на окружающую среду необходимо на каждом шаге и на каждом шаге

используются различные модели, постепенно все более сложные (Дружинин, 2005).

Исследование происходящих процессов и данных закономерностей, разработка на основе проведенного анализа моделей для прогнозирования позволят исследовать возможные пути развития территорий через построение и анализ различных сценариев. Сценарный подход позволяет просчитывать возможные ситуации и оценить внешнее воздействие, включая влияние возможных решений федеральных властей для регионов, а также учесть особенности территорий. Построенные в процессе прогнозирования различные сценарии развития экономики РФ или ее регионов могут приводить к существенно различающимся экологическим последствиям, которые необходимо анализировать и учитывать при принятии решений. Надо отметить, что прогнозирование – итеративный процесс, исследование полученных прогнозов ведет к построению новых сценарных условий и уточнению прогнозов.

*Дальнесрочное прогнозирование* должно осуществляться первоначально в ходе анализа развития экономики региона и выявления тенденций. Прогноз – научно-обоснованная гипотеза о вероятном будущем состоянии экономической системы и экономических объектов и характеризующие это состояние показатели. В данном случае строятся демографические, ресурсные и агрегированные прогнозы развития экономики в целом и ее влияния на социально-экологическую сферу. Уже на этой стадии необходимо оценить воздействие развития экономики на окружающую среду через простые модели и сформулировать ограничения, которые необходимы при разработке концепции для учета требований улучшения качества жизни.

*Концепция* обычно определяется как система взглядов на что-нибудь, основная мысль или руководящая идея развития или система принципов, идей, представлений, определяющих цели. Фактически концепция должна быть относительно небольшим документом, в котором изложена система представлений о стратегических целях и приоритетах социально-экономической политики, важнейших направлениях и средствах реализации указанных целей, ограничениях, в т.ч. и экологических. Концепция позволяет определить миссию, дать толчок взаимодействию государства,

бизнеса и общественных институтов. Она является рамочным документом и задает основные принципы для разработчиков стратегических документов, адресована и разработчикам, и лицам, принимающим стратегические решения.



Рис. 6.1. Взаимосвязь основных документов управления развитием региона

Уже в ходе разработки концепции начинает осуществляться *долгосрочное прогнозирование*, позволяющее на основе специальных достаточно простых моделей построить варианты прогнозы

социально-экономического развития, сравнить их, оценить эффективность вариантов и достижимость поставленных целей. В данном случае необходимо провести расчеты по отдельным секторам (отраслевым или территориальным) и разработать несколько вариантов развития экономики с учетом изменения экологической ситуации. Для анализа нужны модели, позволяющие сравнивать различные инвестиционные решения. Для этого выделяются сектора, существенно различающиеся по воздействию на окружающую среду.

Сравнительный анализ данных прогнозов используется для разработки *стратегии* развития региона. В данном документе осуществляется детализация направлений реализации социально-экономической политики, предлагаются механизмы воздействия, способствующие реализации бизнесом выбранного пути развития, а значит, в выработке концепции должны совместно с представителями властей и специалистами участвовать представители бизнеса и общественных организаций.

Стратегия обычно определяется как система методов и механизмов для реализации концепции на менее продолжительный период времени, примерно на 5–10 лет. На данном этапе стратегического планирования происходит детализация важнейших целей развития территории и ее отдельных секторов (отраслей и территорий), уточняются приоритеты и определяется механизм их учета в текущей политике властей. В ходе декомпозиции целей строится система подцелей, которая ориентирована на существующую систему управления, что позволяет формулировать для действующих ведомств среднесрочные цели и задачи, а также согласовывать с ними пути их достижения. Стратегия должна дополняться концепциями развития отдельных секторов и политик, включая Концепцию экологической политики.

На основе Стратегии должны разрабатываться уже более детальные среднесрочные прогнозы развития отдельных секторов экономики, сравнительное исследование которых дает возможность конкретизировать механизмы ее реализации. Анализ полученных прогнозов позволяет конкретизировать стратегические документы и сформировать среднесрочные целевые программы, включая Экологическую программу.



Предлагается следующая схема построения экологических прогнозов в сценариях будущего экономического развития. Полученные по ретроспективным данным параметры уравнений являются параметрами для одного из сценариев, определяемого как экстраполяционный. Для других строящихся сценариев развития действие субъекта управления может привести к изменению параметров уравнений. Для каждого варианта экономической политики определяются сценарные условия, которые сводятся к изменению параметров уравнений и к различным вариантам динамики экологических характеристик (Выбор ..., 2000; Доктрина ..., 2002; Дружинин, 2005; Основные ..., 2003).

Собственно прогнозирование включает четыре этапа. В ходе первого (анализа) рассматриваются основные показатели развития, строятся графики, выделяются особенности территории и выявляются основные секторы. Каждая территория имеет свои особенности и специфику, которые определяют реакцию бизнеса на внешнее воздействие. В ходе анализа проводится периодизация развития, определяются ограничения на параметры и характеристики уравнений.

На втором этапе (моделирование) с учетом результатов проведенного анализа данных подбираются уравнения и оцениваются их параметры по отдельным периодам и за всю ретроспективу в целом.

На третьем этапе строятся сценарные условия, которые определяют варианты внешнего воздействия на развитие и влияния политики федеральных и региональных властей. В модели это выражается в определении вариантов распределения инвестиций и других ресурсов и изменении параметров уравнений. Для данной задачи важны и изменения социально-экономической политики и изменения экологической политики.

Если изменения финансирования мер по сохранению окружающей среды незначительны или вообще отсутствуют, можно ожидать, что состояние экологии будет определяться изменениями в динамике и структуре инвестиций на развитие экономики и другими экономическими характеристиками. Для долгосрочного прогнозирования используется более грубый подход, экономика рассматривается в целом без выделения секторов.

На четвертом этапе осуществляется прогнозирование, и появляются собственно сценарии (количественные оценки развития экономики и влияния ее на окружающую среду), отражающие те или иные варианты внешнего воздействия и результаты политики федеральных и региональных властей.

