УДК 332.012 + 332.14 + 504.06
JEL C67, R10, Q00
DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47

Опыт построения и использования межотраслевых региональных моделей эколого-экономического развития

**А. О. Баранов^{1,2}, В. Н. Павлов¹
Т. О. Тагаева^{1,2}, Ю. М. Слепенкова^{1,2}**

¹ *Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия*

² *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Анализируется отечественный и мировой опыт построения и использования региональных моделей, учитывающих экологические проблемы. Первые попытки объединить в математической модели производственные и природные процессы были осуществлены еще в 1960-е гг. Многие разработанные модели не могли быть применены на практике в виду отсутствия необходимой информационной базы данных. С развитием подходов к моделированию, начиная с работ лауреата Нобелевской премии Василия Леонтьева, экологический фактор стал включаться в межотраслевые модели разного рода. На сегодняшний момент экономико-экологическое моделирование развивается весьма активно, однако необходимо отметить, что используемые в мировой практике модельные подходы часто носят теоретический характер и не используют межотраслевые методы. По-прежнему одной из главных проблем работы с существующими моделями выступает ограниченность доступной информации (как по социально-экономическому, так и по экологическому блоку). Особенно остро проблема стоит в случае региональных исследований, где количество доступных в статистике показателей значительно меньше, чем на макроуровне.

В статье представлено математическое описание динамической межотраслевой модели с экологическим блоком, разработанной в Институте экономики и организации промышленного производства и Новосибирском государственном университете. Модель может быть использована для анализа и прогнозирования развития экономики регионов при условии наличия оцененных для них таблиц «Затраты-выпуск».

Ключевые слова

межотраслевой анализ, межотраслевые региональные модели, экология, экологическое развитие, экологические проблемы

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00414 А

Для цитирования

Баранов А. О., Павлов В. Н., Тагаева Т. О., Слепенкова Ю. М. Опыт построения и использования межотраслевых региональных моделей эколого-экономического развития // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 3. С. 27–47. DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47

Construction and Use of the Regional Input-Output Model with Environmental and Economic Development Blocks

A. O. Baranov^{1, 2}, V. N. Pavlov¹
T. O. Tagaeva^{1, 2}, Yu. M. Slepikova^{1, 2}

¹*Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

²*Novosibirsk National Research State University
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

The paper analyzes environmental-economics models developed by foreign and Russian scientists. The first attempts to combine both economic and environmental issues in mathematical modeling were made in the 1960s, with most of them been theoretical due to lack of necessary data. With the development of modeling approaches, following on Wassily Leontief's models, an environmental block has been included into input-output models. However, most of the existing models can hardly be applied to practice due to lack of statistical data and the absence of inter-industry approach. Even today the main restricting factor for these models to be used in practice is still limited availability of information, including not only economic but also environmental data, which is especially critical for regional researches, as the number of statistical indicators for the regions is much lower than at the macro level.

The article provides mathematical description of the input-output model with an environmental block. The model is developed at the Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the RAS in collaboration with the Novosibirsk State University. The model can be used for regional researches, given the input-output tables for the region is available.

Keywords

Regional input-output models, interindustry analysis, environmental development, environmental issues

Funding

The study was supported by RFBR, project number 20-010-00414 A

For citation

Baranov A. O., Pavlov V. N., Tagaeva T. O., Slepikova Yu. M. Construction and Use of the Regional Input-Output Model with Environmental and Economic Development Blocks. *World of Economics and Management*, 2020, vol. 20, no. 3, p. 27–47. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-3-27-47

В настоящее время накоплен определенный опыт построения и использования региональных моделей, учитывающих экологические проблемы.

Используемые в указанных целях модели можно классифицировать по следующим признакам: по методам математического описания моделируемых процессов выделяются балансовые, имитационные, оптимизационные модели; по охвату временного периода – статические и динамические; по уровню прогнозирования моделируемых процессов – модели отдельных хозяйственных и природоохранных участков, мезо- и макромодел; по способам представления природоохранной деятельности – в качестве отдельной отрасли или в составе отраслей материального производства; по видам моделируемых объектов бывают модели прогноза атмосфероохранных мероприятий, охраны и воспроизводства водных ресурсов, использования земельных и лесных ресурсов и другие.

Рассмотрим класс балансовых моделей, в которых отражено загрязнение природных ресурсов, в основе структуры которых используется схема межотраслевого баланса. Этот класс моделей по уровню агрегирования информации относится к моделям макро- и мезоуровня, так как производственная деятельность в них рассматривается в отраслевом разрезе, а в отношении расположения объектов в про-

странстве модель является «точечной». Такого типа модели могут быть построены как на уровне народного хозяйства, так и на региональном уровне (для регионов, в которых имеются межотраслевые балансы общественного продукта).

Межотраслевые балансовые модели обладают рядом преимуществ в использовании для прогнозирования эколого-экономических процессов, так как позволяют учитывать отраслевую структуру экономики, межотраслевые взаимосвязи, технологические процессы в отраслях, влияние конечного потребления на уровень загрязнения окружающей среды. Решение экологических проблем в регионах должно рассматриваться с учетом отраслевых взаимосвязей. Решение региональных или отраслевых экологических проблем, например, строительство или модернизация крупных очистных сооружений, влечет за собой рост производства других, часто экологически агрессивных отраслей (металлургии, химической, энергетической, машиностроительной отраслей). Таким образом, улучшение экологической ситуации на конкретном производстве или территории может повлечь усугубление экологических проблем в регионе. Поэтому необходим межотраслевой подход в анализе и прогнозировании эколого-экономической ситуации в регионе.

В 1960-х гг. прошлого века первые авторы математических моделей, объединяющих очень обобщенные натурально-вещественные и стоимостные уравнения взаимосвязи природных и производственных процессов (Р. Айрес и А. Нис [1], Х. Дейли [2]), столкнулись с невозможностью практической реализации предложенных моделей в связи с отсутствием необходимой информации. Частично эта проблема была решена У. Айзардом [3], который в 1972 г. осуществил попытку найти решение подобной модели и внес существенный вклад в построение ее базы данных.

Однако автором более сложных межотраслевых моделей, учитывающих загрязнение окружающей природной среды, является известный американский экономист русского происхождения В. Леонтьев, создавший в 1970–1973 гг. более приспособленную для практических исследований модель межотраслевого баланса с учетом природоохранного сектора [4].

