

ПАВЕЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ДРУЖИНИН

доктор экономических наук, доцент, заведующий отделом моделирования и прогнозирования регионального развития, Институт экономики Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
 pdruzhinin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЭКОНОМИКИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ*

Исследуется влияние развития экономики региона на окружающую среду. Для выделения влияния структурных сдвигов и модернизации производства вводится понятие нейтрального экологического прогресса и строятся формулы для его оценки. Для Республики Карелия проведено исследование взаимосвязи экономических и экологических показателей и построены модели, описывающие это взаимодействие. Проведены расчеты влияния структурных сдвигов по двум видам загрязнений – выбросам в атмосферу и сбросам сточных вод. Расчеты по двухфакторным функциям показали, что влияние природоохранных инвестиций часто невелико и не может объяснить реальное уменьшение воздействия на окружающую среду. Расчеты по экономике Карелии проводились при выделении трех секторов, два из которых имеют наибольшие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу – производство бумаги и добыча полезных ископаемых. Показано влияние структурных сдвигов на динамику экологических показателей, отражающих загрязнение окружающей среды. Выявлена определяющая роль структурных сдвигов в снижении загрязнений в 2000-е годы. Определено влияние модернизации в производстве бумаги и добыче полезных ископаемых на динамику загрязнений.

Ключевые слова: регион, инвестиции, модель, структурные сдвиги, модернизация, окружающая среда, выбросы в атмосферу

Введение. Развитие экономики оказывает значительное влияние на состояние окружающей среды. С ростом производства может увеличиваться нагрузка на природу при росте традиционных отраслей, а изменение структуры экономики, вытеснение промышленности сферой услуг может привести к снижению уровня загрязнений. В статье предложена методика оценки влияния структурных сдвигов на динамику загрязнений воздуха и поверхностных вод и проведены расчеты на примере Республики Карелия.

Исследования факторов, влияющих на загрязнение окружающей среды, проводились в различных странах. Разнообразие полученных результатов объясняется особенностями стран и регионов и большим количеством исследуемых загрязняющих веществ. В большинстве работ было показано, что изменение загрязнений в первую очередь зависит от изменения объемов производства, структурных сдвигов и технологических изменений, причем последнее часто является определяющим. Приведенные в [13] результаты исследований панельных данных по китайским регионам выявили, что за счет изменения технологий выбросы SO_2 выросли менее чем на 30 % при увеличении объемов производства в 2,5 раза. Влияние такого фактора, как модернизация, было отмечено и в исследованиях на данных Испании. В [17] было показано, что модернизация в разной степени компенсировала рост масштабов производства для разных видов загрязнений, а для выбросов SO_2 – полностью. В [16] была построена аналитическая модель, по-

казывающая, что именно технический прогресс дает эффект снижения выбросов с развитием экономики, что описывается экологической кривой Кузнецца, представляющей перевернутую U-образную кривую. В соответствии с экологической кривой Кузнецца до определенного момента при росте объемов производства растут и выбросы, а затем они снижаются, несмотря на продолжающийся рост производства. В [10], [12] на реальных данных было показано влияние инноваций и структурных сдвигов.

В России только для примерно двадцати регионов активная модернизация производства и изменение структуры экономики привели к тому, что связь ВРП и выбросов загрязняющих веществ описывается экологической кривой Кузнецца [4], [5]. Бурный рост сферы услуг и сокращение доли промышленности, являющейся основным загрязнителем, обеспечили значительную часть снижения нагрузки на окружающую среду в российских регионах в 2000-х годах [1], [5]. В отдельных работах было показано, что кроме ВРП на душу населения, структурных и технологических различий на форму зависимости влияют и другие факторы, прежде всего разный уровень цен на топливо, энергию и в энергетике и воздействие внешних шоков [11]. Несколько иные результаты получились для канадских регионов. Расчеты, проведенные в [14], показывают, что для канадских регионов зависимость загрязнений от ВРП отсутствует, но есть зависимость от численности населения и технологий, а также доли индустрии, доли экспорта, доли импорта, цены сырой нефти и некоторых других факторов.

