

Для цитирования: Экономика региона. — 2015. — №4. — С. 346-356.

doi 10.17059/2015-4-27

УДК 330.15:330.4

Б. В. Дигас<sup>а)</sup>, В. Л. Розенберг<sup>а)</sup>, А. И. Боярских<sup>б)</sup>

<sup>а)</sup> Институт математики и механики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация)

<sup>б)</sup> Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация)

## ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ НОВОЙ ВЕРСИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ MERGE<sup>1</sup>. Часть 1

Одной из наиболее актуальных современных проблем является задача прогнозирования климатических изменений и смягчения их последствий. Официальная точка зрения, отраженная в Климатической доктрине Российской Федерации, состоит в признании необходимости формирования государственного подхода к проблемам климата и смежным вопросам на основе всестороннего научного анализа экологических, экономических и социальных факторов. С этой целью привлекаются комплексные оценочные модели, имеющие междисциплинарный характер. Их функциональность характеризуется возможностью построения и тестирования различных сценариев динамики сложных систем. Основными целями вычислительных экспериментов, описываемых в статье, являются проверка последствий гипотетического участия России в инициативах по снижению выбросов парниковых газов по типу Киотского протокола и апробация в моделировании одной из методик расчета зеленого ВВП, информирующей об эффективности природопользования. Для достижения указанных целей используется оптимизационная модель MERGE, классическая версия которой предназначена для количественного оценивания результатов применения природоохранных стратегий. Компонентами модели являются экономико-энергетический модуль, климатический модуль и модуль оценки вероятных потерь. Основное внимание в работе уделяется адаптации модели MERGE к современному состоянию мировой экономики в условиях сложной геополитической обстановки и введению в модель новой компоненты, реализующей упрощенную методику расчета зеленого ВВП. В качестве базового источника входных данных для анализа возможных траекторий экономического развития России и показателей их экологической эффективности используется Проект сценарных условий и основных макроэкономических параметров прогноза социально-экономического развития России на 2016 г. и плановый период 2017–2018 гг., выполненный Минэкономразвития РФ. Расчеты свидетельствуют о наличии у России резервов для безболезненного участия в природоохранных инициативах, состоящих в непревышении к 2020–2025 гг. уровня выбросов 1990 г. В то же время, задача увеличения экологической эффективности российского ВВП является актуальной и требует безотлагательного решения. Представляется, что результаты моделирования могут быть востребованы компетентными органами, принимающими управленческие решения.

**Ключевые слова:** комплексные оценочные модели, межвременная оптимизация, сценарии экономического развития, эмиссии парниковых газов, зеленый ВВП

### 1. Введение: актуальность и цели моделирования

Задача прогнозирования климатических изменений и смягчения их последствий является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед современным миром. При отсутствии общепринятой точки зрения на природу движущих сил динамики климата и на возможность управления ею многие российские эксперты [1, 2] сходятся во мнении, что наблюда-

ющиеся в последнее время резкие изменения климата в определенной степени объясняются увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов (ПГ) по причине антропогенного воздействия, которое проявляется, прежде всего, в значительном увеличении потребления ископаемого топлива. Современная официальная точка зрения, отраженная в Климатической доктрине Российской Федерации<sup>2</sup>, состоит в

<sup>1</sup> Дигас Б. В., Розенберг В. Л., Боярских А. И. Текст. 2015.

<sup>2</sup> Климатическая доктрина Российской Федерации, <http://www.kremlin.ru/events/president/news/6365> (дата обращения 16.07.2015).

признании необходимости заблаговременного формирования всестороннего и взвешенного подхода государства к проблемам климата и смежным вопросам на основе комплексного научного анализа экологических, экономических и социальных факторов. Так, согласно новейшей концепции<sup>1</sup>, Россия может терять до 2 % ВВП ежегодно из-за негативных последствий изменения климата, для преодоления которых следует, в частности, расширять и совершенствовать законодательство на основе идеологии зеленого роста и ориентации на рациональное природопользование. Важнейшее значение в этой связи приобретает участие России в различных глобальных инициативах по регулированию эмиссий ПГ.