Классическая модель В. Леонтьева формулируется следующим образом (см. схему далее):

$$AX + Y = X \quad (1)$$

$$PX + R = Q, \quad (2)$$

или другие формы записи данной модели:

$$\begin{bmatrix} I - A & 0 \\ -P & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A & 0 \\ -P & I \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A)^{-1} & 0 \\ P(I - A)^{-1} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix},$$

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (3)$$

$$Q = P(I - A)^{-1}Y + R, \quad (4)$$

где

A – матрица коэффициентов прямых материальных затрат $a_{ij} = X_{ij}/X_j$ ($i, j = 1, \dots, n$),

P – матрица коэффициентов $p_{ij} = \bar{P}_{ij}/X_j$ ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$), характеризующих количество i -го вредного вещества, сопутствующее выпуску единицы продукции j -й отрасли;

X – вектор валовых выпусков производящих отраслей;

Y – вектор конечного продукта;

Q – вектор выбросов загрязнителей в окружающую природную среду;

R – вектор образования загрязнений домашними хозяйствами;

n – число отраслей;

m – число видов загрязняющих веществ.

В дальнейших работах В. Леонтьева представлена более общая таблица межотраслевого баланса (таблица «затраты-выпуск»), включающая процессы переработки загрязняющих природу веществ, а также процессы использования первичных природных факторов и утилизированных загрязнителей в сфере конечного потребления.

По «леонтьевскому» принципу американскими исследователями построена модель мировой экономики (где группы стран представлены как отдельные регионы), названную UNGIOM (United Nations Global Input-Output Model). Усложненная модель включает 15 регионов мира. Каждый регион представлен 175 уравнениями, которые с помощью 269 переменных описывают взаимосвязи между производством и потреблением товаров и услуг, включая межотраслевые балансы по 45 видам деятельности. Модель описывает выброс восьми типов веществ, загрязняющих среду, и пять видов деятельности по ее очищению. С помощью этой модели в 1970-х гг. прошлого века группой ученых под руководством В. Леонтьева был выполнен прогноз развития мировой экономики до 2000 г., известный как проект Организации объединенных наций «Будущее мировой экономики». В рамках проекта осуществлено исследование влияния загрязнения окружающей среды и соответствующей природоохранной деятельности на перспективы международного развития [5].

В конце 1980-х гг. в Институте экономического анализа Нью-Йоркского университета в США под руководством В. Леонтьева и Ф. Дучин с помощью модифицированной и расширенной UNGIOM было проведено исследование по прогнозированию роста национального и мирового хозяйства до 2030 г. с учетом загрязнения атмосферных природных ресурсов, результаты которого представлены в работе [6]. При работе с моделью прорабатывались сценарии развития отраслей народного хозяйства, роста численности населения, внедрения новых технологий по очистке загрязненных природных ресурсов на несколько последующих десятилетий. Для каждого сценария производился расчет выбросов различных загрязняющих веществ в окружающую среду, анализировалось их влияние на экономическую деятельность, моделировались другие показатели развития национального и мирового хозяйства. В Институте экономического анализа Нью-Йоркского университета в США также была разработана модель с утилизацией отходов биологического происхождения.

Схема классической межотраслевой экологической модели В. Леонтьева
The Leont classic input-output model with an environmental block

		Промежуточный спрос	Конечный спрос и загрязнение домашними хозяйствами	Выпуск и выбросы
		1 ... n		
Материальные затраты	1 ... n	$[X_{ij}]$	$[Y_i]$	$[X_i]$
Добавленная стоимость		$[V_j]$		
Общие затраты		$[X_j]$		
Загрязнения	1 ... m	$[\bar{P}_{ij}]$	$[R_i]$	$[Q_i]$

Модельные построения В. Леонтьева активно используются в прогнозировании экономического развития стран и регионов с учетом факторов загрязнения окружающей среды другими экономистами разных стран. Динамические межотраслевые модели с учетом природоохранных затрат предлагались в работах Д. Тзукуи и И. Муракани [7] на базе созданных в 1971–1975 гг. региональных и национальных балансов с выбросами NO_x , SO_x и твердыми отходами. В зависимости от доли затрат, выделяемых на природозащитные цели, в одной из моделей имитируются альтернативные стратегии (сценарии) эколого-экономического развития. В Национальном экологическом институте Японии (National Institute for Environmental Studies) разработана GLIO модель, оценивающая образование парниковых газов в процессе производства японских продуктов [8].

В аналогичном направлении ведутся исследования норвежским экономистом Т. Енсенем. Цель его разработок – расчет загрязнений воздуха на основе прогноза спроса на нефть и другое энергетическое сырье. В статье [9] описывается действие межотраслевой балансовой модели MODAG, используемой Министерством финансов Норвегии в целях макроэкономического регулирования. Модель позволяет делать прогнозы развития отраслей, определять размеры спроса на топливную нефть, бензин и другие продукты и материалы. Один из блоков модели использует эти данные для оценки выбросов загрязняющих атмосферу веществ. Влияние регулирующих мер, принимаемых в целях охраны воздушного бассейна (рекомендации фирмам в проведении мероприятий по охране окружающей среды, ужесточение налоговой политики в области использования топлива, рост цен на нефть и другие), учитывается через изменение коэффициентов выбросов.

Совместными усилиями исследователей Стэнфордского университета США и Токийского университета разработана экологическая модель, которая является более усовершенствованным вариантом моделей леонтьевского типа [10]. Также разработан еще один вариант функционирования этой модели – с учетом деятельности по переработки отходов (I-O model for Life-Cycle Analysis), однако авторы не приводят результатов практических расчетов по разработанным моделям на основе реальной статистической информации, из чего можно сделать вывод о теоретическом характере моделей.

В Мэрилендском университете США научно-исследовательской группой Inforum создана по принципу «затраты-выпуск» 97-отраслевая балансовая модель LIFT, с помощью которой выполнен долгосрочный прогноз развития американской экономики до 2020 г. [11]. Данную модель отличает сочетание балансовых и эконометрических уравнений. С помощью последних моделируются процессы ценообразования, инвестирования, создания добавленной стоимости. В модели принимается гипотеза о пропорциональности выбросов парниковых газов потреблению ископаемого топлива. На основе результатов прогноза обосновывается необходимость использования налога на углерод в целях снижения нагрузки на окружающую природную среду. Модельные расчеты показывают возможность одновременного снижения эмиссии углерода и роста ВВП за счет повышения эффективности использования энергии.