Для исследования влияния различных факторов на динамику загрязнений предлагалось множество моделей, из которых в настоящее время чаще используется STIRPAT, которая позволяет оценивать степень влияния отдельных факторов на уровень загрязнений [9], [15], [18]:

$$Z(t) = A \times N^\alpha(t) \times Y^\beta(t) \times T^\gamma(t), \quad (1)$$

где $Z(t)$ – исследуемый экологический показатель (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в целом и по видам, выбросы парниковых газов, сброс сточных вод, образование токсичных отходов и др.), $Y(t)$ – показатель, характеризующий степень развития экономики (ВВП или ВРП на душу населения), $N(t)$ – численность населения, $T(t)$ – технологический уровень, α , β , γ – константы, t – год. Технологический уровень обычно определяется через величину удельных выбросов.

Методика. Для оценки влияния структурных сдвигов в экономике на загрязнения необходимо выделить сектора экономики по степени влияния на окружающую среду и вывести формулы, позволяющие рассчитать данное влияние. Для анализа факторов, влияющих на динамику загрязнений, были предложены двухфакторные функции загрязнения и трехфакторные экологические инвестиционные функции, связывающие экономические и экологические показатели и дополняющие функцию (1). Первоначально строились линейная и мультиплекативная зависимости, затем более сложные функции [3].

При построении функций выделялось три группы факторов: $U_1(t)$ – факторы, отражающие развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющие на окружающую среду (кумулятивные инвестиции в экономику, инвестиции в новое строительство, ВВП, ВРП или другие показатели); $U_2(t)$ – факторы, отражающие природоохранную деятельность и положительно влияющие на окружающую среду (природоохранные основные фонды, кумулятивные инвестиции в охрану окружающей среды в целом и по видам, текущие затраты на охрану окружающей среды или другие показатели); $U_3(t)$ – факторы, отражающие изменение действующего производства и, как правило, положительно влияющие на окружающую среду (инвестиции в модернизацию производства или другие показатели). В уравнение включается по одному фактору из группы.

Для исследования эколого-экономических процессов были использованы факторные эластичности ε , являющиеся логарифмическими производными по факторам, они показывают, на сколько процентов изменится исследуемый показатель, если соответствующий фактор вырастет на 1 %. Параметры ε_1 , ε_2 и ε_3 можно определить как эластичности загрязнения по фактору, определяющие степень его влияния. Они могут зависеть от отдельных факторов или времени в зависимости от вида функций. Для мультиплекативной функции они постоянны:

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

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\nu(t), \quad (3)$$

где $\mu = \varepsilon_1$ – как правило, положительный параметр, отражающий влияние роста экономики; $-\eta = \varepsilon_2$ – параметр отрицательный, поскольку с ростом природоохранных показателей загрязнения снижаются; $\nu = \varepsilon_3$ – обычно отрицательный, поскольку модернизация ведет, как правило, к снижению загрязнений; $A(t)$ – коэффициент, зависящий от времени, t – год. В функции (2) $A(t)$ отражает влияние модернизации и структурных сдвигов, в функции (3), если в качестве третьего фактора используются инвестиции в модернизацию, то только структурных сдвигов.

Для определения $A(t)$ представим экономику региона как сумму нескольких секторов, каждый из которых также описывается формулой (2) или (3), причем сектора существенно различаются по воздействию на окружающую среду. Для удобства прогнозирования лучше всего выделить сектора с высоким уровнем загрязнений или максимальной долей загрязнений. По аналогии с производственными функциями вводим понятие нейтрального экологического прогресса, который отражает влияние прочих факторов и связан с изменением уровня загрязнения, не зависящим от исследуемых факторов $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Он определяется через зависимость от времени $A(t) = A_1 \times \exp(p \times t)$, где p – темп нейтрального экологического прогресса, или интенсивность структурных сдвигов и модернизации производства, A_1 – константа [3]. Параметр p определяется в ходе расчетов, он обычно отрицателен, поскольку растет доля сферы услуг и структурные сдвиги ведут к снижению уровня загрязнений. Основное влияние на нейтральный экологический прогресс оказывают структурные сдвиги и технологические изменения в отдельных секторах экономики.