Одной из первых попыток международного сообщества установить контроль над воздействием на окружающую среду следует считать Киотский протокол к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата [1, 2]. Срок действия этого пилотного проекта, согласно которому страны-участники брали на себя добровольные обязательства по снижению выбросов ПГ, истек в 2012 г.; его эффективность до сих пор неочевидна. В настоящее время стороны обсуждают новое соглашение по климату на период после 2020 г. (возможное основное обязательство — постепенное сокращение к 2030 г. антропогенных выбросов на 25–30 % от уровня 1990 г.). Отметим, что в 2014 г. принят план Правительства РФ по обеспечению 25-процентного сокращения к 2020 г. выбросов парниковых газов от уровня 1990 г.

Для изучения различных аспектов проблемы изменения климата привлекаются так называемые комплексные оценочные модели (КОМ), имеющие, как правило, междисциплинарный характер. Их основной функцией является построение множества возможных сценариев развития социально-экономических систем (как глобальной, так и региональных) с последующим выбором оптимальной траектории на основании определенных критериев качества. Поэтому такие модели могут использоваться компетентными органами, принимающими решения, как инструмент оценивания той или иной стратегии экономического развития. Например, поскольку ужесточение экологических требований может привести к существенному снижению темпов роста рос-

сийского ВВП, полезно проверить, насколько вероятно (с точки зрения моделирования) достижение уровня выбросов парниковых газов 1990 г. (или некоторого процента от него) в ближайшем будущем во всех реалистичных сценариях. Такая проверка является одной из основных целей вычислительных экспериментов, описываемых в данной статье.

Отметим еще одну важную черту современного состояния комплексных оценочных моделей: моделирование такого типа остро нуждается в разработке и внедрении современных инструментов для учета экологического аспекта при формировании национальных счетов. Оценка качества экономической деятельности посредством специальных интегральных индикаторов устойчивого развития, формализующих влияние (как правило, негативное) экономических процессов на окружающую среду, создает возможности выхода за пределы традиционной концепции ВВП и изучения плюсов и минусов гипотетического перехода к зеленой экономике. Внедрение в подходящую комплексную оценочную модель одной из методик расчета зеленого ВВП и соответствующие эксперименты составляют вторую цель настоящей работы.

Авторы полагают, что для достижения перечисленных выше целей может быть использована модель оценки региональных и глобальных эффектов стратегий сокращения парниковых газов MERGE, хорошо зарекомендовавшая себя во время дискуссий о целесообразности участия России в Киотском протоколе. Модель разработана американскими учеными [3, 4] и модифицирована в Международном институте прикладного системного анализа (Лаксенбург, Австрия) и Институте математики и механики УрО РАН (Екатеринбург, Россия) [5–8]. Согласно принятой классификации [9], MERGE относится к оптимизационным целевым комплексным оценочным моделям, которые предназначены для нахождения оптимальных значений таких ключевых управляющих параметров, как величина налога на выбросы парниковых газов, объем самих выбросов или сроки внедрения новых технологий; при этом решается задача достижения определенных целей экономической политики (например, выполняется максимизация суммарного благосостояния или минимизация затрат на снижение выбросов до предписанного уровня). В моделях этого типа часто используются процедуры межвременной оптимизации.

Данная работа фактически продолжает исследования [6–8]; ее новизна состоит в адапта-

<sup>1</sup> Материалы панельной сессии «Зеленый рост и экономика изменения климата» в рамках Петербургского международного экономического форума 2015 г., Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2015, <https://www.mnr.gov.ru/> (дата обращения 16.07.2015).

ции модели MERGE к современной конфликтной геополитической обстановке и кризисному состоянию мировой и региональной экономики, во введении в модель дополнительных возможностей, в частности, упрощенной методики расчета зеленого ВВП, и в анализе результатов серии вычислительных экспериментов с новыми сценариями, отражающими ключевые тенденции развития экономики России на ближайшие годы.