Для проверки возможностей использования функций загрязнения проводились расчеты на основе разработанной в 2005 г. и уточненной позднее Стратегии развития Республики Карелия. Прогнозирование осуществлялось по ФЗ (1.6) без учета нейтрального экологического прогресса при  $\mu=0.741$  и  $\eta=-0.119$ . 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. достигли 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. Также сценарии включают и динамику изменения факторных эластичностей в соответствии с изменением структуры экономики.

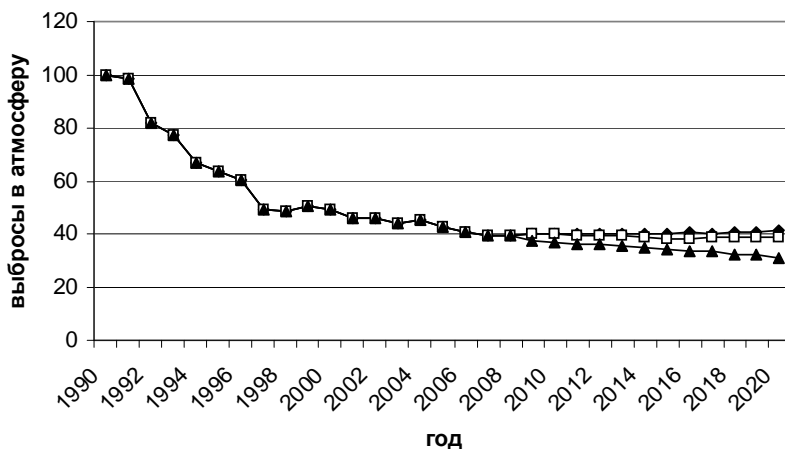


Рис. 6.2. Прогноз выбросов в атмосферу от стационарных источниками в соответствии с тремя сценариями развития экономики Карелии, % к 1990 г.

## ГЛАВА 7

### ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ<sup>5</sup>

При выделении нескольких секторов можно построить оптимизационные модели двух типов. В первом случае исследуется перераспределение факторов между секторами с целью минимизации загрязнений:

$$Z(t) = \sum_i Z_i(t) = \sum_i F_i(U_{1,i}(t), U_{2,i}(t), t) \rightarrow \min$$
$$U_1(t) = \sum_i U_{1,i}(t), \quad U_2(t) = \sum_i U_{2,i}(t),$$

$$U_{1,i}(t) \geq 0, \quad U_{2,i}(t) \geq 0, \quad \varepsilon_{1i} > 0, \quad \varepsilon_{2i} \leq 0, \quad \varepsilon_{1i} + \varepsilon_{2i} \geq 0, \quad \overline{i = 1, N}$$

Данную модель можно строить для двухфакторных и трехфакторных функций, для функций (1.6) возможно найти оптимальное решение в общем случае и при некоторых ограничениях.

Во втором случае, когда инвестиции разделяются на три составляющих – новое строительство, модернизация и охрана окружающей среды, возникает задача оптимального распределения инвестиций  $U(t)$  по трем направлениям. Оптимальное решение минимизирует загрязнения при обеспечении определенного объема производства  $Y_0(t)$ .

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t) \rightarrow \min$$

$$Y(t) = G(U_1(t), U_3(t)) \geq Y_0(t)$$

$$U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = U(t)$$

$$U_1(t) \geq 0, \quad U_2(t) \geq 0, \quad U_3(t) \geq 0, \quad \varepsilon_1 > 0, \quad \varepsilon_2 \leq 0, \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \geq 0,$$

Оптимальное решение может искаться и в общем случае, когда инвестиции можно распределять и по направлениям, и по секторам:

---

<sup>5</sup> Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а.

$$Z(t) = \sum_i Z_i(t) = \sum_i F_i(U_{1,i}(t), U_{2,i}(t), U_{3,i}(t)) \rightarrow \min$$

$$U_1(t) = \sum_i U_{1,i}(t), \quad U_2(t) = \sum_i U_{2,i}(t), \quad U_3(t) = \sum_i U_{3,i}(t)$$

$$Y(t) = G(U_1(t), U_3(t)) \geq Y_0(t)$$

$$U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = U(t)$$

$$U_{1,i}(t) \geq 0, \quad U_{2,i}(t) \geq 0, \quad U_{3,i}(t) \geq 0, \quad \varepsilon_{1i} > 0, \quad \varepsilon_{2i} \leq 0, \quad \varepsilon_{1i} + \varepsilon_{2i} + \varepsilon_{3i} \geq 0, \quad \overline{i = 1, N}$$

## GLAVA 8

### **ECONOMIC DEVELOPMENT IMPACT UPON THE ENVIRONMENT**

A serious scientific problem is estimation of the environmental effect of economic development and identification of patterns in interrelations between environmental and economic characteristics of ongoing processes. The models based on such patterns should enable investigation of potential development scenarios in strategic planning and their comparative analysis. Various scenarios of economic development of the Russian Federation (RF) or its regions may have very different environmental consequences, which must be taken into account as limitations in decision-making.

To handle the problem one first of all needs to work out the requisite tools: mathematical models that enable investigation of interrelations between economic and environmental parameters, and identification of regularities, as well as techniques that allow for quick estimations. One has to build fairly simple and convenient functions that would describe relations between economic and environmental indices, which parameters would be stable and meaningful to both economists and ecologists, complement existing models and generate new possibilities. With the proposed approach we can determine the relationships between parameters of functions and indices of different levels (the economy in general and its individual sectors), estimate the effect of structural shifts in the economy and of changes in the structure of investments by types, examine different variants of resource distribution among sectors, and construct the ones optimal by various criteria.