Воспользуемся разложением параметров производственных функций и аналогично работе [2] выведем для функции (2) уравнение, позволяющее разложить темп нейтрального экологического прогресса p на две составляющие при независимости факторных эластичностей. Одна из них является суммой соответствующих темпов секторов p_i с весами по доле загрязнений, отражая активность модернизации в секторах. Вторая отражает активность структурных сдвигов через разницу в темпах изменения факторов, факторные эластичности и долю секторов в загрязнениях:

$$p = \sum_i p_i \times \frac{Z_i(t)}{Z(t)} + \varepsilon_0, \quad (4)$$

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

где $Z(t)$ – исследуемый экологический показатель, I_1 – логарифмическая производная экономического показателя, I_2 – логарифмическая

производная природоохранного показателя, t – год, i – сектор. Параметры ε и p определяются при расчетах функции (2) по секторам. Аналогичные, но более сложные уравнения можно построить и для функции (3).

По функциям (2) и (3) проводились расчеты по РФ, отдельным регионам и секторам за 1990–2012 годы, регрессионные уравнения строились на основе метода наименьших квадратов после содержательного анализа графиков показателей, исследования их возможных взаимосвязей, определения лагов. Формула (4) верна при определенных ограничениях, иногда требовалось использовать более сложные функции с факторными эластичностями, зависящими от факторов. Тогда удобно рассматривать нейтральный экологический прогресс по факторам отдельно. В одном случае вводится эквивалентный снижению выпуска нейтральный экологический прогресс, что означает рост экологичности производства, снижение удельных выбросов на единицу объема производства. В другом случае вводится эквивалентный росту природоохраных инвестиций нейтральный экологический прогресс, что означает рост эффективности природоохраных инвестиций.

Данные. Расчеты по уравнениям (2)–(4) по оценке влияния структурных сдвигов и отдельных секторов на изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сброс сточных вод в поверхностные водоемы проводились по данным РК за 1990–2012 годы, которые брались из статистических справочников ФСГС [7], [8]. Иногда данные за 1990–1995 годы отбрасывались из-за неточности оценок статистических показателей и особенностей развития российской экономики в эти годы. Основными проблемами при проведении расчетов по региональным данным были сильные колебания природоохраных инвестиций, значительный лаг между водоохранными инвестициями и изменением сбросов загрязненных вод, недоступность данных, если в отрасли только одно крупное предприятие, сложность построения рядов сопоставимых данных при частых изменениях методик, в частности после перехода от учета по отраслям к учету по видам деятельности [3]. Выбор факторов и вида зависимости определялся доступностью данных, вместо некоторых факторов приходилось использовать близкие по смыслу, в частности сложно получить статистические данные по стоимости природоохраных фондов, особенно в разрезе отраслей. В таком случае использовались кумулятивные инвестиции.

Расчеты по двухфакторным функциям (2) показали, что влияние природоохраных инвестиций обычно невелико и не может объяснить реальное уменьшение воздействия на окружающую среду. Экономический рост, как правило, приводит к ухудшению экологических характеристик, которые не могут компенсировать

природоохранные инвестиции. Использование только двух факторов (ВРП и кумулятивных природоохранных инвестиций) часто дает недостоверные результаты и низкие статистические характеристики. В результате расчетов для Карелии по выбросам в атмосферу было получено, что отражающий влияние экономического роста показатель $\mu = \varepsilon$, отрицателен, что говорит об активных структурных сдвигах. Аналогичная ситуация возникает и для сбросов сточных вод. Получилось, что выбранные два фактора не объясняют динамику загрязнений, необходимо учитывать влияние структурных сдвигов.

Проведенный анализ экономических данных за 1990–2012 годы показал, что в РК, как и в РФ, происходили значительные структурные сдвиги, в середине 1990-х годов началась модернизация экономики, в 2000-х годах стали активнее строиться новые объекты на принципиально новой технологической основе, поскольку модернизация устаревших производств стала малоэффективна. Все эти изменения сказывались на эколого-экономических процессах, и их необходимо отразить в строящихся функциях [5].

На рис. 1 представлен график зависимости выбросов в атмосферу от ВРП Карелии (сплошная линия). На графике выделяются два периода – до 1998 года оба показателя падают, с 1999 года выбросы в атмосферу продолжают снижаться при росте ВРП. Подобную зависимость можно описать одним уравнением, лишь вводя нейтральный экологический прогресс [4].

