



КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ



МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ



ПЕТРОЗАВОДСК
2009

Карельский научный центр
Российской академии наук
Институт экономики

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Петрозаводск 2009

УДК [330.34:502]:001.891.57

ББК 65.28

М 74

Моделирование влияния развития экономики на окружающую среду / Институт экономики КарНЦ РАН. Под общей ред. П.В. Дружинина. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. – 96 с.

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 [330.34:502]:001.891.57

ББК 65.28

ISBN 978-5-9274-0393-6

Авторский коллектив:

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

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

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

Издание подготовлено по материалам проектов РФФИ № 09-06-00279_а «Построение и исследование экологических инвестиционных функций» и РГНФ № 09-02-00362а/И «Инновационное предпринимательство в регионе с невысоким инновационным потенциалом», а также проектов «Моделирование и прогнозирование региональных инновационных и социо-эколого-экономических процессов», «Экономический мониторинг северных и северо-западных российских регионов»

ISBN 978-5-9274-0393-6

© Институт экономики КарНЦ РАН, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Введение (Дружинин П.В.)	4
Глава 1. Экономика и экология: проблемы взаимодействия (Шкиперова Г.Т.)	6
Глава 2. Место экологических прогнозов в системе управления (Дружинин П.В, Шкиперова Г.Т.)	18
Глава 3. Модели эколого-экономических систем (Шкиперова Г.Т.)	25
Глава 4. Концепция функций загрязнения (Дружинин П.В.)	35
Глава 5. Исследование функций загрязнения (Морошкина М.В., Дружинин П.В.)	44
Глава 6. Построение функций загрязнения по РФ (Дружинин П.В.)	59
6.1. Развитие экономики РФ и изменение экологической ситуации	59
6.2. Идентификация функций загрязнения по РФ по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу	66
Глава 7. Построение функций загрязнения по РК (Дружинин П.В.)	70
7.1. Развитие экономики РК и изменение экологической ситуации	70
7.2. Идентификация функций загрязнения по РК по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу	84
Глава 8. Экологические инвестиционные функции (Дружинин П.В.)	85
Список литературы	89

Введение

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. Различные сценарии развития экономики РФ или ее регионов могут приводить к существенно различающимся экологическим последствиям, которые необходимо учитывать при принятии решений.

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 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 (макрорегионами) и построить оптимальное по различным критериям.

В данной работе предлагается подход к построению подобных моделей. 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, выявить периоды, в которых параметры построенных функций стабильны, выявить причины перехода от одного периода к другому и показать возможность построения сплайновых функций.

Развитие экономики ведет в основном к количественному росту, большинство проектов оказывает чаще отрицательное воздействие, создание новых производств увеличивает в той или иной степени нагрузку на окружающую среду. Другие проекты, инновационные и связанные с изменением структуры экономики, могут оказать положительное воздействие, например, модернизация производства, переход к новым технологиям могут существенно снизить нагрузку на окружающую среду. Надо отметить, что основное влияние оказывают реконструкция и техперевооружение производства, связанные с вложениями в машины и оборудование.

Природоохранная деятельность, проекты, направленные на улучшение систем очистки, ведут к уменьшению вредного воздействия на природу с разной степенью эффективности, которую можно оценить исходя из анализа данных и идентификации уравнений. В то же время часть текущих затрат и инвестиций не вызывает изменения состояния окружающей среды. 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.

Идея введения специальных функций появилась при решении задачи выявления возможных изменений экологической ситуации в северных регионах при различной экономической политике. Анализ данных и построение моделей по Республике Карелия, Мурманской и Архангельской областям привел к выводу о воз-

возможности построения специальных функций аналогичных производственным, которые могут описывать эколого-экономические процессы.

1. Экономика и экология: проблемы взаимодействия

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 результате такого взаимодействия человека и природы, при котором антропогенная нагрузка на территорию (ее определяют через техногенную нагрузку и плотность населения) превышает экологические возможности этой территории, обусловленные главным образом ее природно-ресурсным потенциалом и общей устойчивостью природных комплексов к антропогенным воздействиям. В связи с этим вопросы оптимизации эколого-экономических взаимодействий приобретают на современном этапе особую актуальность.

Обращаясь к истории вопроса, следует отметить, что до середины XX века проблемы взаимодействия экономики и экологии обсуждались в основном в ключе ограниченности природных ресурсов, а негативное влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду не являлось предметом рассмотрения экономической науки. Не изучались и обратные связи между экологической деградацией и экономическим развитием, состоянием трудовых ресурсов, качеством жизни населения.

Ряд авторов (Русин, 1989; Реймерс, 2001) объясняет такое положение тем, что «неограниченный экономический рост в силу относительно низкого уровня развития производительных сил, больших возможностей саморегуляции у биосферы не вызывал глобальных экологических изменений».

На протяжении истории цивилизации практически любые формы инженерной деятельности и все технические достижения человека оказывали в той или иной степени негативное воздействие на

природу. Распашка степей, вырубка лесов, осушение болот, возведение плотин, прокладка дорог, каналов, трубопроводов, бурение скважин, вскрытие карьеров, эксплуатация различных устройств, выброс в среду отходов производства и многое другое – наносило и наносит вред природе. Локальные (или региональные) экологические кризисы имели место во все эпохи развития человеческого общества. Истории известны достаточно крупные экологические бедствия, обусловленные хозяйственной деятельностью человека в те времена, когда промышленности в ее современном понимании не было вовсе (например, вырубка ливанского кедра, истощение земель из-за применения подсеčno-огневой системы земледелия). Но экономика была не столь сильно технически вооружена, чтобы оказать существенное антропогенное воздействие, уровень воздействия не превосходил способности природы к самовосстановлению.

В конце XVIII века наряду с активным развитием машинного производства значительно возросло и потребление природных ресурсов. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты, обусловленные несовершенством технологий того периода, нейтрализовались недостаточным объемом производства и тем, что высокоотходные отрасли были сконцентрированы лишь в нескольких странах (США, Англия, Германия).

В период становления и развития промышленного капитализма количество машин возрастает настолько, что образует своеобразную оболочку между человеком и природой – техносферу (Акимова и др., 2005). Природа понимается как объект интенсивной преобразовательной деятельности и кладовая ресурсов. Поскольку механизация человеческой деятельности нуждается в энергетическом обеспечении, природном сырье, соответственно увеличивается количество отходов, меняются ландшафты, режим рек, растут города (Глушкова, Макар, 2003). Идеи преобразования природы преобладают практически до середины XX века.

Таким образом, развитие цивилизации сопровождалось формированием техногенного типа экономического развития, ведущего к загрязнению и истощению окружающей природной среды. Например, причиной разрушения озонового слоя является рост производства и выброса хлорфторуглеродов и других веществ, используемых при производстве холодильников, кондиционеров, аэрозо-

лей и др.; основными причинами опустынивания – массовые вырубки лесов и чрезмерное использование пастбищ. Кислотные дожди, наносящие ущерб лесам, озерам, почве, возникают в результате соединения выбросов двуокиси серы и окислов азота с атмосферной влагой (Васильева, 2003).

Проблема влияния экономики на экологию была поставлена в XIX в. течением так называемых русских космистов, и развита в дальнейшем в работах Федорова Н.Н., Вернадского В.И., Моисеева Н.Н., Хесле В., Форрестера Дж., Печчеи А., Тофлера О. и других. Об этом писали биологи Ж.Б. Ламарк и Э. Реклю. Русский физик Н.А. Умов на рубеже XIX-XX веков стремился привлечь внимание общественности к проблеме ограниченности жизненного пространства Земли и ее ресурсов. В начале XX века В.И. Вернадский разработал учение о ноосфере и человеке как геолого-образующей силе (Вернадский, 1989). Развивая теорию ноосферы, он указал на возможное решение глобальных экологических проблем современности путем регламентации хозяйственной деятельности.

Лишь в 70-х гг. XX века, в значительной степени благодаря работам Римского клуба (так называемым Докладам Римскому клубу), было показано, что на современном этапе, на пути дальнейшего экономического развития общества возникли новые лимитирующие факторы, которые можно условно обозначить как «экологические ограничители» экономического роста, отражающие масштабы и последствия негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду (Медоуз, 1994; Месарович, 1994).

В связи с этим в 70-е годы сформировалось четыре точки зрения на возможные пути взаимодействия экономики и окружающей среды, от крайне техно-центристского до крайне экологоцентристского (Фишер, Петерсон, 1976):

- 1 направление – ориентация на экономический рост путем эксплуатации природных ресурсов; признание способности рыночных механизмов или централизованного планирования вместе с техническим прогрессом преодолеть истощение природных ресурсов в долгосрочном периоде; природа рассматривается только с точки зрения ее полезности для человечества;

- 2 направление – «компромиссное» – ставит задачи охраны окружающей среды и менеджмента природных ресурсов; следует цели экономического роста, который возможен в течение некоторого времени при условии управления природными ресурсами;
- 3 направление – «коллективисты» – ориентируется в первую очередь на охрану окружающей природной среды; требует ограничения экономического роста для сохранения природных ресурсов с учетом при этом материальных и социальных потребностей населения; для устойчивости требуется децентрализованная система; наряду с оценкой природной среды как блага для человечества признаются ее собственные права независимо от жизни общества;
- 4 направление – «чисто экологическое» – характеризуется крайней ориентацией на охрану окружающей среды; развитием социально-экономической системы по пути минимальной эксплуатации ресурсов – «деиндустриализация»; принятием биоэтики (неущемление человеком прав и интересов всех других биологических видов) и высокой оценкой природной среды вне зависимости от ее полезности с точки зрения общества.

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; Васильева, 2003).

В рамках концепции *фронтальной экономики* природа рассматривалась как неограниченный источник ресурсов и поглотитель различных отходов. Основными факторами, лимитирующими экономическое развитие, являются труд и капитал. Такая модель развития преобладала до 60-70 годов XX в. в большинстве развитых стран. Сторонники этой концепции не отрицают деградацию окружающей среды, но при решении экологических проблем опираются главным образом на возможности НТП.

Концепция *экотопии* прямо противоположна концепции фронтальной экономики и отстаивает необходимость сворачивания эко-

номического развития в целях экологической безопасности. Большинство специалистов рассматривают эту концепцию как крайность, которая может вернуть общество в доиндустриальное состояние.

В соответствии с концепцией *охраны окружающей среды*, разработанной в 60-70 годах XX века, ведущим принципом экономического развития становится получение максимальных экономических результатов при минимальных экологических издержках. Концепция охраны окружающей среды предполагает установление цен на природные ресурсы, введение платы за загрязнения, развитие производства на основе чистых технологий. Подход к экономическому развитию остается тот же, что и в рамках фронтальной экономики: максимальный рост производства в целях наиболее полного удовлетворения потребностей человека. Однако введение строго экологического законодательства, высокие природоохранные издержки способствовали развитию ресурсосберегающих технологий и некоторому улучшению состояния окружающей среды. Следуя этой концепции можно замедлить, но не предотвратить экологическую деградацию.

Концепция *умеренного развития экономики* предусматривает постепенную стабилизацию уровня производства и рациональное использование природных ресурсов с учетом интересов будущих поколений. Основу природоохранной деятельности составляет предотвращение загрязнений, а не борьба с их последствиями. Кроме того, концепция умеренного развития предполагает регулирование численности населения планеты и поэтому требует координации экологической политики в мировом масштабе.