Описанный выше подход группы Inforum применен в университете г. Лодзь для построения IMPEC модели польской экономики [12]. Модель позволяет прогнозировать влияние изменения цен энергоресурсов на экономическое развитие

и выбросы загрязняющих атмосферу веществ. Прогнозные расчеты до 2020 г. показывают, что рост цен на энергоносители приведет к незначительному снижению ВВП (на 0,2 процентных пункта) и существенному снижению выбросов в атмосферу парниковых газов. Аналогичный подход используется в университете Инсбрука для прогнозирования эколого-экономического развития Австрийской экономики [13].

Активно развивается межотраслевое моделирование экономики с учетом экологических последствий в Нидерландах, где с конца 1980-х гг. разрабатывается статистический комплекс NAMEA (National Accounting Matrix including Environmental Accounts), в котором представлены экономические показатели и экологические характеристики, включающие данные о загрязнении водных, воздушных ресурсов и почв [14]. На базе данного комплекса проводятся статистические, эконометрические исследования и прогнозные расчеты с использованием межотраслевых моделей, например, межрегиональной межотраслевой модели MRIO (Multy-Regional Input Output model). С использованием данной модели проводятся расчеты для экономик Нидерландов, Австрии, Германии, США, Японии и других стран [15]. В Европейском институте исследований устойчивого развития SERI (Sustainable Europe Research Institute, Австрия) проводится моделирование процессов загрязнения водных и воздушных ресурсов на основе модельного комплекса, включающего MRIO и модель GRAM (Global Resource Accounting Model). Последняя модель содержит 53 страны, два региона (ОПЕК и остальной мир), 48 отраслей экономики и оценивает объемы потребления воды и выбросов углерода в зависимости от различных сценариев развития потребительского рынка [16].

Статистические комплексы NAMEA и созданные на их базе межотраслевые модели также получили широкое распространение. С помощью итальянской NAMEA изучается зависимость выбросов CO_2 и SO_x от цен на энергоносители и налогов на выбросы [17]. Первая польская NAMEA была разработана для 1995 г. и представлена в 2002 г. Она учитывала 20 отраслей, включая сектор «домашние хозяйства», 7 загрязняющих веществ, 21 вид энергоносителей и 4 вида невозобновляемых энергетических ресурса (черный и бурый уголь, нефть и природный газ) [18].

Среди российских представителей экологической экономики, активно использующих межотраслевой подход, можно выделить К. К. Гофмана, А. А. Гусева, Е. В. Рюмину, Е. П. Ушакова, Н. К. Закирова, К. Б. Львовскую, П. И. Сафонова, М. Я. Антоновского, С. В. Дубовского, А. Ф. Миронычева, С. Н. Осипова, О. В. Кудрявцеву, А. А. Ляпину, Е. С. Ивлеву, С. Ю. Шарова [19–29]. Особенно хочется отметить (в связи с научным интересом авторов) исследования, которые были начаты в конце 70-х гг. в Сибирском отделении Академии наук, посвященные решению проблемы сохранения озера Байкал. Были инициированы работы по построению социо-эколого-экономической модели региона, в которой помимо традиционных отраслей выделялся природо-социовосстановительный сектор. Исследования были продолжены Е. В. Рюминой, В. И. Гурманом, В. В. Лучшевой и другими исследователями в Институте проблем рынка РАН, Институте программных систем РАН [30], в Институте динамики систем и теории управления СО РАН [31] на примере Байкальского и других регионов.

Необходимо отметить, что в основном моделируются проблемы, связанные с экологическим состоянием водных и атмосферных ресурсов, но в последнее время активизировался интерес к проблемам моделирования систем обращения с отходами. Например, в работе [32] анализируются процессы накопления твердых отходов в странах Евросоюза, представлена региональная модель, где в качестве регионов рассматриваются страны ЕС. Авторы статьи [33] строят модель рециклинга, позволяющую провести эмпирический анализ последствий рециклинга с использованием данных муниципалитетов Великобритании с 2004 по 2013 г. Влияние рынка вторичного сырья на сокращение накопленных отходов оценивается эмпирически с использованием регрессионной модели фиксированных эффектов в работе [34].

Однако используемые в мировой практике модельные подходы, учитывающие процессы обращения с отходами, часто носят теоретический характер и не используют межотраслевые методы. Некоторые исследования в этом направлении все-таки удастся найти в научной литературе (ранее была отмечена расширенная модель UNGIOM с учетом отходов биологического происхождения и модель I-O model for Life-Cycle Analysis с учетом деятельности по переработки отходов). В статье [35] изложены теоретические модели, которые являются усовершенствованным вариантом моделей леонтьевского типа, учитывающим деятельность по переработке отходов.

Подводя итог, обратим внимание, что многие вышеназванные модели не применимы на практике из-за сложностей в построении информационной базы. Часто для их апробации используется условная информация. Проблема особенно остро стоит в региональных и межрегиональных исследованиях. Модельные комплексы регионов, учитывающие экологические проблемы, довольно часто не всегда используют межотраслевые подходы, либо используют их в ограниченном формате, преимущественно без практического применения. Или наоборот, в региональных моделях отражены узкоспециализированные межотраслевые связи конкретного региона, таким образом модель не имеет общего применения. Как нам кажется, в динамической межотраслевой модели с экологическим блоком, разработанной в Институте экономики и организации промышленного производства и Новосибирском государственном университете (описание которой представлено ниже), удалось избежать изложенных выше недостатков.

В отличие от представленных выше подходов различных исследователей, предложенная модель **позволяет моделировать любой вид загрязнения** (загрязненные сточные воды, выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходы производства и потребления), для описания которого существует статистическая информация. Данная модель построена на основе базовой динамической межотраслевой модели, включенной в систему КАМИН (система Комплексного Анализа Межотраслевой ИНформации) [36]. Авторы имеют опыт использования данной модели на макроуровне (она применялась для прогнозирования объемов выбросов загрязняющих атмосферу веществ и сбросов загрязненных сточных вод в РФ). В настоящее время модель адаптирована для моделирования развития экономики региона. Адаптация модели заключается в том, что все ее параметры определяются не для макро уровня, а для экономики региона, для которого разрабатывается модель. Например, в макроэкономической ДММ используются величины экспорта

и импорта, а региональной ДММ – показатели ввоза (включая импорт) и вывоза (включая экспорт) продукции и услуг в регион и из региона. В макро модели рассчитывается показатель ВВП, а в региональной модели – валового регионального продукта и т. д. Таким образом, экзогенные и эндогенные показатели ДММ региона имеют совершенно иную интерпретацию по сравнению с соответствующей моделью макро уровня.