Графически влияние нейтрального экологического прогресса представлено на рис. 1 и 2. Пунктирной линией показана динамика загрязнений, пересчитанная при условии, что для выбросов в атмосферу темп нейтрального экологического прогресса составляет примерно -4% (см. рис. 1). Пересчет осуществлялся умножением на $\exp(-0,04 \times t)$. Фактически предполагается, что за счет структурных сдвигов и модернизации выбросы в атмосферу ежегодно снижаются примерно на 4% . При таком темпе с 1994 года существует четкая зависимость динамики загрязнений от ВРП. Исходя из графика, можно предположить, что влияние природоохраных инвестиций невелико, динамика ВРП хорошо объясняет основную тенденцию. Для сбросов сточных вод анализ данных привел к выводу, что темп нейтрального экологического прогресса должен составить примерно -1% с середины 1990-х годов (см. рис. 2).

Расчеты. По рисункам видно, что при определенном темпе нейтрального экологического прогресса динамика загрязнений описывается одной функцией почти за весь период. Проведенные расчеты для РК в целом по формуле (2) по выбросам в атмосферу с 1998 года показали, что в соответствии с полученными результатами рост экономики на 1% увеличивает выбросы на $0,26\%$, рост инвестиций в охрану атмосферного

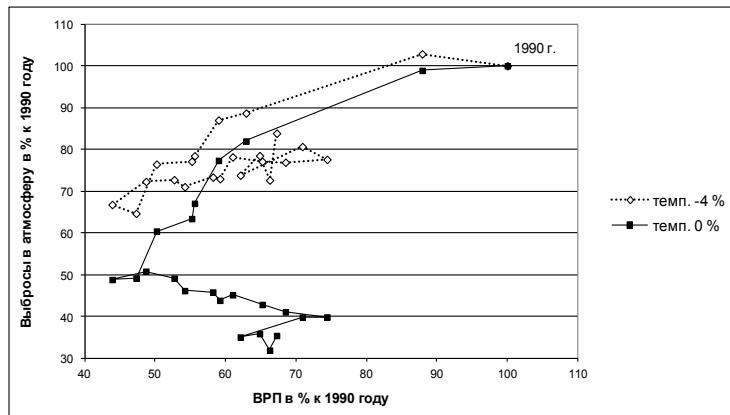


Рис. 1. Выбросы в атмосферу в зависимости от ВРП РК (1990 год – 100 %, сплошная линия) и при учете нейтрального экологического прогресса, равного -4 % (пунктирная линия)

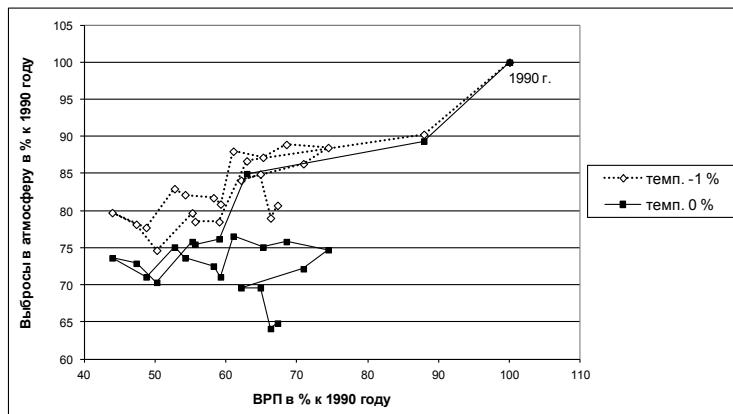


Рис. 2. Сбросы загрязненных сточных вод в зависимости от ВРП РК (1990 год – 100 %, сплошная линия) и при учете темпа нейтрального экологического прогресса, равного -1 % (пунктирная линия)

воздуха на 1 % снижает выбросы на 0,006 % (табл. 1). Влияние природоохранных кумулятивных инвестиций за 3 года оказалось небольшим, частично это объясняется их значительными колебаниями, их объем может измениться относительно предыдущего года в несколько раз. Их значимость мала.