Концепция *гармоничного развития общества и природы* рассматривает их как единое целое. В этой модели делается попытка отказаться от господства человека над природой и предусматривается совместное функционирование экономики и экосистемы. В нынешних условиях эта концепция выглядит утопичной, но является ориентиром для дальнейших исследований взаимодействия человека с окружающей средой.

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 некоторых 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.

Несмотря на множество спорных вопросов, эта концепция уже 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 на основе невысоких темпов экономического роста, и на предыдущих стадиях развития перевели «грязные» производства в другие страны (Замятина, 2006). 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. Урсул, Г. Фоменко, Р. Хильчевской и многих других. На сегодняшний день не существует даже общепризнанного определения устойчивого развития. Особенно часто подчеркивается сложность практического применения концепции устойчивого развития (Гизатулин, Троицкий, 1998; Хильчевская, 1996; Диксон и др., 1994).

Определенная вина за возникший экологический кризис лежит и на экономической науке. Ее рамки и направления развития не дали возможность оценить экологическую угрозу и предложить адекватную создавшейся ситуации экономическую теорию. Хотя основополагающие принципы взаимодействия факторов производства, включая природные, были заложены еще в трудах классической экономической науки: А. Смита, Д. Риккардо, К. Маркса. Фундаментальным подходом в их трудах прослеживается положение о том, что каждому фактору производства соответствует форма дохода: земле – рента, труду – зарплата, капиталу – проценты на капитал. Капиталистическая система хозяйствования подтолкнула бизнес и предпринимателей на максимальное получение нормы прибыли, часто не учитывая экологический фактор.

А. Маршалл ввел понятие внешней и внутренней экономии, где под внешней экономией подразумевается воздействие внешней среды на внутрифирменные процессы. Особый интерес представляют работы А. Пигу, который показал необходимость государственного вмешательства в экономику с точки зрения охраны окружающей среды (Пигу, 1985). Подход А. Пигу основан на интернализации внешних эффектов (т.е. перевод внешних эффектов во внутренние) с помощью корректирующих налогов и субсидий. Отрицательные внешние эффекты устраняются путем введения корректирующего налога, который поднимает предельные частные затраты на его величину, а положительные – путем выплаты субсидий. При этом величина налога должна равняться величине предельного ущерба посторонних субъектов, а субсидия – их предельной выгоде. Такое решение проблемы экстерналий требует участия правительства, которое имеет соответствующие полномочия в области налогообложения и субсидирования.

Налог Пигу стал одним из популярных инструментов экологической политики, где он выступает в форме установления платы за

вредные выбросы. Однако практическое применение налога Пигу сталкивается с рядом трудностей, обусловленных необходимостью знать точный размер наносимого предельного ущерба. Требуется выяснить: какая именно деятельность вызвала ущерб, типы и объемы загрязнений, конкретные загрязняющие вещества. Такого рода измерения могут быть лишь приблизительными. Кроме того, необходимо получить денежную оценку ущерба по каждому источнику загрязнения, в соответствии с которой ему будет назначен корректирующий налог. На практике это выполнить практически невозможно и связано с высокими издержками, которые зачастую превосходят выгоды от контроля за выбросами. Несмотря на указанные недостатки, налогообложение в соответствии с подходом А. Пигу остается распространенным инструментом экологической политики.

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. Под транзакционными издержками понимаются затраты на поиск партнеров, проведение переговоров и осуществление контроля соблюдения договорных условий.

Интернализация внешних эффектов в соответствии с подходом Р. Коуза становится возможной благодаря установлению прав собственности на объекты окружающей среды и природные ресурсы. В этом случае урегулирование отношений между заинтересованными сторонами не требует вмешательства государства в виде налогообложения или субсидирования и осуществляется путем переговоров.

Однако условие нулевых транзакционных издержек в реальной жизни выполняется крайне редко. Более того, раздробленный государственный аппарат экологического надзора увеличивает транзакционные издержки, привлекая к разрешению технических вопросов сторонние лицензированные структуры на коммерческой основе за счет производителя. Кроме того, для проведения переговоров важно, чтобы были зафиксированы негативные последствия, точно определены загрязняющая и пострадавшая сторона. Поскольку экологические проблемы имеют свойство проявляться не

сразу, то точно установить источник и объем загрязнения довольно проблематично. Дополнительные трудности при применении этого подхода могут быть связаны и с особенностями самого процесса переговоров.

На основе идеи Р. Коуза разработан такой принципиально новый инструмент экологической политики, как рынок прав на загрязнение окружающей среды (Васильева, 2003). В этом случае часть прав собственности на окружающую среду, включая возможность ее загрязнения, передается фирмам в виде разрешений или лицензий, подлежащих купле-продаже на рынке. Экологически благополучная фирма с низкими природоохранными издержками не нуждается в части своих лицензий. Поэтому она продает их фирмам, которые не могут уменьшить загрязнение из-за высоких природоохранных издержек. В итоге суммарное загрязнение не меняется, а просто перераспределяются квоты между фирмами. Этот подход считается более выигрышным, чем налогообложение, так как нет необходимости учитывать индивидуально каждый источник загрязнения, рассчитывается лишь суммарный объем, и вмешательство государства ограничивается установлением оптимального качества окружающей среды.

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. Основой этого определения стал экосистемный уровень, на котором учитываются все взаимосвязи отдельных элементов природной среды. 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.

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. Под альтернативной стоимостью понимается ценность следующей наилучшей альтернативы, от которой приходится отказаться в случае выбора данной альтернативы. С экономической точки зрения решение экологических проблем заключается в оптимальном распределении окружающей среды между вариантами ее использования. В результате возникает проблема экономического выбора и формируется альтернативная стоимость, позволяющая дать экономическую оценку благам и услугам окружающей среды (Глушкова, Макар, 2003; Васильева, 2003).

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). Некото-

рые 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.). Преодоление этих недостатков потребовало модификации существующей СНС и разработки на ее основе интегрированной системы экономических и экологических счетов (ИСНС). На основе экологических счетов разрабатываются макроэкономические показатели, отражающие экологические параметры и позволяющие более адекватно учитывать и измерять уровень доходов, производства и благосостояния.

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 (ВВП, ВНП, национальный доход и др.) не отражают экологической деградации и за их ростом может скрываться истощение природных ресурсов и рост загрязнений. Тем самым создается возможность резкого ухудшения экономических показателей в будущем.

Сейчас ООН, Всемирным Банком, развитыми странами предпринимаются попытки «зеленого» измерения основных экономических показателей с учетом экологического фактора. Наиболее функциональный подход к теоретическому и практическому решению этой проблемы был первоначально разработан английскими учеными Д. Пирсом и Дж. Аткинсоном и затем развит в работах специалистов Всемирного Банка К. Гамильтона, Д. Диксона и др. Предлагаемый авторами новый взгляд на богатство народов в инструментальном плане воплощен в индексе «истинных сбережений» (*genuine savings*), являющемся агрегированным/интегральным индикатором экологически устойчивого развития. Этот показатель оценивает изменения природных ресурсов и качества окружающей среды в дополнение к произведенным активам. Истощение ресурсов измеряется как общие (рентные) доходы от извлечения ресурсов и сбора урожая. Для каждого вида ресурсов доходы подсчитываются как разница между стоимостью произведенной

продукции, измеренной в мировых ценах, и общими затратами на производство, включая амортизацию основных фондов, отдачу на капитал.

Ущерб от загрязнения 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 (Диксон и др., 2000).

«Истинные сбережения» ежегодно рассчитываются для всех стран мира и публикуются в справочниках Всемирного Банка «Индикаторы мирового развития» и уже используется некоторыми странами в качестве официальных показателей на макроуровне.

Включение оценки природно-ресурсного и экологического потенциала в состав макроэкономических показателей обусловит существенную корректировку сложившихся представлений об уровне социально-экономического развития стран и регионов, а также тех возможностей, которыми они располагают для обеспечения устойчивого благосостояния своих граждан. В нашей стране исследованию этой проблемы посвящены работы В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой, Г.Е. Меркуш и др.

В настоящее время, для того чтобы все участники рынка могли эффективно сопоставлять не только отраженную в цене себестоимость продукции разных компаний, но и «экологические издержки» ее производства, необходима системно организованная информация о воздействиях на окружающую среду и других формах потребления природного капитала. На решение этой проблемы направлена деятельность Международного социально-экологического союза (МСоЭС) и учрежденного им Независимого экологического рейтингового агентства (АНО «НЭРА»), которые с 2000 г. ведут оценку экологических издержек в крупнейших российских компаниях, отраслях и субъектах РФ, регулярно публикуя их экологические рейтинги. Ранжирование проводится по интегральному уровню экологических издержек на одного работника и динамике его изменения. Для интегральной оценки по официальной статистике рассчитываются шесть показателей (объемы использования воды, загрязненных стоков, выбросов транспортных и стационарных источников,

образования отходов, трансформации земель), которые затем нормируются на численность работников компании. Полученная оценка антропогенной нагрузки на среду, которая производится работниками каждой компании, выражается в процентах к среднероссийскому показателю таких воздействий. В результате показатели становятся однотипными и их можно корректно интегрировать (складывать) в среднюю оценку экологических издержек для шести показателей (Социально-экологическая ..., 2005).

Полученные оценки воздействия публикуются в справочнике «Социально-экологическая ответственность и рейтинги российского бизнеса». Материалы дополнены оценками уровня ассимиляционного потенциала природных экосистем к каждому типу воздействий. 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.

2. Место экологических прогнозов в системе управления

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.



Рис. 2.1. Взаимосвязь основных документов управления развитием региона

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 эффек-

тивности 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 2.1 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-эко-

логическую 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, ограничения, 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.

Уже в ходе разработки концепции начинается осуществление *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 определяются механизмы 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 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 разви-

тия, 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 изменения в биогенной нагрузке на море будут 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.

Среднесрочный прогноз экономических воздействий обычно осуществляется по отдельным компонентам окружающей среды. Как правило, оцениваются воздействия на:

- воздушную среду;
- водную среду (поверхностные воды);
- почвы и подземные воды;
- шумовую обстановку;
- экосистемы, растительный и животный мир;
- ландшафт;
- социально-экономическую обстановку, в том числе здоровье населения;
- культурно-историческое наследие.

Согласно Кантеру (Canter, 1996) общая схема прогнозирования воздействий, оценки значимости и разработки мер по уменьшению воздействий состоит из шести основных шагов (рис. 2.2).