Также в модели рассматривается еще один вид загрязнения – накопление отходов производства и потребления. Как было отмечено выше, данный вид воздействия на окружающую природную среду редко учитывается в межотраслевых моделях, описывающих загрязнение природных ресурсов.

В описании модели используются следующие параметры.

Экономическая система включает n видов экономической деятельности (отраслей), из которых отрасли $1, \dots, m$ относятся к первому подразделению (производство средств производства и услуг, формирующих промежуточное потребление). В составе первого подразделения $1, \dots, k$ – фондосоздающие отрасли, а $k + 1, \dots, m$ – нефондосоздающие. Виды экономической деятельности $m + 1, \dots, n$ относятся ко второму подразделению (производство предметов потребления и услуг, формирующих конечное потребление домашних хозяйств), T – число периодов времени прогнозирования.

$a_{ij}(t)$ – коэффициенты прямых материальных затрат продукции отрасли i на производство единицы продукции отрасли j в период времени t ;

$c_{kj}(t)$ – коэффициенты трудоемкости продукции отрасли j по k -му виду трудовых ресурсов в период времени t ;

ϑ_{ij} – строительный лаг в j -й отрасли по i -му виду основных фондов;

$k_{ij}(t, \tau)$ – коэффициент выбытия основных фондов i -го вида в j -й отрасли возраста τ в период времени t ;

$B_{ij}(t)$ – ввод в действие основных фондов (основного капитала) i -го вида в j -й отрасли в период времени t ;

$K_{ij}(t, t + \tau)$ – инвестиции в основной капитал i -го вида в j -й отрасли в году t в объекты, вводимые в действие в период времени $t + \tau$;

$K_{ij}^*(t)$ – общий объем инвестиций в основной капитал i -го вида в j -й отрасли в период времени t ;

$\mu_{ij}(t, \tau)$ – коэффициент, показывающий, какая доля ввода в действие основных фондов в j -й отрасли региона в период времени $t + \tau$ формируется за счет инвестиций в основной капитал i -го вида периода t , так что

$$\mu_{ij}(t, \tau) = K_{ij}(t, t + \tau) / \left(\sum_{i=1}^k B_{ij}(t + \tau) \right);$$

$L_h(t)$ – численность h -го вида трудовых ресурсов, которые потенциально могут быть заняты в производстве в периоде t ;

$F_{ij}(t, t - \tau)$ – основные фонды (основной капитал) i -го вида в j -й отрасли на конец года t , введенные в периоде $t - \tau$;

$F_{ij}^*(t)$ – основные фонды (основной капитал) i -го вида в j -й отрасли на конец периода времени t ;

$N_{ij}(t)$ – незавершенное строительство основных фондов i -го вида в j -й отрасли на конец периода t ;

$\mathcal{E}_j(t)$ – вывоз продукции отрасли j из региона в период t (включая экспорт);

$I_j(t)$ – ввоз продукции отрасли j в регион в период t (включая импорт);

$f_j(t)$ – взвешивающие коэффициенты продукции j -й отрасли в целевом функционале экономической системы;

$G_i^l(t)$ – объем образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l в i -й отрасли в году t ;

$G^l(t)$ – совокупный объем образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l в году t ;

$g_i^l(t)$ – коэффициент образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l при производстве единицы продукции в отрасли i в году t ;

$D^l(t)$ – объем образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l домашними хозяйствами в году t ;

$U^l(t)$ – объем уничтожения загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l в общем объеме его образования в году t ;

$\gamma_i^l(t)$ – доля уничтожения загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l в i -й отрасли в общем объеме его образования в году t ;

$P^l(t)$ – объем загрязнения (загрязняющего вещества), попавшего в окружающую природную среду в году t .

Воспроизводство основных фондов в ДММ (динамической межотраслевой модели) с учетом распределенных во времени инвестиционных лагов описывается как процесс обмена использованного продукта фондосоздающих отраслей периода t на ввод в действие основных фондов периода t , который опосредуется изменением объема незавершенного строительства.

Применение лаговых показателей позволяет увязать процесс производства продукции фондосоздающими отраслями машиностроения и строительства, а также ввоза и вывоза продукции этих отраслей в каждом периоде времени с предшествующими и последующими периодами. Часть произведенного продукта фондосоздающих отраслей экономической системы региона каждого периода обеспечивает продолжение строительства объектов, начатое ранее, часть вывозится. Это обуславливает связанность инвестиций в основной капитал и, следовательно, за-

висимость их объема, отраслевой и технологической структуры от инвестиций в основной капитал предшествующих периодов времени и от объемов ввоза продукции фондосоздающих отраслей. Ввод в действие основных фондов в каждый период времени формируется по материально-вещественному составу за счет использованного продукта машиностроения и строительства ряда предыдущих периодов и данного периода времени. В состав незавершенного строительства j -й отрасли ($1 \leq j \leq n$) в период t поступает продукция i -й фондосоздающей отрасли в объеме $K_{ij}^*(t)$ и распределяется по слоям незавершенного строительства. Инвестиции в основной капитал определяются по формуле:

$$K_{ij}^*(t) = \sum_{u \geq 0} K_{ij}(t, t+u). \quad (5)$$

Ввод в действие основных фондов $B_{ij}(t)$ периода t в j -й отрасли региона формируется из использованного продукта i -й фондосоздающей отрасли по формуле:

$$B_{ij}(t) = \sum_{u \geq 0} K_{ij}(t-u, t). \quad (6)$$

Объем инвестиций в основной капитал $K_{ij}(t, t+u)$ в слой незавершенного строительства, вводимый в периоде $t+u$, вычисляется через ввод в действие основных фондов этого периода по формуле:

$$K_{ij}(t, t+u) = \mu_{ij}(t, u) \sum_{i=1}^k B_{ij}(t+u). \quad (7)$$

Коэффициенты $\mu_{ij}(t, u)$ являются интегральной характеристикой ввода в действие основных фондов, зависящей от технологии и интенсивности строительства объектов в отрасли j . При этом технология строительства состоит из конечного числа стадий. Тогда инвестиции в основной капитал определяются по формуле:

$$K_{ij}(t, t+u) = \sum_v \left(\xi_j(t, t+u, v) \eta_{ij}(t+u, v) \sum_{i=1}^k B_{ij}(t+u) \right), \quad (8)$$