The difficulty is that the effect of economic development on environmental indices varies depending on the type of activity and structure of investments. Economic development mainly leads to quantitative growth, most projects tend to have negative environmental effect, and foundation of new industries increases the load on the environment in one way or another. Other projects – innovative and

modifying the structure of the economy, may have the positive effect of reducing the environmental load through modernization of the industrial process, introduction of new technologies, etc. The greatest effect comes from investments in machines and equipment.

Nature conservation, projects to improve treatment systems reduce the harmful impact on the nature with various degrees of effectiveness, which can be estimated by data analysis and identification of equations. On the other hand, some current costs and investments do not lead to any changes in the environment. For those features to be reflected in special functions one needs to analyse simple functions based on real data and built by analogy with production functions, and to suggest new ones, which enable investigation of environmental-economic processes.

The idea to introduce special functions came up when dealing with the problem of building scenarios of environmental change in Northern regions depending on the economic policy. After data had been analysed and models had been built for Republic of Karelia, Murmansk and Arkhangelsk Regions, the conclusion was drawn that special functions similar to production ones can be developed to describe environmental-economic processes (White, 2005).

**Data.** The study is based on the information available from statistical yearbooks on RF and its regions. The environmental indices descriptive of the state of the environment and the effect of the economy on it are investigated – point-source pollutant emissions, polluted effluent discharges to surface waters, water uptake from natural sources, toxic waste production, etc. To solve some problems, simple indices are processed into integrated ones, which reflect the overall effect of the economy on various characteristics.

Integrated indices comprise individual environmental indices and demonstrate the macrolevel of the region's development and state of the environment, and its environmental safety. The most widespread form of an integrated index is the following:

$$Z = \sum_j Z_j \frac{P_j}{Np_j},$$

where:  $j$  is the number of the simple environmental index;  $P_j$  – weighting factor of the  $j^{\text{th}}$  index (usually set equal in calculations);  $Z_j$  –

actual value of the  $j^{\text{th}}$  environmental index;  $Np_j$  – normalizing factor (the value of the index in the first year, usually standing for the 100%).

The following indices are considered to assess the economic development – gross domestic product (GDP) and its structure by industries, gross regional product (GRP) and its structure, basic assets and their structure, investments and their structure, etc. Calculations for major indices (GDP, GRP, amount of investments, and some others) are carried out for both integrated and simple indices. Indices by industries are used in equations with simple indices. E.g., emissions from vehicles depend on transport development parameters.

The dynamics of environmental parameters is influenced also by nature conservation activities, which are described by the following indices – investments in fixed capital aimed to promote nature conservation and sustainable utilization of natural resources, current costs of nature conservation, etc.

The data are to be made comparable, which is a difficult but not an impossible task, and the indices most accurately reflecting the changes that have taken place as well as suitable for building special functions are selected during economic analysis. Therefore, one most often considers cumulative investments – the sum of investments cumulated over 3–5 years, or in some cases (identification of incremental functions) investments over one year are used.

Conversion of statistical accounting from industries to types of activity has generated certain problems in building dynamic series in a comparable form, but these can be overcome by introducing coefficients and converting data by industries from the 1990s to data by types of activity.

The impact of various production facilities on the environment differs greatly, and industries (types of activity) may be aggregated into several sectors for the purposes of the analysis. Grouping into sectors enables examination of the structural policy and analysis of the consequences of potential strategic decisions so that the environmental impact of the various economic development scenarios can be assessed. The key factor is the non-uniform distribution of investments among sectors. Aggregation can be based on either simple or integrated indices depending on the task, and the sectors compiled using different indices would differ somewhat.

Three sectors were distinguished in the present study. Based on point-source atmospheric emissions the sector featuring the heaviest environmental impact comprises the following industries – electric energy, fuel, ferrous and non-ferrous metal industries, and transport. The second sector includes the following industries – chemical and petrochemical, construction materials, forest industries, agriculture, food industry, machine engineering, housing and public utilities. Their specific emissions are lower than the average in the economy. The rest of the industries, first of all services, fall into the third sector.

**Mathematical model.** The main advantage of the proposed pollution functions (PF), which integrate economic and environmental indices, is that they help investigate the dynamics of the environmental efficiency of investments, analyse the effect of changes in the structure of investments and the economy, and take account of the possibility of one factor compensating for another. PF can be a two- or a three-factor function, based on simple or on integrated environmental indices:

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), t)$$

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t)$$

where:  $Z(t)$  is the environmental index in question,  $U_1(t)$  – factor describing economic development, which, as a rule, tells negatively on the environment (investments in the economy, investments in new construction projects, GDP, GRP, etc.),  $U_2(t)$  – factor describing conservation activities and enhancing the environment (investments in nature protection, current costs of nature protection, etc.),  $U_3(t)$  – factor reflecting structural changes in the economy, which, as a rule, have positive effect on the environment (investments in modernization of production facilities, etc.). One may assume function  $F$  to be single-valued, continuous and twice differentiable. The factors are positive; increase in the costs of a factor usually results in a reduction in its efficiency.

To reflect the specific characteristics of environmental-economic processes we introduce the notions of the marginal rate of compensation (the amount of one factor required to maintain the environmental impact at a constant level when another factor is changed) and elasticity of compensation (the degree of difficulty in



compensating for one factor with another). This characteristic may either be constant or depend on certain indices. If, for instance, elasticity of compensation is zero a change in one factor would result in a proportionate change in the environmental impact that cannot be compensated by another factor.

We introduce the notion of homogeneity of degree  $\gamma$  of function  $F$ , if it satisfies the following conditions:

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = \lambda^\gamma F(U_1(t), U_2(t), t)$$

Calculations have shown homogeneity to be much below one, and functions homogenous of degree zero, which sometimes describe real processes quite well, are of particular interest:

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = F(U_1(t), U_2(t), t)$$

We introduce the notion of factor elasticities, which are logarithmic derivatives of PF by factors. Parameters  $\varepsilon_1$  and  $\varepsilon_2$  can be defined as elasticities of pollution for a factor, which predetermine its efficiency. They describe the degree of impact of the factors: if GRP (or another economic index) grows by 1% the investigated environmental index grows by  $\varepsilon_1\%$ , and if investments in nature protection (or another conservation index) are increased by 1% it would change by  $\varepsilon_2\%$ , decrease to be more exact, since elasticity  $\varepsilon_2$  is negative.