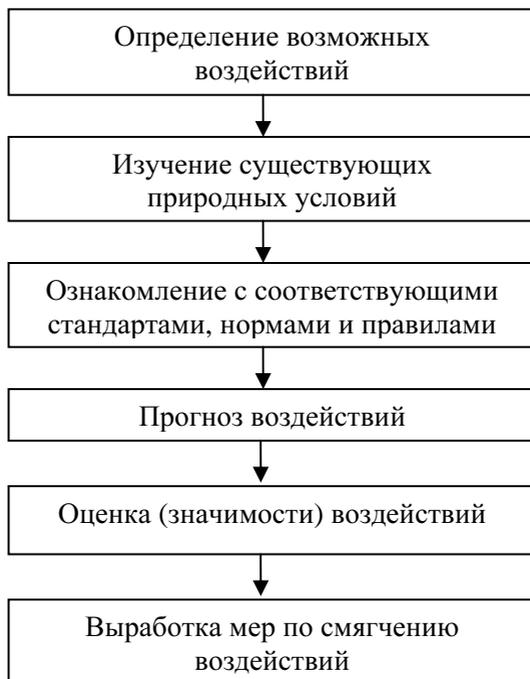


Рис. 2.2. Общая схема анализа и прогнозирования воздействий хозяйственной деятельности на окружающую среду (Canter, 1996)

Преимуществом данного подхода является то, что он позволяет оценить как физическую величину наблюдаемых изменений в состоянии окружающей среды, так и значимость влияния намечаемой хозяйственной деятельности. Основной недостаток заключается в том, что изучение и описание компонентов окружающей среды, на которые может повлиять намечаемая деятельность, так же как и прогноз изменений в окружающей среде осуществляется, как правило, с использованием специальных научных методов и требует привлечения специалистов-предметников.

Разработка прогноза развития в настоящее время должна проводиться в рамках официально признанной концепции устойчивого развития, и должна отражать реальную социо-эколого-экономическую ситуацию. В конкретной ситуации большинства регионов России мерами по достижению их устойчивого развития являются: во-первых, структурная перестройка экономики; во-вторых, решение социальных проблем и, в-третьих, улучшение качества окружающей среды (Моделирование..., 2001).

В связи с этим, возникают задачи нахождения баланса интересов между потребностями в развитии на территории тех или иных видов хозяйственной деятельности и необходимостью сохранения окружающей среды. Наиболее эффективным средством нахождения данного баланса является соответствующий экономико-математический инструментарий. В частности – структурные модели, дающие возможность исследовать различные сценарии развития, и оптимизационные модели, позволяющие осуществлять варианты расчетов включения экосоставляющей в региональную экономическую (хозяйственную) и инвестиционную деятельность.

3. Модели эколого-экономических систем

Как отмечалось выше, лишь в конце XX века, в связи с ростом антропогенного воздействия, экономисты различных школ и направлений стали уделять большое внимание проблемам оптимизации эколого-экономических взаимодействий. В 1972 г. на основе метода системной динамики Дж. Форрестера были построены первые так называемые «модели мира», направленные на разработку сценариев эколого-экономического развития (Форрестер, 1978). Для описания модели изменения экологической ситуации Дж. Форрестер использовал схему построения формализованных моделей нелинейных динамических процессов. Их недостатки заключались в чрезмерно высокой степени обобщения переменных, характеризующих процессы. Наиболее оптимистичные гипотезы развития в модели Дж. Форрестера связаны со стабилизацией уровня использования природных ресурсов и уровня загрязнения. В это же время Д. Медоуз и его сотрудники разработали модель, в которой

учитывали такие факторы, как удвоение начальных запасов или даже неограниченность природных ресурсов, контроль рождаемости, загрязнения среды, интенсификация сельского хозяйства. Однако, несмотря на такие довольно оптимистичные предпосылки, выводом своей работы Д.Г. Медоуз и его сотрудники, так же как и Форрестер, называют необходимость нулевого роста (Медоуз и др., 1994).

В работе М.Месаровича и Е.Пестеля (второй доклад Римскому клубу в 1974 г.) (Месарович, 1994) делается попытка преодоления понимания мира как гомогенной системы путем деления его на десять регионов и учета в каждом регионе физических, экономических, социальных и других особенностей. Основной причиной экологического кризиса авторы считают экономический разрыв между развитыми и слаборазвитыми странами. Рассматриваются четыре варианта развития мира в ближайшие пятьдесят лет. Первый вариант, сохранение настоящих тенденций, в перспективе ведет к возрастанию разрыва. Остальные варианты направлены на незамедлительную помощь слаборазвитым странам со стороны развитых стран и различаются между собой размерами средств, направляемых на сокращение разрыва (Месарович, 1994). Эта модель получила название «органический рост».

Определению влияния хозяйственной деятельности на глобальные биосферные процессы посвящены также 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 этом направлении необходимо отметить работы В.Г. Горшкова (Горшков, 1982, 1995), в которых на примере изучения влияния хозяйственной деятельности на углеродный цикл выяснены условия сохранения устойчивости биосферы. Основное значение работы заключается в доказательстве того, что устойчивость биосферы зависит от устойчивости биогеохимических циклов. Эта устойчивость может быть нарушена как изъятием химических элементов из биогеохимических циклов, так и выбросом их в биосферу в качестве отходов промышленного производства. Однако В.Г. Горшковым не рассматривается механизм функционирования экономики, обеспечивающий устойчивость биогеохимических циклов.

В настоящее время интенсивно разрабатываются глобальные модели для прогнозирования климатических изменений, связанных с парниковым эффектом (Alcamo, 1994 и др.).

Существует множество моделей материальных потоков между экономической системой и окружающей средой. Например, уравнение материального баланса такого вида (Васильева, 2003):

$$R_p + R_c = Q + \sum W_i - \sum r_i ,$$

где: R_p – объем производственных ресурсов (минерально-сырьевые, водные, земельные, рекреационные и др.); R_c – объем ресурсов, непосредственно используемых для потребления (водоемы и лес для рекреационных целей, рыбные ресурсы как объект спортивной ловли и т.п.); Q – выпуск продукции (в натуральных показателях); W_i – первичные отходы всех сфер экономики; r_i – сумма рециркулированных отходов.

Важнейшим требованием современности является минимизация остаточных отходов ($\sum W_i - \sum r_i$) $\Rightarrow \min$. Для этого в свою очередь необходимо соблюдение условия ($R_p + R_c$) $\Rightarrow \min$. Возможны два пути реализации этого условия:

- 1) $Q + \sum W_i - \sum r_i \Rightarrow \min$
- 2) $Q/(R_p + R_c) \Rightarrow \max$

Первое условие описывает ситуацию, характерную для стран с незначительной степенью экологизации производства, к числу которых относится и Россия (Васильева, 2003). Смысл второго условия заключается в том, что достигнутые уровни производства сохраняются только в случае сокращения объема экономического использования первичных ресурсов. Это в свою очередь требует экологизации производства и потребления, а также организации рециркуляции отходов. Такая модель взаимодействия между экономической системой и окружающей средой характерна для высокоразвитых стран.

Одной из наиболее популярных является модель Д. Пирса и К. Тернера, которая показывает обратные связи в эколого-экономической системе. Окружающая среда является источником природных ресурсов и экологических благ, а также служит для поглощения и размещения отходов производства и потребления. Если ассимиля-

ционный потенциал окружающей среды превышает объем остаточных отходов (с учетом рециркуляции), то качество окружающей среды не ухудшается. В противоположной ситуации качество окружающей среды ухудшается и уменьшается ее способность снабжать ресурсами производство и потребление (Васильева, 2003).

Первая межотраслевая модель, учитывающая экологический фактор, была разработана В.В. Леонтьевым и Д. Фордом (Леонтьев, Форд, 1972). В.В. Леонтьев представляет межотраслевой баланс как совокупность потоков товаров и услуг, отображаемых в таблице «затраты-выпуск», и характеризующих основные структурные изменения отдельных секторов экономики. Балансовый метод позволяет устанавливать и увязывать в хозяйственной деятельности натурально-вещественные и стоимостные пропорции. При этом должны выполняться законы сохранения в балансовой форме, включая потоки природного сырья и материалов, загрязняющих веществ и т.п. Основой идеи межотраслевого баланса в настоящее время является возможность раскрыть наиболее детально межотраслевые связи, складывающиеся в процессе воспроизводства. Это позволяет показать, с одной стороны, как и в каких отраслях используется продукция каждой отрасли производства, а с другой стороны, выявить структуру производственных затрат и вновь созданной стоимости. Модель межотраслевого баланса с учетом экологического фактора первоначально была построена на предположении о том, что затраты на очистные мероприятия прямо пропорциональны массе обрабатываемых загрязнителей, т.е. стоимость обезвреживания единицы каждого загрязнителя постоянна. Собственно природные процессы, которые описывают динамику экосистемы, в модели не описываются или описываются в значительно меньшей степени, чем производственно-экономическая деятельность (Рюмина, 1980). Используя эту модель для вариационных расчетов можно получить информацию на макроуровне относительно отраслевой структуры затрат на охрану окружающей среды, их влияния на другие показатели.

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; Гурман, 1995; Константинов, 1978; Модель ..., 1985; Рюмина, 1991). Регион рассматривается как открытая система, состоящая из трех взаимодействующих подсистем: экономики, природы и социума. В качестве исходной модели используется однопродуктовая модель экономики, описываемая балансовыми уравнениями типа Леонтьева-Форда. Модель дополнена уравнениями, описывающими динамику природных ресурсов с учетом эффектов потребления, самовосстановления и воспроизводства. Восстановление природного ресурса осуществляется путем создания для этой цели специальных промышленных мощностей.

Эта модель может использоваться для сравнения различных вариантов развития региона, поиска оптимального варианта, нормирования антропогенных нагрузок, исходя из допустимых отклонений состояния природы от естественного. Процедура моделирования включает следующие этапы: выбор набора показателей состояния региона; идентификация параметров модели; разработка сценариев развития и их представление в терминах модели; сравнительный анализ сценариев и выбор наилучшего в качестве рекомендуемой стратегии развития региона.

Модель построена на предположении неограниченности природных ресурсов, что возможно лишь при слабом влиянии экономики на окружающую среду. Для снятия этого ограничения вводится некоторый показатель, описывающий ненарушенное состояние природных ресурсов. Кроме того, допустимое негативное воздействие на природу является ограничением, задаваемым извне. Метод нахождения этого ограничения неизвестен.

Система моделей природно-экономического комплекса (СМПЭК) «Область» представляет собой совокупность математических соотношений, описывающих динамику сильно агрегированных небиологических и биологических ресурсов области, зависящих от воздействий экономики и человека. СМПЭК состоит из нескольких функциональных блоков моделей: межотраслевого баланса, динамики природных ресурсов, поиска невозмущенных со-

стояний, генерирования рядов абсолютных запасов ресурсов, принятия управленческих решений. Модель позволяет прогнозировать изменения показателей окружающей среды и запасов ресурсов под влиянием хозяйственной деятельности, анализировать результаты прогнозирования каждого природного ресурса и, сравнивая различные приемлемые сценарии развития природно-экономического комплекса, выбирать оптимальный вариант. Модель использовалась для анализа природно-экономического комплекса Томской области и подробно описана в работе (Приложение ..., 1988).

Эколого-экономическая модель «Регион» (Модели ..., 1981, Моделирование ..., 2001) также позволяет оптимизировать программы развития по критериям, связывающим эффективность экономики и состояние природной среды. Результаты практического использования данной модели на примере Байкальского региона подробно изложены в работе (Эколого-экономическая ..., 1990). В дальнейшем эта модель была расширена до социо-эколого-экономической модели (Гурман, 1996) и дополнена блоком, отражающим инновационные процессы (Моделирование ..., 2001). Расширение модели инновационным блоком обосновывается тем, что, во-первых, экономическая подсистема выделяет средства на создание и внедрение новых технологий, а во-вторых, в ответ на это, меняются параметры самой экономической подсистемы и эффективность ее функционирования. Если найти способ формализации этих явлений, то модель позволит определить направления инновационного процесса в регионе, которые лучше всего способствовали бы и развитию экономики, и улучшению состояния окружающей среды (Абрамян и др., 2002).