Таблица 1

Результаты расчетов параметров функций (2) для Карелии по выбросам в атмосферу (в скобках t-статистика)

	μ	η	p	A	R^2	F
Экономика Карелии	0,26 (2,1)	0,006 (-0,3)	-0,035 (-4,0)	36,2	0,94	59,6
Производство бумаги	0,35 (0,7)	0,17 (-3,6)	-	99,5	0,79	18,3
Добыча полезных ископаемых	0,52 (7,1)	0,02 (-1,6)	-	11,1	0,82	25,6
Прочие	0,13 (0,3)	0,0003 (-0,01)	-0,073 (-8,7)	96,5	0,96	38,5

Проведенные расчеты позволили определить среднее за период влияния структурных сдвигов, для оценки его динамики были проведены расчеты по формулам (4). Первоначально по функции (2) определялись используемые в формулах (4) параметры. Расчеты для выбросов в атмосфе-

ру по данным 1997–2012 годов проводились при выделении трех секторов, два из которых имеют наибольшие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу – производство бумаги и добыча полезных ископаемых (см. табл. 1). Для производства бумаги большое влияние на снижение выбросов при росте производства оказали инвестиции в охрану атмосферного воздуха. Добыча полезных ископаемых характеризуется достаточно высоким влиянием роста производства и небольшим – инвестиций в охрану атмосферного воздуха. Для прочих отраслей важнейшим фактором оказался нейтральный экологический прогресс, влияние основных факторов незначимо. В результате нейтральный экологический прогресс, определенный по формуле (4), от -3,1 % в конце 1990-х годов постепенно меняется до -5,2 %, структурные сдвиги определяют уменьшение выбросов в атмосферу, затем их влияние ослабевает до -0,2 %.

Результаты расчетов по сбросам загрязненных сточных вод по мультиплекативной функции оказались близкими, влияние кумулятивных водоохранных инвестиций за 5 лет также оказалось небольшим (при лаге в 2 года), воздействие ВРП немного больше, нейтральный

экологический прогресс оказался равен -1,4 %, при несколько худших статистических характеристиках (табл. 2). Увеличение лага до 4 лет улучшает статистические характеристики и немного меняет параметры.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров функций (2) для Карелии по сточным водам (в скобках t-статистика)

	μ	η	p	A	R^2	F
Экономика Карелии	0,35 (2,8)	0,006 (-0,4)	-0,014 (-3,7)	26,3	0,55	4,8
Производство бумаги	0,06 (0,4)	0,002 (-0,1)	-0,021 (-2,1)	135,6	0,83	11,3
Добыча полезных ископаемых	0,31 (2,2)	0,001 (0,01)	-0,026 (-1,5)	32,8	0,30	2,5
Прочие	0,33 (1,1)	0,042 (-1,0)	-0,04 (-0,6)	42,5	0,30	1,0

Расчеты для сбросов загрязненных вод по экономике Карелии проводились по тем же трем секторам за 1997–2012 годы. Для производства бумаги по функции (2) было получено, что большое влияние оказывала модернизация производства. Добыча полезных ископаемых характеризуется заметным нейтральным экологическим прогрессом, достаточно высоким влиянием роста производства и отсутствием инвестиций в охрану атмосферного воздуха (возможно, из-за большого временного лага). Для прочих отраслей важнейшим фактором оказался нейтральный экологический прогресс, влияние основных факторов было меньше. Нейтральный экологический прогресс, определенный по формуле (4), определял снижение сбросов, но постепенно он уменьшает свое положительное влияние, меняясь от -5 до -1 %.

Обсуждение. Проведенные расчеты позволили оценить влияние роста производства и природоохранных инвестиций на динамику загрязнений для экономики Карелии в целом и отдельных секторов, а также выделить и оценить влияние структурных сдвигов. В результате можно сделать вывод, что предложенные функции позволяют учесть влияние факторов, связанных с развитием экономики региона и изменением ее структуры, на экологические показатели.