We introduce the notion of neutral environmental progress, which is related to changes in the pollution level dependent on time or on other factors. Neutral environmental progress is most significantly influenced by structural shifts. To estimate the degree of their effect we built the following equations for the two-factor PF

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \sum_i \varepsilon_{1,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} \\ \varepsilon_2 &= \sum_i \varepsilon_{2,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} \\ p &= \sum_i p_i \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} + \varepsilon_0 \\ \varepsilon_0 &= \sum_i (\varepsilon_{1,i} \times (I_{1,i} - I_1) + \varepsilon_{2,i} \times (I_{2,i} - I_2)) \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}\end{aligned}$$

where  $Z(t)$  is the environmental index under consideration,  $I_1$  – logarithmic derivative of an economic index,  $I_2$  – logarithmic derivative of a conservation index,  $t$  – year,  $i$  – sector.

At the first stage of the study carried out for the three regions we used the simplest functions:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \quad (8.1)$$

This PF enables very convenient calculations – when its logarithm is found, it becomes linear and has plain environmental meaning. Often,  $A(t) = \exp(p \times t)$ , where:  $p$  is the rate of neutral environmental progress, which characterizes the effect of the factors unaccounted for in the formula, including structural shifts, modernization of production facilities,  $\mu \geq 0$ ,  $\eta \geq 0$ . Parameters  $\varepsilon_1 = \mu$  and  $\varepsilon_2 = -\eta$  are factor elasticities.

The simplest and most convenient here is the linear function

$$Z(t) = B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t) \quad (8.2)$$

The main drawback of this function is that compensation is infinite – a change in one index can be easily compensated by changing another one, which is far from the reality. A second problem consists in frequent use of the cumulative investment volume as one of the main factors. To eliminate this problem we additionally used a modification of the linear function:

$$\Delta Z(t) = B(t) \times \Delta U_1(t) + C(t) \times \Delta U_2(t) + D(t) \quad (8.3)$$

In this case we consider the increments of indices, wherefore the volume of investments over a year or several years can be used as the factor with weights that account for the construction lag. There remains the problem of infinite compensation, and the vagueness of retirement can be neglected since changes in pollution volumes are most significantly affected by new investments, and retirement can be roughly estimated using previous years' investments.

In addition to functions (8.1)–(8.2) we considered more complex ones, with a limiting factor, which proved to be close to the reality in some time periods:

$$Z(t) = A(t) \times \min\{a \times U_1(t), b \times U_2(t)\} \quad (8.4)$$

A change in one of the indices in function (8.4) cannot be compensated by another one. E.g., investments in environment protection are inefficient and production grows (or declines) without any changes in the technology. A second option is where production grows in those spheres that have hardly any effect on the environment

(such as IT or education), and investments in nature protection significantly reduce discharges from most polluting industries (metal processing, pulp-and-paper industry).

Calculations for Republic of Karelia and other regions have demonstrated application of functions similar to the widely known production functions alone is not very relevant. Environmental-economic processes have their own distinctive features, and specialized functions need to be built. Judging by the computations performed one can assume factor elasticities would gradually change, probably decrease. More up-to-date technologies are introduced, and their impact is lower than that of existing ones, replacement of treatment systems for more advanced ones generates lower effect than their original installation, restrictions on environmental impact grow stricter, but changes decrease. Several types of functions with changing factor elasticities have been suggested, and computations were performed for the following ones:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) / U_2(t)) \quad (8.5)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp\left(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)}\right) \quad (8.6)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t)) \quad (8.7)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t)), \quad (8.8)$$

Factor elasticities of PF data depend on the indices and their ratios, and may vary quite significantly. Function (8.5) is homogeneous; when indices in function (8.6) grow factor elasticities approach parameters  $m$  and  $h$ ; factor elasticities in function (8.7) are linear in the indices. Other variants of the functions are also feasible.

**Data analysis.** To roughly estimate the relationship between the indices of the main parameters of PF – factor elasticities and the rate of neutral environmental progress, we analysed data and built various graphs of environmental and economic indices and their ratios. As the result, periods with potentially different behaviour of the main characteristics of the process in question were identified, assumptions concerning the type of PF were made, potential limitations on PF parameters were determined.

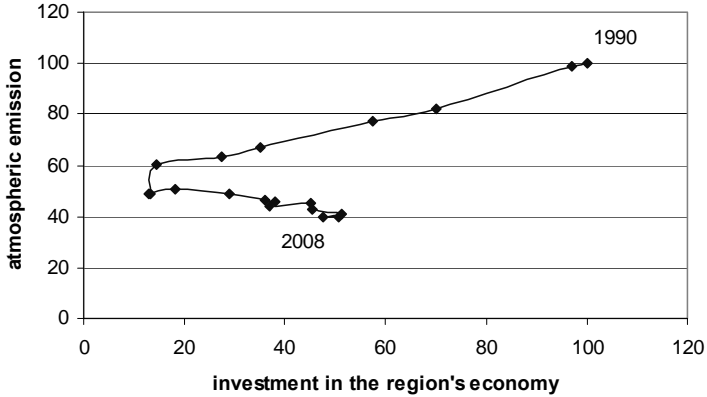


Fig. 8.1. Connection point-source pollutant emissions (1990 = 100%) and investments in fixed capital of Karelian economy (1990 = 100%)

Figure 8.1 shows data on Republic of Karelia. One can discern two trends, each roughly described by linear relationship. Before 1998, with a nearly 10-fold reduction in investments in the region's economy atmospheric emissions dropped by 40%, whereas afterwards, when investments in the economy increased four times, much of it channeled to modernization of production facilities and introduction of more up-to-date technologies, emissions decreased by another fifth - to 48% of the 1990 level.