Для исследования проблемы компромисса между экономикой и окружающей средой используется также модель поверхности трансформации, в которой качество окружающей среды является независимой переменной. Для построения модели используется система уравнений, описывающих двухсекторную экономику, в которой выпуск продукции сопровождается загрязнением окружающей среды и ухудшением ее качества. В эту систему входят следующие функции: функция эмиссий (загрязнений), обусловленных производством продукции; производственная функция; функция эмиссий, обусловленных вводимыми факторами производства;

функция природоохранной деятельности; функция диффузии; функция эколого-экономического ущерба; ресурсное ограничение, лимитирующее возможности производства и природоохранной деятельности.

Оптимальное распределение ресурсов между двумя секторами экономики и охраной окружающей среды может быть изображено графически с помощью модели поверхности трансформации и математически путем решения оптимизационной задачи для рассмотренной системы уравнений с учетом ресурсного ограничения (Васильева, 2003). Модель позволяет определить границы производственных возможностей и эффективного распределения ресурсов между секторами экономики и охраной окружающей среды, но только при условии определенных допущений (Васильева, 2003). К тому же на практике измерить эколого-экономический ущерб и качество окружающей среды довольно трудно.

Еще один подход к соизмерению природных и производственных потенциалов основан на предположениях о связи энергетики производства и энергетики природы (Акимова, Хаскин, 1998; Акимова и др., 2005). Поскольку основные хозяйственные затраты энергии идут на добычу, транспортировку и переработку сырья, а соответствующие материальные потоки в процессе производства распределяются между продукцией и отходами в соотношении около 1:9, то делается вывод о существовании достаточно тесной связи между энергопотреблением и загрязнением окружающей среды (Акимова, 2005). Так, Д. Гейтс утверждает, что «все взаимодействия можно свести к обмену энергией» (Гейтс, 1976). Вводится показатель, отражающий соотношение между массой образующихся вредных выбросов (M_i , кг/год) с учетом их токсичности (T_i , усл. кг/кг) и расходом энергии (потреблением топлива) в каком-либо технологическом процессе или их совокупности (E , т усл. топлива) – контаминационный эквивалент энергии ($KЭЭ$, K^3 , усл. кг/ту.т).

$KЭЭ$ могут быть рассчитаны на основании данных технологических материальных балансов и инвентаризации источников выбросов. Общая техногенная нагрузка (Q_t) оценивается по формуле:

$$Q_t = \sum K_{Эi} E_i ,$$

где E_i – потребление энергии в i -той технологии (отрасли); $K_{Эi}$ – $KЭЭ$ для данной технологии (отрасли).

Таким образом, зная потребление энергии отраслями на конкретной территории, можно определить суммарную техногенную нагрузку на природную среду. Благодаря своей простоте энергетический подход к регламентации хозяйственной деятельности в последнее время получает все более широкое распространение. Среди недостатков можно отметить трудности, связанные с получением данных.

Подходы, основанные на определении уровня экологической техноемкости территории (ЭТТ), описаны в работах (Акимова и др., 2005; Моисеенкова, Хаскин, 1992; Куклин и др., 2005; Белик, Никулина, 2006) и сводятся к расчету фактической интегральной экологической техногенной нагрузки на определенную территорию и сопоставлению ее с предельно допустимой. Последняя устанавливается как некий норматив и в значительной степени зависит от мнения экспертов или утверждающих органов. Количественно уровень техноемкости определяется отдельно по каждой выделенной среде (воздух, вода, почва).

При определении взаимодействия экономических и экологических показателей большое внимание уделяется также оценке экономического ущерба от экологических нарушений (Глушкова, Маркар, 2003; Моделирование..., 2001). Эту оценку необходимо учитывать при определении эффективности любой экономической деятельности, при отборе инвестиционных проектов, при реализации экологического страхования и т.д. Для оценки экономического ущерба от загрязнения используется методы прямого счета и косвенная оценка. К методам прямого счета относятся:

- *метод контрольных районов*, базирующийся на сравнении показателей загрязненного и условно чистого районов. В его основе лежит предположение о том, что показатели состояния реципиентов в исследуемом и контрольном районах зависят только от степени воздействия загрязнения. Поэтому выбор контрольного района осуществляется таким образом, чтобы показатели состояния реципиентов в нем (например, половозрастная структура населения, качество окружающей среды, структура экономики и т.д.) были равными или близкими по значению с аналогичными показателями в исследуемом районе. Такой контрольный район на практике найти

очень трудно. Поэтому при расчете ущерба необходимо определить коэффициенты, которые позволили бы скорректировать полученное значение ущерба в соответствии с реальным положением. Для представления процесса формирования ущерба в модели рассматривают два вида взаимодействия: зависимость параметров окружающей среды от экономической деятельности и зависимость результатов экономической деятельности от состояния окружающей среды;

- *метод аналитических зависимостей* основан на получении математических зависимостей (например, при помощи многофакторного анализа) между показателями состояния соответствующей экономической системы и уровнем загрязнения окружающей среды. В результате получаются уравнения регрессии, характеризующие закон изменения исследуемого признака в зависимости от значения влияющих факторов. Метод связан с необходимостью сбора и обработки большого массива исходной информации. На основе машинных имитаций по одному району, закладывая разные объемы загрязнения, можно статистически вывести зависимость ущерба от основных характеристик региона (валового выпуска продукции, численности населения и др.);
- *комбинированный метод* основан на сочетании методов контрольных районов и аналитических зависимостей, используется в случаях, когда ни один из двух методов не может быть реализован четко и полностью для всех составляющих экономического ущерба.

Косвенный метод оценки экономического ущерба основан на принципе перенесения на конкретный исследуемый объект общих закономерностей и предполагает использование системы нормативных показателей, фиксирующих зависимость негативных последствий от основных ущербобразующих факторов. В связи с этим метод более применим к негативным процессам, имеющим массовый характер.

Несмотря на постоянное совершенствование существующие на данный момент методы оценки экономического ущерба имеют много недостатков. Расчеты требуют большого количества исходных данных, многие из которых либо практически не фиксируют-

ся, либо просто не поддаются формализации. Кроме того, некоторые виды ущерба (социального, морального, эстетического) не имеют стоимостной оценки, поэтому расчетный экономический ущерб всегда является заниженным.

Для описания взаимосвязей экономических и экологических показателей широко используются регрессионный, корреляционный и факторный анализ. Пользуясь методами корреляционно-регрессионного анализа, можно измерить тесноту связей показателей с помощью коэффициента корреляции. При этом обнаруживаются связи, различные по силе (сильные, слабые, умеренные и др.) и различные по направлению (прямые, обратные). Если связи окажутся существенными, то целесообразно будет найти их математическое выражение в виде регрессионной модели и оценить статистическую значимость модели. В экономике значимое уравнение используется, как правило, для прогнозирования изучаемого явления или показателя (Гринин, 2003).

Факторный анализ представляет собой совокупность методов многомерного статистического анализа, применяемых для изучения взаимосвязей между значениями переменных. С помощью факторного анализа возможно выявление скрытых переменных факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей (корреляций) между наблюдаемыми переменными.

Многие оптимизационные задачи заключаются в поиске чисто технологических оптимумов и не связаны с процессами распространения загрязнителей в биосфере. Типичная постановка такой задачи приведена в работе (Коняхин и др., 1975).

На основе экономической модели функционирования предприятия в условиях рынка, а также ресурсной модели локальной социально-экономической системы разработаны: модель стратегии предотвращения ущерба; модель эко-устойчивой производственной деятельности промышленного предприятия; модель социально-экономической системы в реальном времени, реализующая принцип «загрязнитель платит» без учета деградации окружающей среды; разомкнутая модель социально-экономической системы, учитывающая некомпенсированное загрязнение (Косякова, 2004; 2006).

Среди современных исследований в области математического моделирования эколого-экономических взаимодействий широко

известны работы С.Н. Бобылева, К.Ф. Гофмана, В.И. Гурмана, В.И. Денисова, С.В. Дубовского, В.В. Лучшевой, И. Н. Ляшенко, Л.Г. Мельника, М.В. Михалевича, Е.В. Рюминой, 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.

Практическое использование этих моделей позволяет решить такие задачи, как: определение объемов совокупного регионального выпуска продукции (услуг) в результате реализации инвестиционных проектов и сопутствующих им объемов загрязнения окружающей среды; определение структуры затрат отраслей (подотраслей) региональной экономики, направляемых на устранение загрязнений окружающей среды, обусловленных развитием предприятий этих отраслей на территории региона; определение соотношения объемов производства продукции, получаемой в результате реализации инвестиционных проектов (программ) и общих затрат, необходимых для предотвращения загрязнений, вызванных этими производствами и т.д. (Выбор ..., 2007).

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.

4. Концепция функций загрязнения¹

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,

¹ Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а

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.

Воздействие структурных сдвигов в экономике на окружающую среду анализируется на основе моделей в работах А.Лотова, А.Петрова, И.Поспелова, Н.Оленева и других. 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 долгосрочного 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.

Среди работ по моделированию эколого-экономических процессов наиболее полными являются работы В.Гурмана и Н.Рюминой, которые охватывают различные стороны процесса, включая и инновационную составляющую. 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.

Исследование основано на информации, имеющейся в статистических сборниках по РФ и регионам (Регионы ..., 2008; Республика ..., 2008; Россия ..., 2008; Охрана ..., 2008; Основные ...,

2008). Изучаются экологические показатели, характеризующие состояние природной среды и влияние развития экономики на нее – выбросы 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:

$$Z = \sum_j Z_j \frac{P_j}{Np_j}, \quad (4.1)$$

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 (Воскобойников, 2004). 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 природных 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 распределения инвестиций по секторам. Агрегирование может проводиться по простым или комплексным показателям в зависимости от поставленной задачи и сектора, построенные по разным 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:

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), t), \quad (4.2)$$

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 яв-

ляется 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 γ функции F , если она удовлетворяет следующим условиям:

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = \lambda^\gamma F(U_1(t), U_2(t), t). \quad (4.3)$$

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

$$F(\lambda U_1(t), \lambda U_2(t), t) = F(U_1(t), U_2(t), t). \quad (4.4)$$

Вводится понятие факторных эластичностей, являющихся логарифмическими производными ФЗ по факторам. Параметры ε_1 и ε_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 возрастет на $\varepsilon_1\%$, а при увеличении инвестиций на охрану окружающей среды (или иного природоохранного показателя) на 1% – изменится на $\varepsilon_2\%$, точнее уменьшается, поскольку эластичность ε_2 отрицательна.

Вводится понятие нейтрального экологического прогресса, который связан с изменением уровня загрязнения, зависящим от времени

или других факторов. Основное влияние на нейтральный экологический прогресс оказывают структурные сдвиги, для оценки степени воздействия которых для двухфакторной ФЗ построены уравнения

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \sum_i \varepsilon_{1,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ \varepsilon_2 &= \sum_i \varepsilon_{2,i} \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)}, \\ p &= \sum_i p_i \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} + \varepsilon_0,\end{aligned}\tag{4.5}$$

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

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:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t),\tag{4.6}$$

где μ и η – константы.