где $\eta_{ij}(t+u, v)$ – доля ввода в действие основных фондов i -го вида в j -й отрасли в период $t+u$, которая формируется в v -й стадии строительства; $\xi_j(t, t+u, v)$ – часть v -й стадии, выполненная в t -м периоде (за u периодов до ввода данного слоя). Коэффициенты $\eta_{ij}(t+u, v)$ определяются методами математической статистики через отчетные данные по инвестициям в основной капитал и незавершенному строительству, а также по отчетным и прогнозным данным о вводе в действие основных фондов в отраслях народного хозяйства. В зависимости от ожидаемых инвестиций в основной капитал несколько последовательных стадий могут быть выполнены в течение одного периода или одна стадия может продолжаться несколько периодов. Формулы (7), (8) – базовые для определения объемов инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности региональ-

ной экономики через ожидаемые вводы в действие основных фондов. Дополнительные управляющие параметры $\xi_j(t, t+u, v)$ в формуле (8) дают возможность прогнозировать согласованный ввод в действие основных фондов и инвестиций в основной капитал в условиях изменяющихся во времени сроков строительства. Для этого в нормативах $\xi_j(t, t+u, v)$ учитывается ускорение или замедление интенсивности капитального строительства.

Рекуррентные соотношения по пересчету незавершенного строительства описываются формулой:

$$N_{ij}(t) = N_{ij}(t-1) - \sum_{u=1}^{g_{ij}-1} K_{ij}(t-u, t) + \sum_{u=1}^{g_{ij}-1} K_{ij}(t, t+u). \quad (9)$$

Рекуррентные соотношения для определения объема основных фондов i -го вида в j -й отрасли возраста u на конец периода t задаются формулой:

$$F_{ij}(t, 0) = B_{ij}(t), F_{ij}(t, u) = F_{ij}(t-1, u-1)(1 - \kappa_{ij}(t, u)). \quad (10)$$

Модель воспроизводства основных фондов (5)–(10) используется для определения инвестиций в основной капитал и их видовой структуры по отраслям через ожидаемый ввод в действие основных фондов с учетом строительного лага и режима $\xi_j(t, t+u, v)$ функционирования инвестиционного комплекса.

Произведенный валовой выпуск i -й фондосоздающей отрасли $x_i(t)$ в период t определяется по формуле:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n K_{ij}^*(t) + S_i(t) + \Pi_i(t). \quad (11)$$

Баланс производства и использования продукции нефондосоздающих отраслей первого подразделения имеет следующий вид:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j(t) + S_i(t) + \Pi_i(t), k < i \leq m. \quad (12)$$

Соотношения для формирования продукции отраслей второго подразделения представляются в виде:

$$x_i(t) = Q_i(x_i(t-1), S_i(t-1), \lambda, t) + S_i(t), m < i \leq n, \quad (13)$$

где Q_i – отображения, синтезирующие структуру и динамику потребностей (обычно это монотонно возрастающие функции параметра λ).

Ограничения по трудовым ресурсам описываются системой неравенств:

$$\sum_{j=1}^n c_{kj}(t)x_j(t) \leq L_k(t), k = 1, \dots, l. \quad (14)$$

Обозначим через Ω множество траекторий развития экономической системы региона $x_j(t)$, удовлетворяющие в каждый период времени t ограничениям (5)–(6), (8)–(14) и сформулируем оптимизационную задачу:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n f_j(t) x_j(t) \Rightarrow \max, x \in \Omega. \quad (15)$$

Решение задачи (15) при вводах в действие основных фондов $B_{ij}(t)$, трудовых ресурсах $L_k(t)$, а также нормативах $\eta_{ij}(t+u, v)$, $\xi_j(t, t+u, v)$, $\kappa_{ij}(t, u)$, $a_{ij}(t)$, $S_i(t)$, $c_j(t)$ для каждого периода времени из $[0; T]$, дает систему показателей развития экономической системы региона, включая валовой выпуск $x_j(t)$, инвестиции в основной капитал $K_{ij}^*(t)$, вводы в действие основных фондов $B_{ij}(t)$ и основные фонды на конец каждого периода времени, объем которых можно определить следующим образом:

$$F_{ij}^*(t) = \sum_{u \geq 0} F_{ij}(t, u). \quad (16)$$

Экологический блок ДММ региона включает представленные ниже уравнения.

Объем образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l в году t можно определить по формулам (17) и (18). Пусть $l \leq z$, где z – число видов рассматриваемых загрязнений. На данном этапе исследования были включены в модель три вида загрязнителей ($z = 3$): загрязненные сточные воды, загрязняющие атмосферу вещества, отходы производства и потребления.

$$G_i^l(t) = g_i^l(t) x_i(t) \quad (17)$$

$$G^l(t) = \sum_{i=1}^n G_i^l(t) + D^l(t) \quad (18)$$

Объем уничтожения загрязнителя вида l (очистки загрязненных сточных вод, улавливания загрязняющих атмосферу веществ, утилизации отходов производства и потребления) в общем объеме его образования в году t можно определить по формуле:

$$U^l(t) = \sum_{i=1}^n \gamma_i^l(t) G_i^l(t) \quad (19)$$

Формула, определяющая объем загрязнения, попавшего в окружающую природную среду (сброс загрязненных сточных вод, выбросы загрязняющих атмосферу веществ, прирост накопленных отходов производства и потребления) в году t , представляет следующий вид:

$$P^l(t) = G^l(t) - U^l(t) \quad (20)$$

Информационная балансовая база ДММ региона с экологическим блоком включает следующие основные элементы:¹