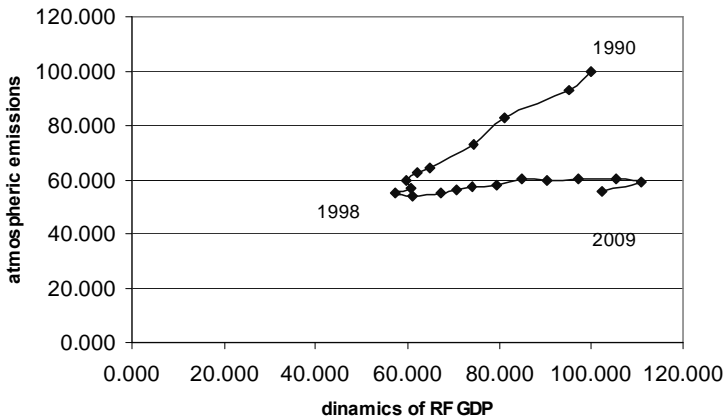


Fig. 8.2. Connection point-source pollutant emissions (1990 = 100%) and dynamics of RF GDP (1990 = 100%)

A similar relationship is demonstrated by data on the Russian Federation. Figure 8.2 shows the dynamics of RF GDP. One can see also that since the late 1990s the growth of GDP has not caused significant increase in atmospheric emissions. The graph suggests there are two periods differing in characteristics.

If however time dependence (neutral environmental progress does not equal zero) and the second factor are taken into account, differences between the periods may vanish. Plotting of the graph of the same pollution level by factor correction (the coefficient is determined from the ratio of the emissions level to 1990 values) shows the difference between the two periods is insignificant.

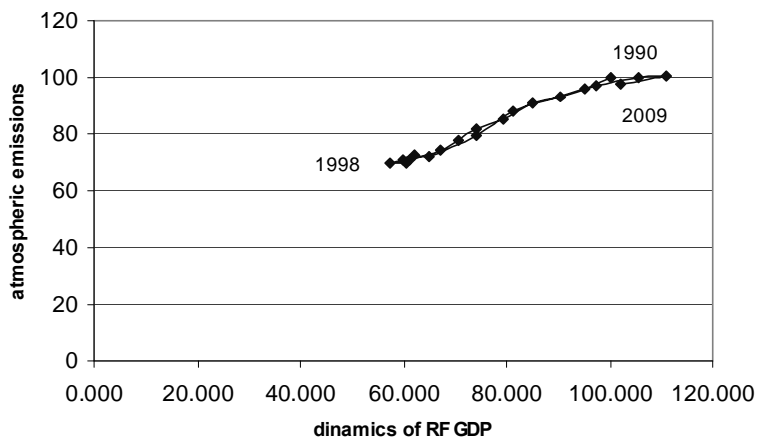


Fig. 8.3. Connection point-source pollutant emissions (1990 = 100%) and dynamics of RF GDP (1990 = 100%) if emission increase on 3% in year (exist neutral environmental progress  $p = -0.03$ )

Figure 8.3 illustrates how the dependence of pollutant emissions on RF GDP dynamics changed at emission corrections – 3% reduction a year owing to the factors not accounted for in this model (most probably connected with modernization of production facilities). The two lines coincide, so PF can as well be build for the period of 1990–2008 as a whole.

**Building the functions.** Analysis of data on the three regions proved one can build functions with parameters quite stable over certain time

periods. Trial calculations for the three regions resulted in identification of several kinds of PF and the technique for finding their parameters. The main problem is the short data series; all types of functions can be estimated for the period of 1990–2008; problems sometimes arise when doing calculations for specific periods.

Below we report the results of the calculations for Republic of Karelia and Russia through which we determined the effect of changes in the indices on the dynamics of atmospheric emissions. Calculations were carried out for the whole period of reforms, for the two periods, and sometimes excluding early 1990s. We used data on point-source pollutant emissions, GRP or GDP, investments in fixed capital and investments in fixed capital targeted at environment protection.

Calculations were performed for the functions presented above. Linear PF (8.2) with constant coefficients yielded meaningful results only in some variants of calculations on the Russian Federation. For the period of 1990–2007, when GDP was used as the first index, we got  $B=0.50$  and  $C=-0.06$ ; similar results were obtained for investments in basic assets ( $B=0.60$ ,  $C=-0.11$ ) with the background of good statistical characteristics.

In calculations on the PF modification (8.3) with constant coefficients the only meaningful result was obtained for GDP in the period of 1991–2007 with the background of good statistical characteristics ( $B=0.21$  and  $C=-0.11$ ). If the dependence of the absolute term on time is included, the statistical characteristics would remain nearly unchanged but the coefficients would change somewhat ( $B=0.19$ ,  $C=-0.12$ ).

Calculations for functions (8.2) and (8.3) have shown that the closest to Russian realities is the dependence of coefficients  $C(t)$  and  $B(t)$  on time, whereas  $D(t)$  can be considered constant. This is important because, as calculations for the three northern regions show, the effect of change in economic indices on the environment kept decreasing during the reforms, whereas nature conservation activities were gaining in significance. Calculations on RF using (8.3) yielded a similar result – factor elasticity decreased for GDP and increased for nature conservation investments:

$$\Delta Z(t) = (1.89 - 0.017 \times t) \times \Delta U_1(t) + (0.011 \times t - 1.19) \times \Delta U_2(t) + 0.29$$

More realistic is the non-linear function (8.1), where the elasticity of compensation equals 1, its environmental-economic message is clear, but some problems exist in the use of investments as indices. Calculations using RF data resulted in higher values of elasticity for GDP. For the 1990–2007 period and investments over 1 year,  $\mu=0.51$  when neutral environmental progress was not taken into account and  $\mu=0.68$  when it was (its value was negative, ca.  $-0.03$ ). The result for cumulative investments over 3 years with account of neutral environmental progress was about the same –  $\mu=0.69$ . In the calculations for the second period elasticity  $\mu$  is within the 0.21–0.3 interval depending on the limits of the period and the number of years for which investments are summed up. One can conclude the effect of GDP modification on the dynamics of atmospheric emissions has dropped significantly.