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 (4.6) представлялась в логарифмическом виде или строилась подобная ей в темпах прироста. Например, зависимость показателей, характеризующих воздействие экономики на изменение состояния окружающей среды – темпа прироста загрязнений I_{pol} , от темпа прироста ВВП $IGRP$ и темпа прироста вложений в охрану окружающей среды IEF выглядит следующим образом:

$$I_{pol} = \mu \times IGRP - \eta \times IEF + p, \quad (4.7)$$

где параметры μ и η характеризуют степень влияния факторов.

Наиболее проста и удобна линейная функция

$$Z(t) = B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t), \quad (4.8)$$

где $B(t)$, $C(t)$ и $D(t)$ зависят от времени.

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:

$$\Delta Z(t) = B(t) \times \Delta U_1(t) + C(t) \times \Delta U_2(t) + D(t). \quad (4.9)$$

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.

Кроме функций (4.3)-(4.9) рассматривались и более сложные с лимитирующим фактором, которые оказывались близки к реальности в отдельные периоды:

$$Z(t) = A(t) \times \min\{a \times U^{\alpha}_1(t), b \times U^{\beta}_2(t)\}, \quad (4.10)$$

где α и β константы, часто для упрощения принимается, что параметры α и β равны единице.

В функции (4.10) 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, из которых расчеты проводились по следующим:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) / U_2(t)), \quad (4.11)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp\left(\frac{a}{U_1(t)} + \frac{b}{U_2(t)}\right), \quad (4.12)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) + b \times U_2(t)), \quad (4.13)$$

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times \exp(a \times U_1(t) \times U_2(t)), \quad (4.14)$$

где a и b константы.

Факторные эластичности данных ФЗ зависят от показателей и их соотношений и могут меняться достаточно значительно. Функция (4.11) однородна, у функции (4.12) при росте показателей факторные эластичности приближаются к параметрам μ и η , у функ-

ции (4.13) факторные эластичности линейны по показателям. Возможны и другие варианты функций.

5. Исследование функций загрязнения²

Определение основных характеристик позволит более детально рассмотреть исследуемый процесс.

Определение 1. Отношение предельной производительности i -го ресурса M_i к его средней производительности A_i называется частной эластичностью загрязнения ε_i по i -му ресурсу (эластичность по i фактору).

$$\varepsilon_i = \frac{M_i}{A_i} = \frac{x_i}{F(x)} \times \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} . \quad (5.1)$$

Определение 2. Средней отдачей i -го фактора (среднее загрязнение по i -му ресурсу) A_i называется отношение загрязнения к объему i -ого фактора.

$$A_i = \frac{F(x)}{x_i} . \quad (5.2)$$

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

$$M_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} . \quad (5.3)$$

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

$$A_1 = \frac{Z(t)}{U_1(t)} = \frac{F(U_1(t), U_2(t), t)}{U_1(t)} , \quad (5.4)$$

² Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а

$$A_2 = \frac{Z(t)}{U_2(t)} = \frac{F(U_1(t), U_2(t), t)}{U_2(t)}, \quad (5.5)$$

а предельная отдача по факторам:

$$M_1 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), t)}{\partial U_1(t)}, \quad (5.6)$$

$$M_2 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), t)}{\partial U_2(t)}. \quad (5.7)$$

Тогда по определению 1 факторные эластичности равны:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), t)}{\partial U_1(t)} \times \frac{U_1(t)}{F(U_1(t), U_2(t), t)}, \quad (5.8)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial F(U_1(t), U_2(t), t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{F(U_1(t), U_2(t), t)}. \quad (5.9)$$

Определение 4. Предельной нормой компенсации i -го ресурса (фактора загрязнения) j -м называется выражение:

$$Q_{ij} = -\frac{dx_j}{dx_i} (i, j = 1, 2) \quad \text{при постоянном уровне загрязнения } Z. \quad (5.10)$$

где: i – номер компенсируемого ресурса, j – номер компенсирующего ресурса.

Непосредственно проверяется, что для двухфакторной функции справедливо равенство:

$$Q_{12} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{x_2}{x_1}. \quad (5.11)$$

Исходя из неравенств (5.11), (5.9), (5.8) получаем следующее выражение для предельной нормы компенсации:

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

Определим факторные эластичности для представленных ранее функций. Наиболее проста и удобна *линейная функция*. Определе-

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

Исходя из (5.8) первая факторная эластичность для (4.8) будет иметь следующий вид:

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

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

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

$$\varepsilon_1 = B(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{B(t) \times U_1(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t)}. \quad (5.12)$$

Соответственно из (5.9) следует, что вторая факторная эластичность для (4.8) будет иметь следующий вид:

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

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

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

$$\varepsilon_2 = C(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{C(t) \times U_2(t)}{B(t) \times U_1(t) + C(t) \times U_2(t) + D(t)} \quad (5.13)$$

Кроме простых функций рассматривались и более сложные с лимитирующим фактором. Исходя из (5.8), первая факторная эластичность для функции (4.10) будет иметь следующий вид:

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

$$\begin{aligned}
M_1 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{\partial(A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\})}{\partial U_1(t)} = \\
&= \begin{cases} 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) < a \times U_1^\alpha \\ \frac{\partial(a \times A(t) \times U_1^\alpha(t))}{\partial(U_1(t))} = a \times A(t) \times \alpha \times U_1^{\alpha-1} \end{cases} \\
\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\} &\Rightarrow \begin{cases} \min(a \times U_1(t)) = 1 \\ \min(b \times U_2(t)) = 0 \end{cases}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \alpha \times U_1^{\alpha-1} \times a \times A(t) \times \frac{U_1(t)}{Z(t)} = \frac{\alpha \times a \times A(t) \times U_1(t) \times U_1^{\alpha-1}(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\}} = \\
&= \frac{\alpha \times a \times U_1^\alpha(t)}{\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\}} = \alpha
\end{aligned}$$

Исходя из (5.9), вторая факторная эластичность для функции (4.10) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} \\
M_2 &= \frac{\partial Z(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{\partial(A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\})}{\partial U_2(t)} = \\
&= \frac{\partial(b \times A(t) \times U_2^\beta(t))}{\partial(U_2(t))} = b \times A(t) \times \beta \times U_2^{\beta-1} \\
\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\} &\Rightarrow \begin{cases} \min(a \times U_1^\alpha(t)) = 0 \\ \min(b \times U_2^\beta(t)) = 1 \end{cases}
\end{aligned}$$

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

$$\varepsilon_2 = b \times A(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{\beta \times b \times A(t) \times U_2(t) \times U_2^{\beta-1}(t)}{A(t) \times \min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\}} = \begin{cases} 0, \text{ если } b \times U_2^\beta(t) > a \times U_1^\alpha \\ \frac{\beta \times b \times U_2(t) \times U_2^{\beta-1}}{\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\}} \end{cases}$$

Рассмотрим функцию (4.6). Исходя из (5.8), первая факторная эластичность для нее будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Исходя из (5.9), вторая факторная эластичность для функции (4.6) будет иметь следующий вид:

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

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

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

$$\varepsilon_2 = -\eta \times A(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times \frac{U_2(t)}{Z(t)} = \frac{-\eta \times A(t) \times U_2^{-\eta-1}(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2(t)}{A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t)} = -\eta$$

Теперь рассмотрим функции с дополнительными параметрами, для функции (4.11) первая факторная эластичность будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Исходя из (5.9), вторая факторная эластичность для функции (4.11) будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Теперь рассмотрим следующую функцию (4.12), для нее первая факторная эластичность, исходя из (5.8), будет иметь следующий вид:

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

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

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

Исходя из (5.9), вторая факторная эластичность для функции (4.12) будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Теперь рассмотрим следующую функцию (4.13), для нее первая факторная эластичность, исходя из (5.8), будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Исходя из (5.9), вторая факторная эластичность для функции (4.12) будет иметь следующий вид:

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

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

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

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

Другим показателем, который может использоваться при анализе результатов расчетов является эластичность компенсации, которая связана с легкостью или сложностью компенсации изменения одного из факторов другим для сохранения неизменного уровня

загрязнений. Фактически это соотношение затрат компенсирующих друг друга факторов, которое определяет, на какую величину надо увеличить (уменьшить) затраты одного фактора при увеличении (снижении) затрат другого на единицу.

Изокванта – кривая, представляющая собой бесконечное множество комбинаций факторов загрязнения (ресурсов), обеспечивающих одинаковый уровень загрязнения (рис. 5.1)

$$f(U_1, U_2) = Z_0, Z_0 = \text{const.}$$

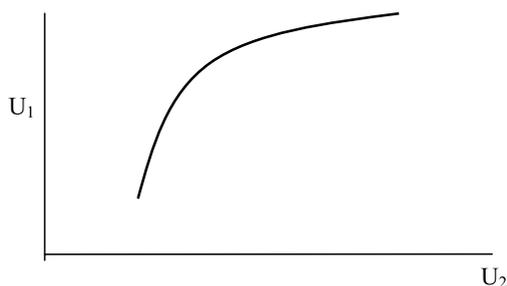


Рис. 5.1. Изокванта для функции загрязнений

Наклон изоквант характеризует *MRI* (marginal rate of indemnification) компенсация одного ресурса другим. *MRI* измеряет пропорцию, в которой придется компенсировать один фактор другим, чтобы оставить загрязнение без изменений.

$$MRI_{1,2} = - \left. \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \right|_{Z=\text{const}}$$

или для непрерывного случая

$$MRI_{1,2} = - \left. \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \right|_{Z=\text{const}} .$$

или немного в других обозначениях:

$$MRI_{U_1, U_2} = - \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \quad \text{или для непрерывного случая} \quad MRI_{U_1, U_2} = - \frac{\partial U_1}{\partial U_2} .$$

Рассмотрим изменение используемых факторов:

$$dZ = \frac{\partial f}{\partial U_2} dU_2 + \frac{\partial f}{\partial U_1} dU_1 = MP_2 \cdot dU_2 + MP_1 \cdot dU_1.$$

Вдоль изокванты $dZ=0$, поэтому $MRI = -\frac{\partial U_1}{\partial U_2} = \frac{MP_1}{MP_2}$.

По мере увеличения количества первого фактора и соответствующего изменения количества второго фактора, чтобы остаться на той же самой изокванте, технологическая норма компенсации убывает. Убывание MRI означает, что наклон изокванты должен убывать по абсолютной величине по мере движения вдоль изокванты в направлении увеличения первого фактора и наоборот (рис. 5.2).

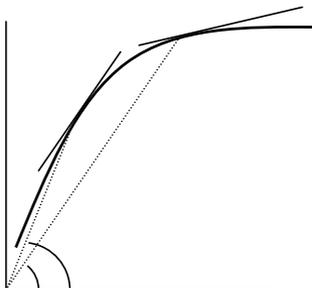


Рис. 5.2. Изокванта для функции загрязнений при росте первого фактора

Кривизна изокванты характеризует возможность (легкость) взаимной компенсации факторов загрязнения при сохранении одного и того же количества загрязнения, определим эластичность компенсации θ

$$\theta \approx \frac{\Delta \left(\frac{U_1}{U_2} \right) / \frac{U_1}{U_2}}{\frac{\Delta MRI}{MRI}} = \frac{\Delta \left(\frac{U_1}{U_2} \right)}{\Delta MRI} \cdot \frac{MRI}{\frac{U_1}{U_2}}$$

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_1}{U_2} \right)}{d \ln MRI}, \text{ где } MRI \geq 0.$$

Эластичность компенсации θ показывает, насколько изменится соотношение факторов загрязнения при изменении MRI на 1% при сохранении объема загрязнения. Т.к. вдоль изокванты U_1/U_2 и MRI изменяются в одном направлении и величина θ всегда положительна. MRI меняется вдоль изокванты, чем сильнее меняется наклон изокванты (MRI) из одной точки в другую, тем сложнее компенсировать один фактор другим, компенсировать ростом инвестиций в охрану окружающей среды потенциальный рост загрязнений за счет роста производства.