* Исследования финансируются РФФИ, проект № 11-06-00227а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глазырина И. П. Исследование качества экономического роста в контексте концепции устойчивого развития // Экономика природопользования. 2006. № 4. С. 21–31.
- Дружинин П. В. Расчет параметров народнохозяйственных и региональных агрегированных производственных функций // Экономика и математические методы. 1990. № 5. С. 891–896.
- Дружинин П. В., Шкирева Г. Т. Влияние развития экономики на окружающую среду // Труды Карельского НЦ РАН. Серия: Регион: экономика и управление. 2012. № 4. С. 106–114.
- Постников В. П. Анализ загрязнения атмосферного воздуха: национальный и региональный аспекты // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2014. № 1. С. 117–124.
- Курило А. Е., Немкович Е. Г., Сенюшкин Е. Н. Социально-экономические преобразования в Республике Карелия (1990–2005 гг.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 320 с.
- Моделирование социо-экологического-экономической системы региона / Под ред. В. И. Гурмана, Е. В. Рюминой. М.: Наука, 2001. 175 с.
- Охрана окружающей среды в Республике Карелия в 2012 году: Статистический сборник / Карелиястат. Петрозаводск, 2013. 88 с.
- Республика Карелия: Статистический ежегодник / Карелиястат. Петрозаводск, 2013. 338 с.
- Dietz T., Rosa E. A. Rethinking the environmental impact of population, affluence and technology // Human Ecology Review. 1994. Vol. 1. P. 277–300.

Развитие экономики в основном ведет к росту загрязнений, создание новых производств увеличивает в той или иной степени нагрузку на окружающую среду, если не закрываются старые производства, не происходит модернизация действующих производств, переход к новым технологиям и реализация инновационных проектов. В то же время расчеты показали, что с середины 1990-х до середины 2000-х годов структурные сдвиги оказали значительное положительное воздействие и существенно снизили нагрузку на окружающую среду. В последние годы положительное влияние модернизации и структурных сдвигов заметно уменьшилось.

Использование предложенных формул позволяет оценить влияние факторов в ретроспективе, построить прогнозы регионального развития на перспективу и выявить пути снижения нагрузки на окружающую среду через инвестиционную и структурную политику. Предложенные функции позволяют дополнять экономические прогнозы оценкой экологических последствий развития экономики. Для этого необходимо к построенным экономическим сценариям добавить прогнозы природоохранных инвестиций и других показателей, отражающих разные варианты экологической политики [3], [6]. Для определения будущего состояния окружающей среды необходимы прогнозы динамики и структуры инвестиций и ВРП, которые имеются в сценарных условиях экономической и экологической политики, представленных в региональных стратегических документах.

Для прогнозирования темпа нейтрального экологического прогресса необходимо связать его с теми показателями, которые присутствуют в экономическом прогнозе, например структурой инвестиций, структурой ВРП или темпами роста отраслей. Тогда можно будет задавать различные варианты сценарных условий в соответствии с ожидаемыми направлениями экономической и экологической политики и рассчитывать сценарии, включающие прогнозную динамику экологических показателей.

10. Feng K., Hubacek K., Guan D. Lifestyles, technology and CO₂ emissions in China: A regional comparative analysis // *Ecological Economics*. 2010. Vol. 69. P. 145–154.
11. Fried B., Getzner M. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy // *Ecological Economics*. 2003. Vol. 45. P. 133–148.
12. Gili M., Mancinelli S., Mazzanti M. Innovation complementarity and productivity effects: Reality or delusion? Evidence from the EC // *Ecological Economics*. 2014. Vol. 103. P. 56–67.
13. He J. What is the role of openness for China's aggregate industrial SO₂ emission? A structural analysis based on the Divisia decomposition method // *Ecological Economics*. 2010. Vol. 69. P. 868–886.
14. Lantz V., Feng Q. Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: where's the EKC? // *Ecological Economics*. 2006. Vol. 57. P. 229–238.
15. Martínez-Zarzoso I., Maruotti A. The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries // *Ecological Economics*. 2011. Vol. 70. P. 1344–1353.
16. Müller-Fürstenberger G., Wagner M. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: Theoretical and econometric problems // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 62. P. 648–660.
17. Roca J., Serrano M. Income growth and atmospheric pollution in Spain: An input–output approach // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 63. P. 230–242.
18. York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts // *Ecological Economics*. 2003. Vol. 46. P. 351–365.