- $x_j(0)$ – вектор валового выпуска по отраслям в базовом году, $j = 1, \dots, n$;
- $S_j(t)$ – вектор сальдо ввоза - вывоза, $t = 0, \dots, T$; $j = 1, \dots, n$;
- $\Delta z_j(t)$ – вектор приростов запасов $t = 0, \dots, T$; $j = 1, \dots, n$;
- $\Pi_j(t)$ – вектор потерь $t = 0, \dots, T$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|F_{ij}(0)\|$ – матрица основных фондов в базовом году по отраслям j по видам основных фондов i , $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|B_{ij}(0)\|$ – матрица ввода в действие основного капитала по видам i по отраслям j в базовом году, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$; $t = 1, \dots, T$;
- $\|K_{ij}(0)\|$ – матрица коэффициентов выбытия основных фондов по видам основного капитала i по отраслям j в базовом году, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|\theta_{ij}\|$ – матрица коэффициентов структуры распределенного лага, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|a'_{ij}\|$ – матрица изменений коэффициентов прямых материальных затрат, $i = k + 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|c'_{kj}\|$ – матрица изменения трудоемкости продукции в отрасли j по k -му виду трудовых ресурсов, $k = 1, \dots, l$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|b_{ij}(0)\|$ – матрица фондоемкости продукции (отрасли j по i -му виду основных фондов) в базовом году, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|K_{ij}(0)\|$ – матрица инвестиций в основной капитал в базовом году по отраслям j по видам i (в активную и пассивную часть ОФ), $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|BB_{ij}(0)\|$ – матрица возмещения выбытия фондов по всем видам капитала (активная и пассивная части ОФ) в базовом году, $i = k + 1, \dots, \tilde{l}$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|\Delta F_{ij}(0)\|$ – матрица прироста основных фондов по видам i по отраслям j в базовом году, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$;
- $\|N_{ij}(0)\|$ – матрица приростов «незавершённого строительства» по видам основного капитала i по отраслям j в базовом году, $i = 1, \dots, k$; $j = 1, \dots, n$.

Основными элементами информационной базы экологического блока ДММ являются коэффициенты образования загрязнителя (загрязняющего вещества) вида l при производстве единицы продукции в каждой отрасли (удельное образование загрязненных сточных вод и загрязняющих атмосферу веществ, показатели отхоемкости). Для базового года t_0 коэффициенты определяются делением объемов образования соответствующего загрязнителя на валовой выпуск в базовом году. Относительно изменения коэффициентов в каждом году прогнозируемого периода можно принимать гипотезы о совершенствовании производственных технологий с точки зрения их влияния на окружающую среду (снижать коэффициенты) или оставлять их на уровне базового года (анализ показывает, что в краткосрочном периоде эти показатели существенно не меняются). Также в экологическом блоке задействованы показатели, характеризующие доли очистки загрязненных сточных вод, степень улавливания атмосферных загрязнений, доли утили-

¹ Базовый год, для которого разрабатывается информационная балансовая база ДММ обозначается как нулевой, $t = 0$.

зации и обезвреживания отходов производства и потребления. Эти экзогенные переменные также определяются на основе реальных статистических данных и гипотез относительно направлений природоохранной политики, принимаемых в прогнозных расчетах.

В дальнейших исследованиях предполагается проведение расчетов с использованием предложенной модели по прогнозированию эколого-экономического развития Республики Бурятия. При построении информационной базы модели на основе реальной статистики будут учтены региональные особенности региона.

Список литературы

1. **Ayres U., Kneese A.** Production, Consumption and Externalities // *American Economic Review*. 1969. № 3 (Vol. 59): 289–298.
2. **Daly H.** On Economics as a Life Science // *The Journal of Political Economy*. 1968. № 3 (Vol. 76): 392–406.
3. **Isard W.** *Ecologic-Economic Analysis for Regional Development*. N.Y.: The Free Press, 1972. P. 270.
4. **Леонтьев В., Форд Д.** Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду // *Экономика и математические методы*. 1972. Т. 8 (3). С. 370–399.
5. **Суслов Н.И.** Проект ООН «Будущее мировой экономики»: что не сбылось? // *ЭКО*. 2011. № 12. С. 82–101.
6. **Duchin F., Lange G.** *Strategies of Environmentally Sound Development: an Input-Output Analysis*. N. Y.: Institute for Economic Analysis, 1989. P. 375.
7. **Tsukui J., Murakany Y.** *Turnpike Optimality in Input-Output Systems: Theory and Application for Planning*. N.Y.: Kluwer Academic Publishers, 1977. P. 217.
8. **Nansai K., Kagawa S. et al.** Improving the Completeness of Product Carbon Footprints using a Global Link Input-Output Model: the Case of Japan // *Economic Systems Research*. 2009. № 3 (Vol. 21): 267–290.
9. **Johnsen T.** *Modelling of Future Emissions to Air in Norway*. Norway: Central Bureau of Statistics, 1989. P. 117.
10. **Pan X., Kraines S.** *Environmental Input-Output Models for Life-Cycle Analysis // Asia-Pacific Research Center*. USA: Stanford University Press, 2000. P. 318.
11. **Hoerner A., Barrett J., Meade D.** A Sustainable Economy: Analysis of a Comprehensive Approach to Climate Change and Energy Policy // XIV International Conference on Input-Output Techniques at the University of Quebec in Montreal, Canada, 2002, October. Montreal: University Press, 2002: 10–15.
12. **Boratyński J., Plich M., Przybyliński M.** Modeling Economic and Social Impacts of Energy Prices in the Polish Economy // *Recent Developments in INFORUM-type Modeling* / ed. by Plich M., Przybyliński M. Poland: University of Lodz, 2007. P. 217.
13. **Richter J.** The Statistical Environment of Inforum Models // *Energy Policy and International Competitiveness* / ed. by M. Grassini, R. Bardazzi. – Firenze: Firenze University Press, 2009. – Pp. 243.

14. **Keuning S.J., Steenge A.E.** Environmental Extensions of National Accounts: the NAMEA Framework // *Structural Change and Economic Dynamics*. 1999. № 1 (Vol. 10): 3–13.
15. **Bouwmeester M. C., Oosterhaven J., Duchin F.** Consumption-based environmental accounting of CO2 emissions and water use in a world-wide multi-regional input-output framework // *Materials of ISEE Conference 2010*. Germany: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. P. 227.
16. **Bruckner M., Wiebe K., Lutz C., Giljum S.** CO2 embodied in international trade – Evidence for carbon leakage between 1995 and 2005 // *Materials of ISEE Conference 2010*. Germany: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. P. 227.
17. **Marin G.** Sector CO2 and SOx Emissions Efficiency and Productivity: Homogeneous and Heterogeneous Estimates using the Italian NAMEA// *Materials of ISEE Conference 2010*. Oldenburg: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. P. 226.
18. **Plich M.** Environmental Extension of Inforum-Type Model for Poland with Use of NAMEA // *Structural Changes, International Trade and Multisectoral Modelling*. Florence: Firenze University Press, 2008. P. 318.
19. **Антоновский М. Я., Литвин В. А., Тер-Микаэлян М. Т.** Методология построения балансовых эколого-экономических моделей // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 218 с.
20. **Гофман К. Г., Гусев А. А.** Экологические издержки и концепция экономического оптимума качества окружающей природной среды // *Экономика и математические методы*. 1981. Т. 17 (3). С. 515–527.
21. **Ушаков Е. П., Закиров Н. К. и др.** Экономические проблемы оптимизации водоохранной деятельности. М.: Наука, 1987. 176 с.
22. **Львовская К. Б.** О влиянии средозащитной стратегии на эколого-экономическое развитие // *Экономика и математические методы*. 1988. Т. 24 (3). С. 438–446.
23. **Дубовский С. В., Миронычев А. Ф., Осипов С. Н.** Экологические последствия альтернатив социально-экономического развития России в переходный период // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. М.: ВИНТИ. 1994. № 5. С. 73–74.
24. **Safonov P. I.** Dynamic Ecology-Economy Interactions Modelling: Some Experience and Perspectives of Application in Russian and German Context // *International Conference "Ecology, Society, Economy"*. Versailles, France, May, 1996: 118–204.
25. **Ляпина А. А.** Экономика, экология, затраты. М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 1997. 95 с.
26. **Ивлева Е. С.** Экологический фактор экономического роста. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 1999. 100 с.
27. **Шаров С. Ю.** Индикаторы устойчивого развития России (эколого-экономические аспекты). Гл. 4, 6 / под ред. С. Н. Бобылева, П. А. Макеевко. М.: ЦПРП, 2001. 220 с.