Таким образом, для определения эластичности компенсации в рамках ФЗ справедлива формула:

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_1(t)}{U_2(t)} \right)}{d \ln MRI}, \text{ где } MRI \geq 0, \text{ где}$$

$$MRI_{U_1(t), U_2(t)} = - \frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)}$$

Проанализируем эластичность компенсации для исследуемых функций. Рассмотрим наиболее простой случай – линейную функцию. Эластичность компенсации U_1 по отношению U_2 будет:

$$\text{Тогда по } MRI_{U_1(t), U_2(t)} = - \frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)}$$

Выражаем UI через оставшиеся показатели ФЗ

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

$$MRI_{U_1(t), U_2(t)} = - \frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)} = \frac{C(t)}{B(t)}$$

В результате,

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_1(t)}{U_2(t)} \right)}{d \ln MRTS} = \frac{U_2 / U_1}{d \ln (C(t) / B(t))} = \frac{U_2 / U_1}{0} \Rightarrow \infty$$

Эластичность компенсации U_2 по отношению U_1 будет:

Тогда по $MRI_{U_1(t), U_2(t)} = -\frac{\partial U_2(t)}{\partial U_1(t)}$

Выражаем U_2 через оставшиеся показатели ФЗ

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

$$MRI_{U_1(t), U_2(t)} = -\frac{\partial U_2(t)}{\partial U_1(t)} = \frac{B(t)}{C(t)}$$

В результате, эластичность компенсации будет следующей:

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_2(t)}{U_1(t)} \right)}{d \ln MRTS} = \frac{U_1 / U_2}{d \ln (B(t) / C(t))} = \frac{U_1 / U_2}{0} \Rightarrow \infty$$

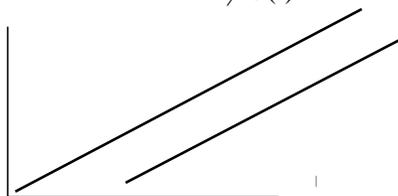


Рис. 5.3. Изокванта для линейной функции загрязнений

В результате линейная функция имеет нулевую кривизну и, соответственно, бесконечную эластичность компенсации (рис. 5.3). Все изокванты такой функции представляют собой параллельные прямые линии с наклоном $-C(t)/B(t)$ $\{B(t)/C(t)\}$. Поскольку MRI совсем не меняется при изменении отношения $U_1(t)/U_2(t)$ $\{U_2(t)/U_1(t)\}$, то эластичность компенсации равна бесконечности. Таким образом, линейная изокванта отражает совершенную компенсируемость факторов без ограничений.

Кроме линейных функций рассматривались и более сложные с лимитирующим фактором (4.10). Для них эластичность компенсации определяется по тем же правилам:

Тогда по $MRI_{U_1(t), U_2(t)} = -\frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)}$

Выражаем U_1 через оставшиеся показатели ФЗ

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

$$\min\{a \times U_1^\alpha(t), b \times U_2^\beta(t)\} = \begin{cases} a \times U_1^\alpha(t) \\ b \times U_2^\beta(t) \end{cases}$$

$$MRI_{U_1(t), U_2(t)} = -\frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)} = -\begin{cases} a \times U_1^\alpha(t) = 0 \\ b \times U_2^\beta(t) = b \end{cases}$$

В результате,

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_1(t)}{U_2(t)} \right)}{d \ln MRI} = \frac{U_2 / U_1}{d \ln \left(\begin{cases} a \times U_1^\alpha(t) = 0 \\ b \times U_2^\beta(t) = b \end{cases} \right)} = \frac{U_2 / U_1}{0} \Rightarrow 0$$

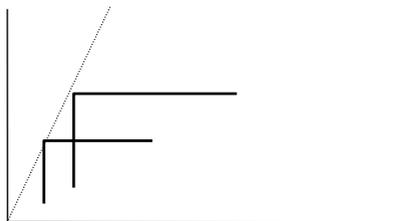


Рис. 5.4. Изокванты для функции загрязнений с некомпенсируемыми факторами

Аналогично и для случая:

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

где $a, b > 0$.

В результате все изокванты такой функции будут находиться на луче, где отношение факторов равно b/a . Находиться в другой точке на изокванте неэффективно, т.к. тот же объем загрязнений при существующем объеме загрязняющего фактора будет при меньшем уровне природоохранного фактора (при существующем уровне природоохранного фактора можно иметь более высокий уровень загрязняющего фактора). Поэтому в случае жесткой дополняемости ресурсов, когда U_1 и U_2 комбинируются в единственно возможном соотношении, MRI равна нулю, эластичность компенсации факторов равна нулю.

Рассмотрим функцию (4.6), которая определяет характеристики функций (4.11)-(4.14). Выражаем U_1 через оставшиеся показатели ФЗ

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

Тогда

$$U_1(t) = \sqrt[\mu]{\frac{Z(t)}{A(t)} \times U_2^\eta(t)} = \left(\frac{Z(t)}{A(t)} \times U_2^\eta(t) \right)^{\frac{1}{\mu}} = X(t) \times U_2^{\frac{\eta}{\mu}}(t),$$

где $X(t) = \left(\frac{Z(t)}{A(t)} \right)^{\frac{1}{\mu}}$

$$MRI_{U_1(t), U_2(t)} = -\frac{\partial U_1(t)}{\partial U_2(t)} = -X(t) \times U_2^{\frac{\eta}{\mu}-1}(t)$$

В результате получаем, что эластичность компенсации равна единице

$$\theta = \frac{d \ln \left(\frac{U_1(t)}{U_2(t)} \right)}{d \ln MRI} = 1$$

6. Построение функций загрязнения по РФ³

6.1. Развитие экономики РФ и изменение экологической ситуации

С конца 80-х годов в РФ начались рыночные реформы, которые привели к значительным изменениям экономики России. Была проведена либерализация цен, обменного курса, внешней и внутренней торговли. В соответствии с бюджетной программой введены новые налоги и сокращена расходная часть бюджета. ЦБ РФ начал осуществлять жесткую кредитную политику. Несмотря на решительную либерализацию цен и жесткие бюджетные и кредитно-денежные меры, направленные на стабилизацию, в секторе госпредприятий не произошло существенных изменений.

Начавшийся в 1991 г. спад экономики стал ускоряться, резко упали доходы населения, и стал сжиматься внутренний рынок. Была проведена приватизация, стала осуществляться антимонопольная политика, развивалось законодательство, был принят Налоговый кодекс, а затем и Бюджетный кодекс. 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. 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. Соответственно изменились структура экспорта и структура экономики. Уже в 1995 г. выросло производство в металлургии и химико-лесном комплексе.

Нерешенные 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,

³ Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а

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.

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., причем \$450 млрд. из них приходилось на последние четыре года. В итоге РФ оставалась с сырьевой, монополизированной экономикой, в которой потеряно доверие населения к государству. Экспортно-сырьевая зависимость российской экономики не снизилась, скорее даже существенно возросла, что проявилось с началом мирового финансового кризиса.

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. переживаемый экономикой РФ 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. 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 атмосферу 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.

Важнейшая причина деградации природы РФ – неэффективная, природоемкая структура экономики. Значительный спад обрабатывающей промышленности, медленное развитие инфраструктуры, сферы распределения, отсталые и грязные технологии приводят к сохранению или вынужденному росту 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 удельные показатели затрат природных ресурсов и загрязнений в расчете на единицу конечной продукции возросли, поскольку выжили загрязняющие и ресурсоемкие сектора, тогда как многие ресурсосберегающие и висотехнологичные производства деградировали.

Достаточно показательным является ухудшение одного из важнейших показателей устойчивого развития – энергоемкости экономики, которая выросла на 30% за 1990-1998 гг., тогда как в разви-

тых странах и многих странах с переходной экономикой этот показатель существенно уменьшился. Аналогичные тенденции сложились и в динамике многих показателей удельных загрязнений. В 90-е годы были более быстрые темпы падения ВВП по сравнению с темпами снижения большинства видов загрязнений. Это нашло отражение в увеличении удельных показателей загрязнения воздуха, водных ресурсов, отходов, выбросов CO₂, а также росте водоемкости.

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.

Запасы нефти, газа, металлов, алмазов и других ресурсов не безграничны. 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 энерго-ресурсы. 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. 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 произошло значительное изменение структуры экономики РФ. Важнейшим видом деятельности стала добыча топ-

тивно-энергетических полезных ископаемых, их 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 ..., 2008; Россия ..., 2008; Охрана ..., 2008; Основные ..., 2008).

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%.

Далее анализируются выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, по которым проведены расчеты. Динамику выбросов в атмосферу 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, по данным разных регионов 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.

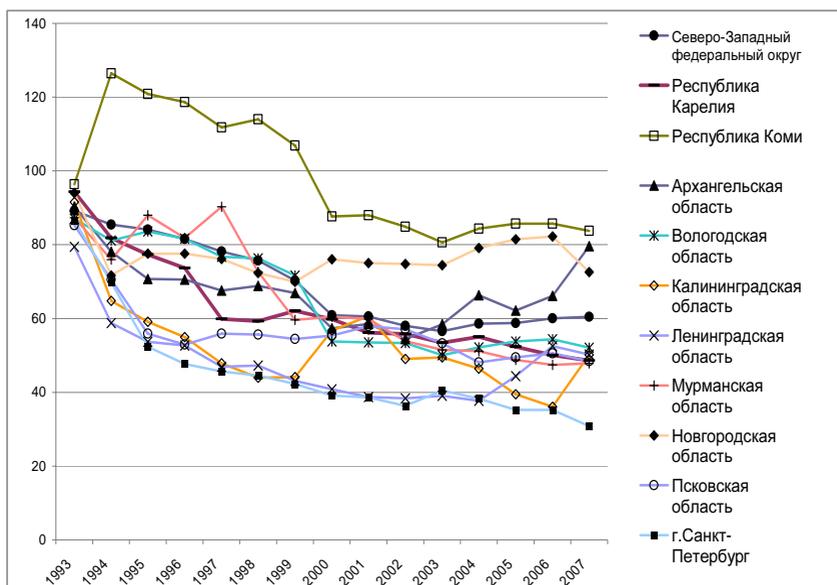


Рис. 6.1. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) по регионам СЗФО

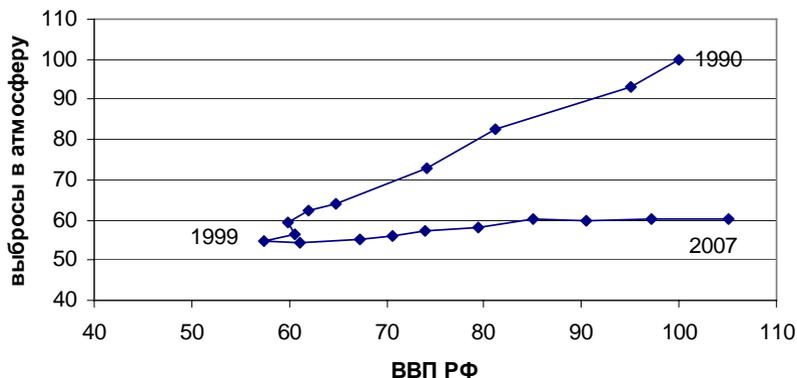


Рис. 6.2. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики ВВП РФ (1990 г. принят за 100%).