## 2. Модель MERGE: структура и возможности

Помимо выполнения своих основных функций (количественного оценивания результатов применения различных стратегий сокращения выбросов парниковых газов и стратегий внедрения новых энергетических технологий), модель MERGE позволяет анализировать возможные траектории социально-экономического развития региона при различных предположениях о динамике его экономико-энергетических показателей. Она состоит из трех связанных между собой модулей (экономико-энергетического, климатического и оценки ущерба) и включает в себя около 20 тысяч уравнений и неравенств и около 30 тысяч скалярных переменных.

Современная версия модели MERGE достаточно подробно представлена в [7, 8]. Поэтому остановимся на отдельных элементах, необходимых для описания методики расчета зеленого ВВП и результатов вычислительных экспериментов.

Экономико-энергетический модуль, являющийся ядром модели MERGE, представляет собой интегрированную прикладную модель общего равновесия. Во всех версиях этого модуля мир делится на макроэкономические регионы, каждый из которых рассматривается как независимая действующая сила (единный производитель-потребитель) и подчиняется финансовым ограничениям. В каждый момент времени спрос и предложение уравниваются посредством выбора цен на товары, задействованные в международной торговле, а именно, цен на нефть, газ, уголь, потребительские товары и квоты на эмиссию парниковых газов. Данный модуль является оптимизатором, находящим оптимальные траектории экономико-энергетического развития регионов из условия максимума суммы (по всему интервалу времени) дисконтированных полезностей регионального потребления, то есть так называемого благосостояния Негиши [3, 10].

Рассматриваемый временной промежуток разбивается на  $n$  интервалов точками  $t_0 < t_1 < \dots < t_n$  с шагом (в годах)  $\delta_i = t_n - t_{i-1}$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Суть межвременной оптимизации состоит в построении последовательности уровней регионального потребления, максимизирующей суммарное благосостояние Негиши:

$$\begin{aligned} TotalWealth &= \sum_r nw_r W_r = \\ &= \sum_r nw_r \sum_{i=1}^n \delta_i udf_i \lg C_i \rightarrow \max. \end{aligned}$$

Здесь  $TotalWealth$  — суммарное благосостояние всех регионов;  $nw_r$  — вес Негиши региона  $r$ , отражающий уровень использования благосостояния на потребление,  $\sum_r nw_r = 1$ ;  $W_r$  — благосостояние региона  $r$ ;  $udf_i$  — коэффициент дисконтирования полезности;  $\lg C_i$  — функция полезности.

Сформулированная оптимизационная задача является задачей нелинейного программирования; для ее решения используется метод последовательной совместной максимизации, причем теоретически обоснована сходимость этого метода к равновесному решению на всем временном интервале [11].

Потребление  $C_i$  определяется по формуле [3]:

$$C_i = Y_i - I_i - EC_i - NTX_r,$$

где  $Y_i$  — общий объем экономической продукции, произведенной за год  $t_i$  (фактически модельный ВВП, отражающий так называемую методику расчета «по расходам»);  $I_i$  — текущие инвестиции (годовой поток);  $EC_i$  — средства, необходимые для возмещения энергетических затрат;  $NTX_i$  — разность между региональным экспортом и импортом потребительских товаров.

Внутри энергетического сектора выделяются только два вида продукции, а именно, электрическая и неэлектрическая энергия. Товарами на международном рынке топлива выступают нефть, газ и уголь. Экономическая производственная функция описывает динамику региональной продукции  $Y_i$  с помощью двух составляющих типа Кобба — Дугласа (капитально-трудовой и энергетической), вложенных в функцию с постоянной эластичностью замещения:

$$Y_i = \left( aK_i^{\rho\alpha} L_i^{\rho(1-\alpha)} + bE_i^{\rho\beta} N_i^{\rho(1-\beta)} \right)^{1/\rho},$$

где  $K_i$  — капитал,  $L_i$  — труд,  $E_i$  — электрическая энергия,  $N_i$  — неэлектрическая энергия,  $\alpha, \beta, \rho$ ,  $a$  и  $b$  — макроэкономические параметры.