Coefficient  $\eta$  turned out to be close to zero; it ranged between 0.001 and 0.04 when we changed the period covered by calculations and the number of years of investments summed up, and in the presence/absence of neutral environmental progress. Neutral environmental progress is negative, being about  $-0.03$ ; when it is taken into account parameter  $\eta$  tends to zero.

From the calculations for the first and second periods we got high values of the correlation and Fischer's coefficients, and likewise for the whole period when investments over 1–3 years were summed up and neutral environmental progress was taken into account. Calculations on longer investment summing periods are unreliable, since data from the two periods mix together and the indices were changing in the opposite directions in these periods.

More complex functions (8.5) – (8.8) yielded more interesting results. Equation (8.5) enables estimation of homogeneity and dynamics of factor elasticities. According to the calculations, homogeneity is within 0.1–0.5. Elasticity for GDP somewhat decreases, staying within 0.4–0.6, and elasticity for conservation investments slightly grows, being about  $-0.1$ . Introduction of neutral environmental progress (it equaled about  $-0.026$ ) slightly shifted the estimates: elasticity for GDP increased significantly, and, naturally, so did homogeneity. Significant difference between factor elasticities indicated building of the function with zero homogeneity is problematic in this case, as corroborated by the calculations.

Calculations for function (8.6) have shown a homogeneous function can be built, but the degree of the indices' effect on the pollution dynamics would most probably decrease. In calculations based on the period of 1990–2007, elasticity for GDP was 0.5–0.6, and for conservation investments it varied from –0.1 to –0.2. In this case however, statistical characteristics are rather low, the correlation coefficient is only  $R=0.57$ . Introduction of neutral environmental progress immediately improves the statistical characteristics ( $R=0.99$ ,  $F=408$ ), and when it is taken into account elasticity increases to 0.7 for GDP and nearly to zero for conservation investments. Neutral environmental progress is negative and equals about –0.03, like for function (8.6). Differentiation between the two periods indicates the effect of GDP decreased notably (elasticity dropped from about 0.9 in the first period to 0.2 in the second one), whereas that of conservation investments increased (elasticity changed from nearly zero to –0.2).

Calculations by formula (8.7) yielded similar results. In calculations on years 1990–2007 elasticity for GDP was 0.53–0.55, for conservation investments – around –0.2. In the first period elasticities were nearly the same as in function (8.6), whereas in the second one the effect of conservation investments was about twice greater. Statistical characteristics in all the variants of calculations were approximately the same as for function (8.6).

Calculations for Karelia using the linear PF (8.2) for years 1990–2008 with GRP as the first index yielded  $B=0.92$  and  $C=-0.0012$  with good statistical characteristics. For the incremental PF, coefficients differ notably ( $B=0.47$  and  $C=-0.0009$ ) and statistical characteristics are worse. Calculations by PF (8.1) resulted in high elasticity values for GRP for years 1990–2008:  $\mu=0.74$  and  $\eta=-0.119$ . For PF (8.8) applied to years 1990–2008 we got  $\mu=0.79$  and  $\eta=-0.085$ , and parameter  $a=-0.0000001$  (the low value is due to the fact that investments in air protection increased 352-fold over 1990–2008).



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимова Т.А.* (2006): Человек – экономика – биология – среда. М.: ЮНИТИ.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В., Сидоренко С.Н., Зыков В.Н.* (2005): Макроэкология и основы экоразвития. М.: РУДН.
- Анохин Ю.А., Остромогильский А.Х.* (1978): Математическое моделирование и мониторинг окружающей среды. Обнинск.
- Ашманов С.А.* (1984): Введение в математическую экономику. М.: Наука.
- Байбусинов Ш.Ш., Шкиперова Г.Т.* (2005): Проблемы капитализации природного капитала региона // Приграничный регион в условиях интеграционных процессов и реформирования местной власти. – Материалы международной научно-практической конференции. Четвертые Арсеньевские чтения. Петрозаводск: КарНЦ РАН.
- Батурин В.А., Васильев С.Н., Лакеев А.В., Москаленко А.И.* (1994): Математические модели и методы исследования устойчивого развития региона // Закономерности социального развития: ориентиры и критерии моделей будущего. Часть II. Новосибирск: СО РАН.
- Бессонов В.А.* (2005): Проблемы анализа российской макроэкономической динамики переходного периода. – М.: ИЭПП.
- Бессонов В.А., Воскобойников И.Б.* (2006): Динамика основных фондов и инвестиций в российской переходной экономике. М.: Научные труды ИЭПП № 97.
- Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш.* (2004): Экономика природопользования. М.: ИНФРА-М.
- Бурматова О.П.* (1983): Оптимизация пространственной структуры ТПК. Экологический аспект. Новосибирск: Наука.
- Васильева Е.Э.* (2003): Экономика природопользования. Минск: БГУ.
- Вернадский В.И.* (1989): Биосфера и ноосфера. М.: Наука.
- Вишнев С.М.* (1974): О моделировании взаимодействия общества и природы (аналитический обзор) // Экономика и математические методы. Вып. 3.
- Выбор стратегических приоритетов регионального развития: новые теоретико-методические подходы (2007): Материалы международной научно-практической конференции. СПб.
- Гизатуллин Х.Н., Троицкий В.А.* (1998): Концепция устойчивого развития: новая социально-экономическая парадигма // Общественные науки и современность. №5.
- Гвишиани Д.М.* (1978): Методологические проблемы моделирования глобального развития // Вопросы философии. №2.