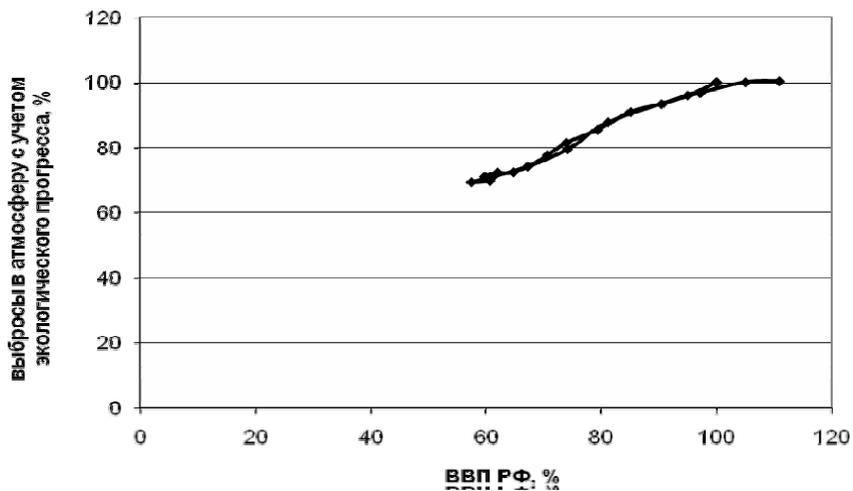


Рис. 6.3. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики ВВП РФ (1990 г. принят за 100%) при предположении о существовании отрицательного нейтрального экологического прогресса $p = -0.03$

Динамика выбросов в атмосферу по регионам Северо-Западного федерального округа представлена на рисунке 6.1, где видно, что лишь два региона существенно отличается от других. В Республике Коми резко выросли выбросы в 1994 г., а затем проявляется общая тенденция к снижению выбросов, а в Архангельской области выбросы растут в последние годы.

Данные по РФ показывают примерно такую же зависимость, как и у большинства регионов. На рисунке 6.2 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.

Однако 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 6.3 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 1990-2007 гг.

6.2. Идентификация ФЗ по РФ по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу

Анализ данных трех выделенных регионов показал возможность построения функций с достаточно стабильными в течение определенных периодов параметрами. Пробные расчеты по трем регионам позволили определить несколько видов ФЗ и методики идентификации их параметров. Основная проблема связана с коротким рядом данных, все виды функций можно оценивать за

1990-2007 гг., но определенные проблемы иногда возникают при расчетах за отдельные периоды.

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 периода 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.

Расчеты проводились по представленным выше функциям. Линейная ФЗ (4.8) 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 (4.9) 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 (4.8) и (4.9) 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 (4.9) дали похожий результат – факторная эластичность по ВВП убывает, а по природоохранным инвестициям растет:

$$\Delta Z(t) = (1.89 - 0.017 \times t) \times \Delta U_1(t) + (0.011 \times t - 1.19) \times \Delta U_2(t) + 0.29 \quad (6.1)$$

Более реальна нелинейная функция (4.6), у которой эластичность компенсации равна 1, ясен эколого-экономический смысл, но есть и проблемы при использовании инвестиций в качестве показателей. При преобразовании функции (4.6) к виду (4.7) 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.

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 – $\mu=0.69$. При расчетах за второй период эластичность μ 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 η 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 η 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 ненадежны, поскольку происходит смешение 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 μ и η , полученное при расчетах по функции (4.6), не позволяет говорить о близости их суммы к нулю.

Более сложные функции (4.11) – (4.14) дали более интересные результаты. Уравнение (4.11) 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 (4.12) 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 (4.6). 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 (4.13) 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 (4.12), а во втором степень влияния природоохранных инвестиций оказалась примерно вдвое выше. Статистические характеристики для всех вариантов расчетов примерно такие же как и для функции (4.12).

7. Построение функций загрязнения по РК

7.1. Развитие экономики РК 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 центральных 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 производст-

ва в пищевой промышленности был не так значителен, поскольку она ориентирована на местный рынок и многие виды продукции малотранспортбельны.

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 вертикаль-

но-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 способствовало ускорению роста экономики республики. В конце 2003 г. возобновился рост экономики (рис. 7.1). 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.

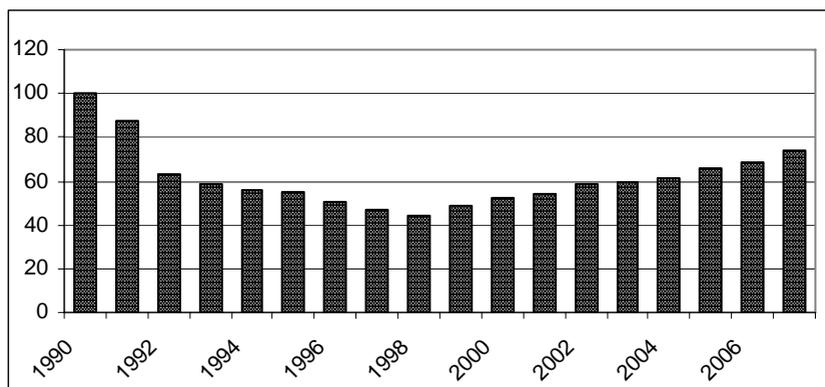


Рис. 7.1. Динамика ВРП Республики Карелия (1990 г. принят за 100%)

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.

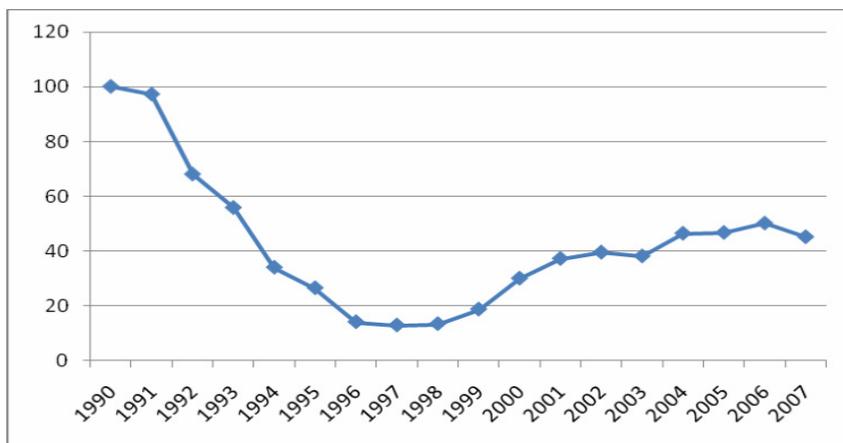


Рис. 7.2. Инвестиции в экономику РК, (1990 г. принят за 100%)

Темпы роста экономики зависят от объема инвестиций, их динамика была нестабильна, но в целом за последние восемь лет они существенно выросли (рис. 7.2). 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.

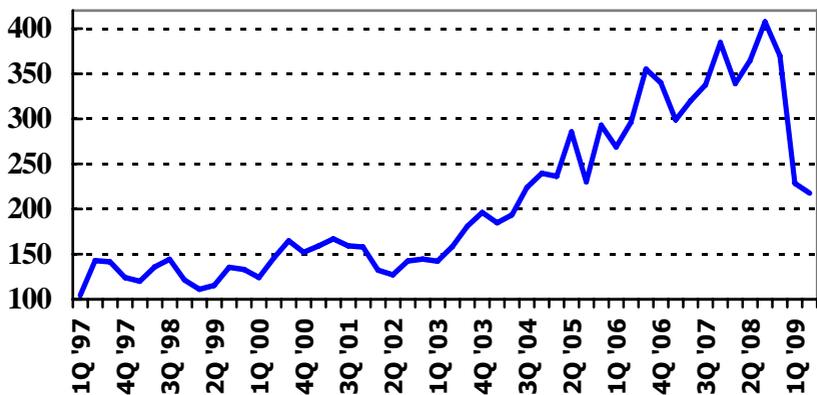


Рис. 7.3. Экспорт товаров из РК по кварталам за последние 12 лет, млн.долл.

Уже в начале 90-х годов предприятия республики активизировали внешнеэкономическую деятельность, затем рост экспорта несколько приостановился. Но, начиная с 2003 г. экспорт из республики стал быстро расти, и в 2005 г. превысил миллиард долларов (рис. 7.3).

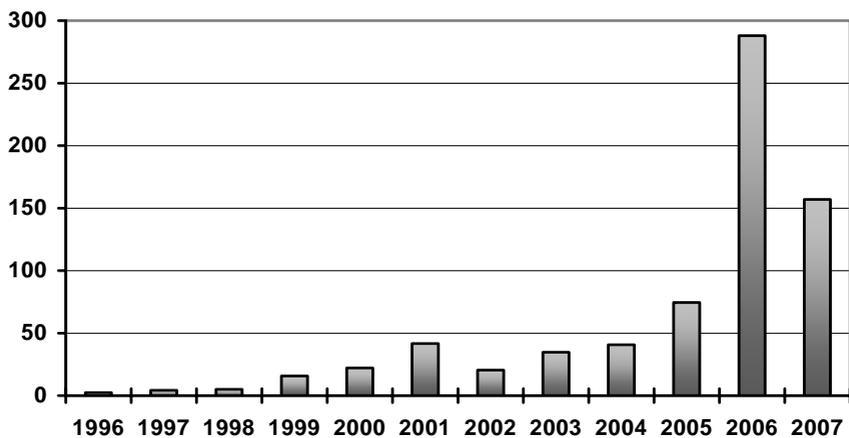


Рис. 7.4. Иностранные инвестиции в экономику РК, млн. долл. США

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. 7.4)

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.

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 гг. 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 регио-

нах. 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 мясокомбинат», ООО «Аалто» и некоторые другие.

Одним из наиболее успешных секторов стало производство форели. Карельские предприятия стали ее важнейшими поставщиками на российский рынок. Постепенно от выращивания форели предприятия переходили к ее переработке, выпуская различные виды продукции. В РК действует около 50 форелевых 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. м³ 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. гнотоклеенных 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 инве-

стиций 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 «Пикьяранта» 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 Вяртсиля, 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 возрастало 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 Вяртсиля, 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 приходится 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 товароборот. С увеличением реальных зарплат и пенсий повысились темпы роста розничного товароборота 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 товароборот только в 2002 г. превысил докризисный уровень II квартала 1998 г.

К числу наиболее крупных загрязнителей окружающей среды промышленными отходами относятся: ОАО «Карельский окатыш», ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ОАО «ЦЗ Питкяранта», ОАО «ЛФК Бумэкс», ЗАО «Петрозаводскмаш», филиал СУАЛ «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». В районах, где работают предприятия целлюлозно-бумажной промышленности и металлургии складывается более напряженная экологическая обстановка, поскольку влияние крупных предприятий на состояние водоемов, атмосферного воздуха, загрязнения земель наиболее значительно.