Отметим, что в классической версии модели [3–6] производственная функция зависела от приращений, что приводило к невозможности учета кризисных явлений в экономике (например, падения регионального ВВП).

Приведем основные входы и выходы экономико-энергетического модуля. Входные параметры: население, его динамика, прогноз роста ВВП на душу населения, макроэкономические параметры, энергетические характеристики. Выходные параметры: оптимальная динамика экономического развития региона, в частности, реализовавшийся ВВП и его характеристики (карбонемкость, природоемкость, структура); энергетические выбросы парниковых газов; гипотетические затраты на снижение выбросов в соответствии с внешними ограничениями (например, по типу Киотского протокола).

Климатический модуль модели MERGE учитывает наиболее важные антропогенные парниковые газы и рассчитывает их концентрации в атмосфере и океане по эмиссиям и доиндустриальному уровню. Концентрации используются для определения фактического изменения температуры, которое подается на вход модуля оценки ущерба, анализирующего два типа последствий изменения климата, а именно, нерыночные и рыночные потери. Нерыночные эффекты не связаны с ценами и оцениваются специальными методами (в том числе посредством анализа предпочтений будущих поколений). Рыночный ущерб включает те категории, которые входят в национальный доход, измеряемый обычным способом, и могут быть оценены с помощью цен и функций спроса и предложения. Фактически ущерб этого типа трактуется как доля ВВП, которая теряется вследствие климатических изменений, обусловленных увеличением температуры.

### 3. Введение в модель методики расчета зеленого ВВП

Отметим, что методика расчета гипотетической потери ВВП, заложенная в модель MERGE, носит специфический характер, жестко связана с изменением климата и не может трактоваться как оценка зеленого ВВП. Последняя, так или иначе опирается на понятие природоемкости, являющейся важным показателем как экологической эффективности текущего развития [12–17], так и экономической безопасности региона [18–20]. Природоемкость ВВП принимает во внимание два типа индексов:

1) удельные затраты природных ресурсов в расчете на единицу конечной продукции, истощение ресурсов;

2) удельные величины загрязнений в расчете на единицу конечной продукции, оценка экологического ущерба.

Существует большое количество работ (см. [13–17] и библиографию в них), направленных на разработку так называемых зеленых методик. Все они в той или иной степени используют коррекцию традиционных экономических показателей, опирающуюся на предложенную Статистическим отделом Секретариата ООН систему интегрированного эколого-экономического учета (СЭЭУ, см. [21, 22]), в центре которой — концепция экологически скорректированного валового внутреннего продукта (ЭВВП), иначе говоря, зеленого ВВП.

На текущем этапе с учетом возможностей MERGE в модель введена упрощенная схема расчета регионального ЭВВП, основанная на оценке ущерба, нанесенного окружающей среде. ЭВВП рассматривается как результат коррекции ВВП, из которого последовательно вычитаются стоимостная оценка истощения природных ресурсов (истощение природных ресурсов, добыча нефти, минерального сырья, вырубка леса и пр.) и стоимостная оценка экологического ущерба в результате загрязнения окружающей среды (УЗОС; загрязнение воздуха и воды, размещение отходов, истощение почвы, использование подземных вод и пр.) [13–17]:

$$\text{ЭВВП} = \text{ВВП} - \text{ИПР} - \text{УЗОС}.$$

Приведем методику вычисления величин, входящих в предыдущую формулу.