28. **Кудрявцева О. В.** Экологическая эффективность на макроуровне: потоки ресурсов, модель межотраслевого баланса и экспорт воды в российской экономике // Экономика и математические методы. Т. 44(4). 2008. С. 39–48.
29. **Рюмина Е. В.** Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. М.: Наука, 2009. 331 с.
30. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / под ред. В. И. Гурмана, Е. В. Рюминой. М.: Наука, 2001. 175 с.
31. **Гурман В. И., Матвеев Г. А., Трушкова Е. А.** Социо-эколого-экономическая модель региона в параллельных вычислениях // Управление большими системами. 2011. № 32. С. 109–130.
32. **Rogge N., De Jaeger S., Lavigne C.** Waste Performance of NUTS 2-regions in the EU: A Conditional Directional Distance Benefit-of-the-Doubt Model // Ecological Economics. 2017. Vol. 139. P. 19–32.
33. **Abbott A., Nandeibam S., O'Shea L.** The Displacement Effect of Convenience: The Case of Recycling // Ecological Economics. 2017. Vol. 136. P. 159–168.
34. **Fremstad A.** Does Craigslist Reduce Waste? Evidence from California and Florida // Ecological Economics. 2017. Vol. 132. P. 135–143.
35. **Асхакова Ф. Х.** Решение плохо обусловленной модели, двойственной к модели Леонтьева-Форда, учитывающей утилизацию вредных отходов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 3. С. 87–93.
36. **Баранов А. О., Гильмундинов В. М., Павлов В. Н.** Исследование экономики России с использованием межотраслевых моделей. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 2001. 198 с.

References

1. **Ayres U., Kneese A.** Production, Consumption and Externalities. *American Economic Review*. 1969. № 3 (Vol. 59): 289–298.
2. **Daly H.** On Economics as a Life Science. *The Journal of Political Economy*. 1968. № 3 (Vol. 76): 392–406.
3. **Isard W.** Ecologic-Economic Analysis for Regional Development. N.Y.: The Free Press, 1972.. 270 p
4. **Leontiev V., Ford D.** Mezhotraslevoy analiz vozdeystviya struktury ekonomiki na okruzhayushchuyu sredu // *Ekonomika i matematicheskie metody*. 1972. Т. 8 (3). p. 370–399. (in Russ.)
5. **Suslov N. I.** Proekt OON «Budushchee mirovoy ekonomiki»: chto ne sbylos"? *EKO*. 2011. № 12. p. 82–101. (in Russ.)
6. **Duchin F., Lange G.** Strategies of Environmentally Sound Development: an Input-Output Analysis. N. Y.: Institute for Economic Analysis, 1989. 375 p.
7. **Tsukui J., Murakany Y.** Turnpike Optimality in Input-Output Systems: Theory and Application for Planning. – N.Y.: Kluwer Academic Publishers, 1977. 217 p.
8. **Nansai K., Kagawa S. et al.** Improving the Completeness of Product Carbon Footprints using a Global Link Input-Output Model: the Case of Japan. *Economic Systems Research*. 2009. № 3 (Vol. 21): 267–290.

9. **Johnsen T.** Modelling of Future Emissions to Air in Norway. Norway: Central Bureau of Statistics, 1989. 117 p.
10. **Pan X., Kraines S.** Environmental Input-Output Models for Life-Cycle Analysis. Asia-Pacific Research Center. USA: Stanford University Press, 2000. 318 p.
11. **Hoerner A., Barrett J., Meade D.** A Sustainable Economy: Analysis of a Comprehensive Approach to Climate Change and Energy Policy. In: Proceedings XIV International Conference on Input-Output Techniques at the University of Quebec in Montreal, Canada, 2002, October. Montreal: University Press, 2002: 10–15.
12. **Boratyński J., Plich M., Przybyliński M.** Modeling Economic and Social Impacts of Energy Prices in the Polish Economy. In: Recent Developments in INFORUM-type Modeling / ed. by Plich M., Przybyliński M. Poland: University of Lodz, 2007. 217 p.
13. **Richter J.** The Statistical Environment of Inforum Models. In: Energy Policy and International Competitiveness / ed. by M. Grassini, R. Bardazzi. Firenze: Firenze University Press, 2009. 243 p.
14. **Keuning S.J., Steenge A.E.** Environmental Extensions of National Accounts: the NAMEA Framework. *Structural Change and Economic Dynamics*. 1999. № 1 (Vol. 10): 3–13.
15. **Bouwmeester M. C., Oosterhaven J., Duchin F.** Consumption-based environmental accounting of CO2 emissions and water use in a world-wide multi-regional input-output framework. Materials of ISEE Conference 2010. Germany: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. P. 227.
16. **Bruckner M., Wiebe K., Lutz C., Giljum S.** CO2 embodied in international trade – Evidence for carbon leakage between 1995 and 2005. Materials of ISEE Conference 2010. Germany: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. P. 227.
17. **Marin G.** Sector CO2 and SOx Emissions Efficiency and Productivity: Homogeneous and Heterogeneous Estimates using the Italian NAMEA. Materials of ISEE Conference 2010. Oldenburg: Press of Carl von Ossietzky Oldenburg University, 2010. 226 p.
18. **Plich M.** Environmental Extension of Inforum-Type Model for Poland with Use of NAMEA. In: Structural Changes, International Trade and Multisectoral Modelling. Florence: Firenze University Press, 2008. 318 p.
19. **Antonovskiy M. Ya., Litvin V. A., Ter-Mikaelyan M. T.** Metodologiya postroeniya balansovykh ekologo-ekonomicheskikh modeley. In: Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. L.: Gidrometeoizdat, 1980. 218 p. (in Russ.)
20. **Gofman K. G., Gusev A. A.** Ekologicheskie izderzhki i kontseptsiya ekonomicheskogo optimuma kachestva okruzhayushchey prirodnoy sredy. *Ekonomika i matematicheskie metody*. 1981. T. 17 (3). p. 515–527. (in Russ.)
21. **Ushakov E. P., Zakirov N. K. et al.** Ekonomicheskie problemy optimizatsii vodookhrannoy deyatel'nosti. M.: Nauka, 1987. 176 p. (in Russ.)
22. **Lvovskaya K. B.** O vliyaniy sredozashchitnoy strategii na ekologo-ekonomicheskoe razvitie. *Ekonomika i matematicheskie metody*. 1988. T. 24(3). p. 438–446. (in Russ.)