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 «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).

Существенный вклад в загрязнение водных объектов вносит смыв загрязняющих веществ с площади водосборов, особенно это характерно для гг. Петрозаводск, Сортавала, Лахденпохья, Олонiec, Медвежьегорск, Суоярви, не имеющих сетей и сооружений для очистки ливневых стоков.

Одной из актуальных проблем состояния окружающей среды является проблема сбора, обезвреживания, захоронения и переработки отходов производства и потребления. Для республики ха-

рактарно недостаточное развитие вторичной переработки отходов, что объясняется отсутствием инфраструктуры и экономических стимулов у хозяйствующих субъектов. Проблема ежегодного образования большого количества отходов связана со значительной материалоемкостью производств, использующих технологии, не позволяющие максимально полно перерабатывать исходное сырье и материалы. Подавляющее большинство предприятий в республике характеризуются высоким удельным показателем ресурсо- и материалопотребления, что обуславливает значительное образование отходов. Наибольшими удельными показателями образования отходов характеризуются производства, которые связаны с добычей сырья и его первичной переработкой. Довольно отходоёмким является и целлюлозно-бумажное производство.

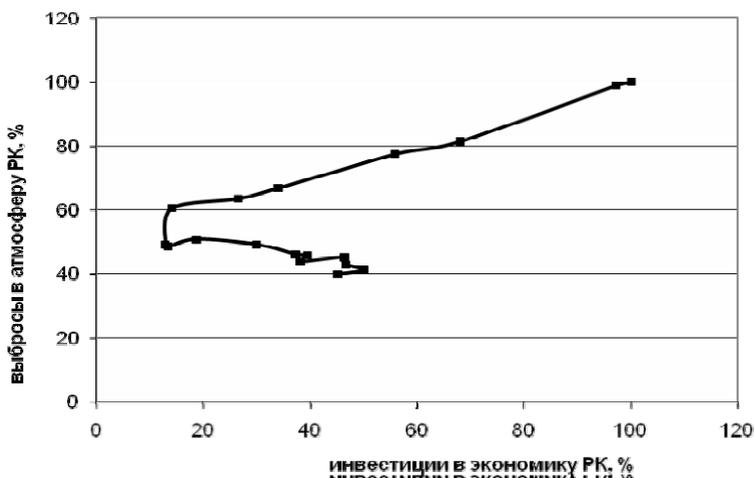


Рис 7.5. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (1990 г. принят за 100%) в зависимости от динамики инвестиций в основной капитал Республики Карелия (1990 г. принят за 100%)

Основной вклад в образование опасных отходов вносят черная металлургия, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, промышленность строительных материалов, жилищно-коммунальное хозяйство.

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.

На рисунке 7.5 рассматриваются данные Республики Карелия. Видны две тенденции, каждая из которых приближенно описывается линейной зависимостью. До 1998 г. при примерно 10-кратном спаде инвестиций в экономику региона выбросы в атмосферу уменьшаются на 40%, а затем при четырехкратном росте инвестиций в экономику региона, значительная часть которых пошла на модернизацию производства и переход к более современным технологиям, выбросы в атмосферу снизились еще на пятую часть до 40% к уровню 1990 г.

7.2. Идентификация функций загрязнения по РК по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу

Далее приводятся результаты расчетов по Карелии, в ходе которых определялись 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.

Когда в качестве первого показателя брался ВРП, то до 1999 г. соответствующий параметр был немного меньше единицы, а параметр, отражающий влияние вложений в охрану окружающей среды близок к нулю. С 1999 г. ситуация становится противоположной – первый параметр близок нулю, а второй меняется от 0.3 до 0.2. Это означает, что до девальвации рубля и начала экономического роста воздействие экономики на окружающую среду определялось паде-

нием ВРП, а природоохранные инвестиции практически не влияли. После девальвации рубля изменение ВРП слабо влияло на экологический показатель, более существенным, хотя возможно и не самым главным было влияние природоохранных инвестиций. В первом периоде снижение ВРП приводило к чуть меньшему падению экологического показателя, во втором увеличение на 1% кумулятивных инвестиций на охрану окружающей среды приводило к снижению экологического показателя на 0.2-0.3%.

Расчеты по карельским данным при использовании в качестве первого показателя инвестиций в развитие экономики подтвердили полученные ранее: до девальвации рубля инвестиции на охрану окружающей среды слабо влияли на экологические характеристики. На изменение воздействия на окружающую среду больше влияла динамика инвестиций в развитие экономики. После девальвации рост инвестиций на развитие экономики если и влиял, то незначительно. Значит, возможно, в первом периоде падение инвестиций на развитие экономики на 1% приводило к уменьшению экологического показателя примерно на 0.3%, а во втором периоде – рост кумулятивных природоохранных инвестиций на 1% снижал экологический показатель примерно на 0.2%.

8. Экологические инвестиционные функции⁴

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 модерни-

⁴ Исследования поддерживаются РФФИ, проект № 09-06-00279а

зация 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

$$Z(t) = F(U_1(t), U_2(t), U_3(t), t) \quad (8.1)$$

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 структурные изменения в экономике 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 дифференцируемой. Факторы положительны, увеличение затрат одного фактора обычно приводит к снижению его эффективности.

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. 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 (4.5) 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.

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

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

$$U_1(t) = \sum_i U_{1,i}(t), \quad U_2(t) = \sum_i U_{2,i}(t), \quad (8.2)$$

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

Данную модель можно строить для двухфакторных и трехфакторных функций, для функций (4.6) 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 и задача оптимального распределения инвестиций по трем направлениям. Оптимальное решение минимизирует загрязнения при обеспечении определенного объема производства Y_0 .

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

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

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

$$U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = \text{const} \tag{8.3}$$

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

Оптимальное решение может искаться в общем случае, и по направлениям инвестиций и по секторам (8.3), и в частном, когда сектора не выделяются, есть только возможность перераспределить инвестиции.

Список литературы

- Абрамян С.И., Лучшева В.В., Рюмина Е.В. (2002): Эколого-экономическая эффективность инвестиционных проектов // Экономика природопользования. №2.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В. (2006): Экономика природы и человека. М.: Экономика.
- 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.
- Акимова Т.А. и др. (1994): Методы экологической и экономической регламентации хозяйственной деятельности. М.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В. (1998): Экология. М.: ЮНИТИ.
- Анохин Ю.А., Остромогильский А.Х. (1978): Математическое моделирование и мониторинг окружающей среды. Обнинск.
- 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: изд. КарНЦ РАН. С. 199-210.
- 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.
- Белик И.С., Никулина Н.Л. (2006): Методические подходы к оценке экологической безопасности региона // Вестник УГТУ-УПИ. Серия «Экономика и управление». №1.
- 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.
- Воскобойников И.Б. (2004): О корректировке динамики основных фондов в российской экономике // Экономический журнал ВШЭ. т.8. №1.
- Выбор стратегических приоритетов регионального развития: новые теоретико-методические подходы: Материалы международной научно-практической конференции (2007): 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.
- Гейтс Д. (1976): Новые идеи в географии. Вып. 1. М.
- Глушкова В.Г., Макар С.В. (2003): Экономика природопользования. М.: Гардарики.
- Горшков В.Г. (1995): Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ.
- Горшков В.Г. (1982): Энергетические потоки биосферы и их потребление человеком // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. Т.112. Вып. 5.
- 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., Кульбака Н.Э., Рюмина Е.В. (1996): Проблемы учета экологической составляющей в системе национальных счетов // Экономика и математические методы. Вып.1.
- 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.
- Гусев А.А., Гусева И.Г. (1996): Об экономическом механизме экологически устойчивого развития // Экономика и математические методы. №2.
- Диксон Дж., Бэккес Ж., Гамильтон К. и др. (2000): Новый взгляд на богатство народов. Индикаторы экологически устойчивого развития. М.: Институт социально-экономических и производственно-экологических проблем инвестирования.
- Динамика эколого-экономических систем (1981): – Новосибирск: Наука.
- Дружинин П.В. (2005): Развитие экономики приграничных регионов в переходный период. Петрозаводск: КарНЦ РАН
- 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.
- 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.
- Коняхин А.К., Шипунов В.А., Беличенко Ю.П. (1975): К выбору оптимальных схем очистки сточных вод группы предприятий / Проблемы охраны вод. Вып. 6.
- Косякова И.В. (2004а): Моделирование локальной экосистемы / И.В. Косякова // Изв. Самар. науч. центра РАН. Спец. вып. «Экономика и управление народным хозяйством».
- Косякова И.В. (2004б): Моделирование экологически безопасной производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Самара: Изд-во Вестн. Самар. гос. техн. ун-та.
- 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.
- 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.
- Лاپин 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. (2006а): Учет экологического и природно-ресурсного параметров в макроэкономических показателях // Использование и охрана природных ресурсов. № 6.
- Мекуш Г.Е. (2006б): Экономический рост и ущерб будущей экономике: опыт расчета истинных сбережений на региональном уровне // Экономика природопользования. № 6.

- 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.
- Моисеенкова Т.А., Хаскин В.В. (1992): Методика расчета экологической емкости территории (к проекту 2.5.6.) / М.: РЭА им. Г.В. Плеханова.
- 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: ВНИИГМИ-МЦД.
- Осипов В.И. (1991): Концептуальные основы экологической политики. // Вестник Российской академии наук. №12.
- Основные показатели охраны окружающей среды (2008): Стат.бюллетень/Росстат. М.
- Охрана окружающей среды в России (2008): Ст.сб. / Росстат. М.
- Пигу А. (1985): Экономическая теория благосостояния. 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 (2008): Ст.сб. / Росстат. М.
- Республика Карелия в цифрах (2008): Стат.сб. / Карелиястат. Петрозаводск.
- Россия в цифрах (2008): Крат.стат.сб./Росстат. М.
- Реймерс Н.Ф. (2001): Экология. М.: Мысль.
- Русин И.И. (1989): Экономика природопользования. М.: ЮНИТИ.
- Рюмина Е.В. (1995): Моделирование взаимосвязей развития народного хозяйства и природоохранной деятельности // Экономика и математические методы. Вып. 3.
- Рюмина Е.В. (1980): Экологический фактор в экономико-математических моделях. М.: Наука.

- Рюмина Е.В. (2000): Анализ эколого-экономических взаимодействий. М.: Наука.
- Социально-экологическая ответственность и рейтинги российского бизнеса (2005): М.: КМК.
- 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.
- Черп О.М., Виниченко В.Н., Хотулева М.В. и др. (2000): Экологическая оценка и экологическая экспертиза. М.
- 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.
- Canter L.W. (1996): Environmental Impact Assessment. 2nd Edn. – NY.: McGraw-Hill.
- 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.
- Proops J., Safonov P. (2004): Modeling in Ecological Economics. Cheltenham: Edward Elgar.
- Tauchaux S., Pearce D., Proops J. (1996): Models of Sustainable Development. Cheltenham: Edward Elgar.
- White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change (2005): Springer.

Научное издание

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

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

Подписано в печать 10.12.2009 г. Формат 60×84¹/₁₆. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 4,0. Усл. печ. л. 5, 5. Тираж 150 экз.
Изд. 81. Заказ 845.

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