Druzhinin P. V., Institute of Economy, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

RESEARCH OF INFLUENCE OF STRUCTURAL CHANGES IN ECONOMY ON ENVIRONMENTAL POLLUTION

The impact of economic development on the environment of the region is researched. The relationship between economic and environmental indicators is investigated for the Republic of Karelia. Models describing this interaction are developed. The concept of a neutral environmental progress, which reflects the impact of structural changes and modernization, is introduced. Calculations based on Karelian data concerning air emission and waste water leakage are carried out. The impact of structural change in economy on the dynamics of environmental indicators is showed. A decisive role of structural changes affecting pollution reduction in the 2000s is revealed.

Key words: region, investments, model, structural changes, modernization, air emissions, environment

REFERENCES

1. Glazyrina I. P. Study of the quality of economic growth in the context of sustainable development [Issledovanie kachestva ekonomicheskogo rosta v kontekste kontseptsii ustoychivogo razvitiya]. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Economics of natural resources]. 2006. № 4. P. 21–31.
2. Druzhinin P. V. Account of parameters of macroeconomic and regional aggregated production functions [Raschet parametrov narodnokhozyaystvennykh i regional'nykh agregirovannykh proizvodstvennykh funktsiy]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and mathematical methods]. 1990. № 5. P. 891–896.
3. Druzhinin P. V., Shkipanova G. T. Impact of economic development on the environment [Vliyanie razvitiya ekonomiki na okruzhayushchuyu sredu]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Region: ekonomika i upravlenie* [Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. Region: Economics and Management]. 2012. № 4. P. 106–114.
4. Postnikov V. P. Analysis of air pollution: national and regional aspects [Analiz zagryazneniya atmosfernogo vozdukh: natsional'nyy i regional'nyy aspekty]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya* [Bulletin of the Volgograd State University. Series 3: The Economy. Ecology]. 2014. № 1. P. 117–124.
5. Kurilo A. E., Nemkovich E. G., Senyushkin E. N. *Sotsial'no-ekonomicheskie preobrazovaniya v Respublike Kareliya (1990–2005 gg.)* [Socio-economic transformation in the Republic of Karelia (1990–2005)]. Petrozavodsk, KarRC RAS, 2007. 320 p.
6. Modelirovaniye sotsial'no-ekologo-ekonomicheskoy sistemy regiona [Modeling socio-ecological-economic system of the region] / Ed. V. I. Gurmet, E. V. Ryumin. Moscow, Nauka Publ., 2001. 175 p.
7. Okhrana okruzhayushchey sredy v Respublike Kareliya v 2012 godu: Statisticheskiy sbornik [Environmental Protection in the Republic of Karelia in 2012: statistical bulletin] / Kareliastat. Petrozavodsk, 2013. 88 p.
8. Respublika Kareliya: Statisticheskiy ezhегодник [Republic of Karelia: statistical bulletin] / Kareliastat. Petrozavodsk, 2013. 338 p.
9. Dietz T., Rosa E. A. Rethinking the environmental impact of population, affluence and technology // *Human Ecology Review*. 1994. Vol. 1. P. 277–300.
10. Feng K., Hubacek K., Guan D. Lifestyles, technology and CO₂ emissions in China: A regional comparative analysis // *Ecological Economics*. 2010. Vol. 69. P. 145–154.
11. Fried B., Getzner M. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy // *Ecological Economics*. 2003. Vol. 45. P. 133–148.
12. Gili M., Mancinelli S., Mazzanti M. Innovation complementarities and productivity effects: Reality or delusion? Evidence from the EC // *Ecological Economics*. 2014. Vol. 103. P. 56–67.
13. He J. What is the role of openness for China's aggregate industrial SO₂ emission? A structural analysis based on the Divisia decomposition method // *Ecological Economics*. 2010. Vol. 69. P. 868–886.
14. Lantz V., Feng Q. Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: where's the EKC? // *Ecological Economics*. 2006. Vol. 57. P. 229–238.
15. Martínez-Zarzoso I., Maruotti A. The impact of urbanization on CO₂ emissions: Evidence from developing countries // *Ecological Economics*. 2011. Vol. 70. P. 1344–1353.
16. Müller-Fürstenberger G., Wagner M. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: Theoretical and econometric problems // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 62. P. 648–660.
17. Roca J., Serrano M. Income growth and atmospheric pollution in Spain: An input–output approach // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 63. P. 230–242.
18. York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts // *Ecological Economics*. 2003. Vol. 46. P. 351–365.