- Глушкова В.Г., Макар С.В.* (2003): Экономика природопользования. М.: Гардарики.
- Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2008 году (2009): Петрозаводск.
- Гринин А.С.* (2003): Математическое моделирование в экологии: Учеб. пособие для вузов / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. М.: ЮНИТИ-Дана.
- Гурман В.И.* (2003): Моделирование устойчивого развития с учетом инновационных факторов / Экономика и математические методы. №1.
- Гурман В.И., Кульбака Н.Э., Рюмина Е.В.* (1999): Опыт социо-эколого-экономического моделирования развития региона / Экономика и математические методы. №3.
- Гурман В.И., Кульбака Н.Э., Рюмина Е.В.* (1996): Проблемы учета экологической составляющей в системе национальных счетов // Экономика и математические методы. Вып.1.
- Гусев А.А., Гусева И.Г.* (1996): Об экономическом механизме экологически устойчивого развития // Экономика и математические методы. №2.
- Диксон Дж., Бэкес Ж., Гамильтон К. и др.* (2000): Новый взгляд на богатство народов. Индикаторы экологически устойчивого развития. М.: ИСЭиПЭПИ.
- Динамика эколого-экономических систем (1981): - Новосибирск: Наука.
- Дружинин П.В.* (2010): Об оценке влияния развития экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. №4.
- Дружинин П.В.* (2007): Сценарии развития и прогнозирование социально-экономических особенностей региона / Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН.
- Дружинин П.В.* (2005): Развитие экономики приграничных регионов в переходный период. Петрозаводск: КарНЦ РАН
- Дружинин П.В., Морошкина М.В., Шкиперова Г.Т.* (2009): Моделирование влияния развития экономики на окружающую среду. Петрозаводск: КарНЦ РАН.
- Думнов А.Д., Восьмирко Е.О.* (1999): Формирование важнейших макроэкономических показателей при статистическом изучении природопользования с учетом методологии СНС // Вопросы статистики. № 5.
- Замятина М.Ф.* (2006): Теоретико-методологические основы экологизации экономического и технологического регионального развития // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. №1(27).

- Замятина М.Ф.* (2004): Экологизация экономического и технологического развития как крупномасштабная инновация / Инновации и инвестиции в регионе. Под ред. М.А. Гусакова. СПб.: ИРЭ РАН.
- Иванов П.М.* (2006): Устойчивое региональное развитие: концепция и модель управления / Экономика и математические методы. №2. С.51–59.
- Камберленд Дж., Корбач Р.* (1976): Региональная модель межотраслевых взаимодействий с окружающей средой / Новые идеи в географии. Т.1. М.: Прогресс.
- Килер Э., Спенс М, Зекхаузер П.* (1974): Оптимальный контроль над загрязнением окружающей среды / Математическая экономика. М.: Мир.
- Ковалевская Л.Д., Ковалевский Д.В.* (2009): Регионально-динамические аспекты инновационного экономико-климатического моделирования / Актуальные проблемы управления экономикой региона. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. СПб.
- Косякова И.В.* (2006): Учет ассимиляционного потенциала как главной составляющей при моделировании локальной экосистемы // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Экономические науки». Вып. 38.
- Косякова И.В.* (2004): Моделирование локальной экосистемы / И.В. Косякова // Изв. Самар. науч. центра РАН. Спец. вып. «Экономика и управление народным хозяйством».
- Кочегуров В.А., Полищук Ю.М., Чешев В.В.* (1994): Методология построения природно-социо-экономических моделей для исследования комплексных проблем окружающей среды и развития / Закономерности социального развития: ориентиры и критерии моделей будущего. Часть II. Новосибирск: СО РАН.
- Куклин А.А., Белик И.С., Никулина Н.Л.* (2005): Социально-экономическое обоснование экологической безопасности региона. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН.
- Латин Н.И., Геловани В.А.* (1976): Методологические проблемы глобального моделирования / Взаимосвязь наук при решении экологических проблем. Москва-Обнинск.
- Леонтьев В., Форд Д.* (1972): Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. Вып. 3.
- Мекуш Г.Е.* (2007): Экологическая политика и устойчивое развитие: анализ и методические подходы / Под редакцией С. Н. Бобылева. М.: Макс-Пресс.
- Медоуз Д. Г., Медоуз Д. Л., Райндерс Дж., Беренс В.В.* (1994): Пределы роста. Доклад для Римского клуба. С-Пб.: Нева-ПРЕСС.

- Месарович М., Пестель Е.* (1994): Человечество на повороте. Второй доклад для Римского клуба. С-Пб.: Нева-ПРЕСС.
- Модели природных систем (1978): Новосибирск: Наука.
- Моделирование социо-эколого-экономической системы региона (2001) / Под ред. Гурмана В.И., Рюминой Е.В. М.: Наука.
- Модель взаимодействия хозяйства и природы региона с учетом различных стратегий экономического развития (1985): Обнинск: ВНИИГ-МИ-МЦД.
- Осипов В.И.* (1991): Концептуальные основы экологической политики // Вестник Российской академии наук. №12.
- Основные показатели охраны окружающей среды (2009): Стат. бюллетень / Росстат. М.
- Охрана окружающей среды в России (2009): Ст.сб. / Росстат. М.
- Пирс Д., Тернер Р.* (1992): Экономика природных ресурсов и окружающей среды. - М.: Диалог-МГУ.
- Приложение математических моделей к анализу эколого-экономических систем (1988): / Под ред. Башалханова И.А., Батурина В.А. Новосибирск: Наука.
- Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении (1993): Женева: Центр «За наше общее будущее».
- Регионы России. Социально-экономические показатели (2009): Ст.сб. / Росстат. М.
- Республика Карелия в цифрах (2009): Стат.сб. / Карелиястат. Петрозаводск.
- Россия в цифрах (2009): Крат.стат.сб./Росстат. М.
- Реймерс Н.Ф.* (2001): Экология. М.: Мысль.
- Рюмина Е.В.* (2009): Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. М.: Наука.
- Рюмина Е.В.* (2000): Анализ эколого-экономических взаимодействий. М.: Наука.
- Рюмина Е.В.* (1995): Моделирование взаимосвязей развития народного хозяйства и природоохранной деятельности // Экономика и математические методы. Вып. 3.
- Рюмина Е.В., Аникина А.М.* (2009): Экологически скорректированная оценка экономического развития регионов // Проблемы прогнозирования. №2.
- Социально-экологическая ответственность и рейтинги российского бизнеса (2005): М.: КМК.
- Тысячнюк М.С., Тулаева С.А., Кулясов И.П.* (2008): Сценарии экологической модернизации целлюлозно-бумажных комбинатов // Социологические исследования. №9.