23. **Dubovskiy S. V., Mironychev A. F., Osipov S. N.** Ekologicheskie posledstviya al'ternativ sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii v perekhodnyy period. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnkh resursov*. M.: VINITI. 1994. № 5. p. 73–74. (in Russ.)
24. **Safonov P. I.** Dynamic Ecology-Economy Interactions Modelling: Some Experience and Perspectives of Application in Russian and German Context. International Conference "Ecology, Society, Economy". Versailles, France, May, 1996. P. 118–204.
25. **Lyapina A. A.** Ekonomika, ekologiya, zatraty. M.: MSU, TEIS, 1997. 95 p. (in Russ.)
26. **Ivleva E.S.** Ekologicheskii faktor ekonomicheskogo rosta. SPb.: publ. SPbGUEF, 1999. 100 p. (in Russ.)
27. **Sharov S. Yu.** Indikatory ustoychivogo razvitiya Rossii (ekologo-ekonomicheskie aspekty). M., 2001. 220 p. (in Russ.)
28. **Kudryavtseva O. V.** Ekologicheskaya effektivnost' na makrourovne: potoki resursov, model' mezhotraslevogo balansa i eksport vody v rossiyskoy ekonomike. *Ekonomika i matematicheskie metody*. T. 44 (4). 2008. p. 39–48. (in Russ.)
29. **Ryumina E. V.** Ekonomicheskii analiz ushcherba ot ekologicheskikh narusheniy. M.: Nauka, 2009. 331 p. (in Russ.)
30. Modelirovanie sotsio-ekologo-ekonomicheskoy sistemy regiona. M.: Nauka, 2001. 175 p. (in Russ.)
31. **Gurman V. I., Matveev G. A., Trushkova E. A.** Sotsio-ekologo-ekonomicheskaya model' regiona v parallel'nykh vychisleniyakh. *Upravlenie bol'shimi sistemami*. 2011. № 32. P. 109–130. (in Russ.)
32. **Rogge N., De Jaeger S., Lavigne C.** Waste Performance of NUTS 2-regions in the EU: A Conditional Directional Distance Benefit-of-the-Doubt Model. *Ecological Economics*. 2017. Vol. 139. P. 19–32.
33. **Abbott A., Nandeibam S., O'Shea L.** The Displacement Effect of Convenience: The Case of Recycling. *Ecological Economics*. 2017. Vol. 136. P. 159–168.
34. **Fremstad A.** Does Craigslist Reduce Waste? Evidence from California and Florida. *Ecological Economics*. 2017. Vol. 132. P. 135–143.
35. **Askhakova F. Kh.** Reshenie plokhobuslovennoy modeli, dvoystvennoy k modeli Leont'eva-Forda, uchityvayushchey utilizatsiyu vrednykh otkhodov. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*. 2016. № 3. p. 87–93.
36. **Baranov A. O., Gilmundinov V. M., Pavlov V. N.** Issledovanie ekonomiki Rossii s ispol'zovaniem mezhotraslevykh modeley. Novosibirsk: Nauka, 2001. 198 p. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию 01.06.2020

Принят к печати 11.08.2020

The article was submitted 01.06.2020

Accepted for publication 11.08.2020

Сведения об авторах

Баранов Александр Олегович, д.э.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия); заведующий кафедрой экономической теории, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия)

baranov@ieie.nsc.ru

SPIN-код 72841

ORCID 0000-0001-8597-9788

Scopus Author ID 7201565132

Research ID R-5910-2016

Павлов Виктор Николаевич, д.т.н., профессор, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия)

victor_n_pavlov@mail.ru

SPIN-код 71739

ORCID 0000-0001-7829-1635

Scopus Author ID 7402575976

Тагаева Татьяна Олеговна, д.э.н., доцент, ведущий научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия); профессор кафедры экономической теории, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия)

to-tagaeva@rambler.ru

SPIN-код 71056

ORCID 0000-0002-9467-6436

Scopus Author ID 6507464776

Слепенкова Юлия Михайловна, к.э.н., научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (Новосибирск, Россия); старший преподаватель, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия)

juliaslepenkova@yandex.com

SPIN-код 835193

ORCID 0000-0002-8683-7818

Scopus Author ID 57204551472

Research ID L-2003-2018

Information about the Authors

Alexander O. Baranov, doctor of sciences (economics), deputy director, Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); head of chair, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

baranov@ieie.nsc.ru

SPIN-код 72841

ORCID 0000-0001-8597-9788

Scopus Author ID 7201565132

Research ID R-5910-2016

Victor N. Pavlov, Doctor of Sciences (Technics), Professor, Chief Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

victor_n_pavlov@mail.ru

SPIN-код 71739

ORCID 0000-0001-7829-1635

Scopus Author ID 7402575976

Tatiana O. Tagaeva, doctor of sciences (economics), leading researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); professor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

to-tagueva@rambler.ru

SPIN-код 71056

ORCID 0000-0002-9467-6436

Scopus Author ID 6507464776

Yuliia M. Slepenskova, candidate of sciences (economics), researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); senior teacher, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

juliaslepenskova@yandex.com

SPIN-код 835193

ORCID 0000-0002-8683-7818

Scopus Author ID 57204551472

Research ID L-2003-2018