- Федоренко Н.П.* (1977): Оптимизация экономики. М.: Наука.
- Фишер А., Петерсон Ф.* (1976): Окружающая среда в экономике. Обзор. М.: Наука.
- Форрестер Дж.* (1978): Мировая динамика. М.: Наука.
- Хильчевская Р.И.* (1996): Проблемы экологической экономики в свете концепции устойчивого развития // Экономика и математические методы. №3. С.85-95.
- Хильчевская Р.И., Сафонов П.И.* (1994): Проблемы устойчивого развития и экологической экономики и их решение в России. Москва.
- Шкиперова Г.Т., Мелентьев Г.Б.* (2010): Экологизация производств как составляющая процесса технической модернизации // Экология промышленного производства. №4.
- Шкиперова Г.Т.* (2009): Финансовые механизмы регулирования экологической безопасности / Технологии управления социально-экономическим развитием региона: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 3-х частях. Часть I. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН.
- Экологизация экономического развития: региональный аспект (2008): / Под ред. С. А. Скачковой. - М.: Издательский дом «Финансы и Кредит».
- Экономическая эффективность природоохранной деятельности: теория и практика (2009): Материалы X Международной конференции РОЭЭ. - Москва-Калининград: РОЭЭ.
- Экономические индикаторы качества роста региональной экономики (2005): Под ред. Глазыриной И.П. М.: НИА-Природа.
- Экономические механизмы решения глобальных экологических проблем в России (2008): Материалы IX Международной конференции РОЭЭ. Барнаул. Изд. Фонда «Алтай - XXI век».
- Экономический анализ воздействий на окружающую среду (2000): Пер. с англ. / Диксон Д., Скура Л., Карпентер Р. и др. М.: Вита.
- Экономические проблемы перехода Карелии к устойчивому развитию (2001): Ред. Ш.Ш. Байбусинов и др. Петрозаводск: Изд. Дом «Карелия».
- Alcamo, J., ed.* (1994): IMAGE 2.0: Integrated Modeling of Global Climate Change. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Barker, T S* (1998): Use of energy-environment-economy models to Inform greenhouse gas mitigation policy // Impact Assessment and Project Appraisal. Vol. 16. No. 2.
- Canter L.W.* (1996): Environmental Impact Assessment. 2<sup>nd</sup> Edn. - NY.: McGraw-Hill.

- Keller E., Spence M., Zeckhauser R.* (1971): The Optimal Control of Pollution // *Journal of Economic Theory*. No.4.
- Costanza R., Daly H.* (1992): Natural Capital and Sustainable Development // *Conservation Biology*. №6.
- Dasgupta P., Heal G.* (1979): *Economic theory and Exhaustible Resources*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Feichtinger G., Hartl R., Kort P., Veliov V.* (2005): Environmental policy, the partner hypothesis and the composition of capital: effect of learning and technological progress // *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 50. No. 2.
- Fullerton D., Kim S.-R.* (2008): Environmental investment and policy with distortionary taxes, and endogenous growth // *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 56. No. 2.
- Goeschl T., Perino G.* (2007): Innovation without magic bullets: stock pollution and RD sequences // *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 54. No. 2.
- Grimaud A., Rouge L.* (2005) Polluting non-renewable resources, innovation, and growth: welfare and environmental policy // *Resource and Energy Economics*. Vol. 27, pp. 109-129.
- Jaggi B., Freedman M.* (1992): An Examination of the Impact of Pollution Performance on Economic and Market Performance: Pulp and Paper Firms // *Journal of Business Finance and Accounting*. Vol. 19, pp.697-713.
- Leontief W.* (1970): Environmental Repercussion and the Economic Structure in Input-Output Approach // *Review of Economics and Statistics*. Vol. 52. No. 3.
- Levinson A.* (2009): Technology, International Trade, and Pollution from US Manufacturing // *The American economic review*. Vol. 99. No. 5.
- Lopez R., Anriguez G., Gularti S.* (2007): Structural change and sustainable development // *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 53. No. 3.
- Nordhause W.* (2007): *The Challenge of Global Warming: Economic model and Environmental policy*. Yale University.
- Roson R.* (2003): Modelling the economic impact on climate change. *EEE World papers series - No.9*.
- Proops J., Safonov P.* (2004): *Modeling in Ecological Economics*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Tahvonen O., Kuuluvainen J.* (1991): Optimal growth with renewable resources and pollution // *European Economic Review*. Vol. 35. No. 3.
- Tarui N., Polasky S.* (2005): Environmental regulation with technology adoption learning and strategic behavior // *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 50. No.3.

- Taucheux S., Pearce D., Proops J.* (1996): Models of Sustainable Development. Cheltenham: Edward Elgar.
- Vellinga, N., Withagen C.* (1996): On the Concept of Green National Income // Oxford Economic Papers. Vol. 48, pp. 499-514.
- White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change (2005): Springer.

Научное издание

Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Морошкина М.В.

**ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ**

*Печатается по решению Ученого совета  
Института экономики Карельского научного центра РАН*

*Печатается в авторской редакции*

*Оригинал-макет Т. Н. Люрина*

*Фотография на первой странице обложки Беловой Г.Ю.*

Подписано в печать 07.12.2010. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times».

Уч.-изд. л. 4,7. Усл. печ. л. 7,0.

Тираж 300 экз. Изд. № 168. Заказ № 920

Карельский научный центр РАН,  
Редакционно-издательский отдел  
185003, Петрозаводск, пр. А. Невского, 50