1. *Истощение природных ресурсов* (ИПР) учитывает тот факт, что добыча полезных ископаемых ведет к уменьшению их запасов и сокращению природного капитала. Применительно к рассматриваемому индексу ИПР складывается из двух компонент: истощения минерально-сырьевых природных ресурсов (ИМСР) и истощения лесных ресурсов (ИЛР):

$$\text{ИПР} = \text{ИМСР} + \text{ИЛР}.$$

Минерально-сырьевые ресурсы включают нефть, газ, уголь, металлы и другие полезные ископаемые, изъятие которых ведет к их полной потере для будущих поколений, поэтому данный вид природных ресурсов отнесен к категории невозобновляемых природных ресурсов. Отметим, что в MERGE возможен учет динамики только ископаемого топлива. ИМСР оценивается по объему валовой добавленной стоимости по виду деятельности «добыча полезных ископаемых», который является в MERGE одним из оптимизируемых. Истощение

невозобновляемых природных ресурсов (в данном случае ИМСП) в момент времени  $t_i$  (фактически на промежутке  $(t_{i-1}, t_i]$ ,  $i = 1, \dots, n$ ) может определяться [14, 23] как усредненная за период исчерпания природного ресурса  $T$  приведенная стоимость ренты, дисконтированная по процентной ставке  $r$ . Это истощение оценивается следующим образом. Для каждого вида минерально-сырьевых ресурсов региональное значение  $R_i$  природной ренты в момент  $t_i$  рассчитывается по формуле:

$$R_i = (P_i - C_i)Q_i,$$

где  $P_i$  — цена природного ресурса на мировом рынке,  $C_i$  — средние затраты на добычу ресурса в регионе,  $Q_i$  — объем добычи природного ресурса. Тогда

$$\text{ИМСП} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \frac{R_i}{(1+r)^i},$$

где процентная ставка  $r$  считается равной 2–4 %, период исчерпания природного ресурса  $T$  определяется как отношение запасов (нефти, газа, угля) к годовой добыче, не менее 25 лет. Альтернативным способом расчета ИМСП в момент  $t_i$  является использование  $i$ -го слагаемого из суммы в приведенной выше формуле. Истощение лесных ресурсов (ИЛР) не моделируется в MERGE, является результатом экзогенного процесса; его динамика задается в соответствии с данными Росстата и других источников<sup>1</sup>.

2. Ущерб от загрязнения окружающей среды (УЗОС) определяется как сумма ущербов от выбросов углекислого газа ( $УСО_2$ ) и от выбросов других загрязняющих веществ (УЗВ):

$$\text{УЗОС} = \text{УСО}_2 + \text{УЗВ}.$$

Ущерб от выбросов углекислого газа рассчитывается как объем годовых выбросов углекислого газа, умноженных на величину умеренных оценок предельных убытков:

$$\text{УСО}_2 = \text{ОСО}_2 \times \text{ЦСО}_2,$$

где  $\text{ОСО}_2$  — объем выбросов углекислого газа (является выходным параметром экономико-энергетического модуля модели MERGE);  $\text{ЦСО}_2$  — величина умеренных оценок предельных убытков от выбросов углекислого газа (при расчетах используется значение 20 долл. за т, в соответствии с оценкой Всемирного

банка<sup>2</sup>). Ущерб от выбросов других парниковых газов, учитываемых в MERGE, и прочих загрязняющих веществ, объемы которых задаются экзогенно, вычисляется по аналогичным формулам.

Таким образом, в новой версии MERGE ЭВВП, найденный согласно приведенной выше методике, понимается как зеленый ВВП. Отметим, что несмотря на важность учета экологически ориентированных индексов, на сегодняшний день не имеется ежегодных официальных статистических данных по зеленому ВВП. Однако практические расчеты проводятся как отдельными специалистами, так и международными организациями. К примеру, по оценкам статистического отдела ООН [22], в среднем величина ЭВВП в странах с достаточно высоким уровнем развития составляет 75–90 % от ВВП. В следующих разделах при описании вычислительных экспериментов будут приведены соответствующие результаты моделирования.

#### 4. Адаптация модели к современным условиям

Адаптация модели к текущему состоянию мировой и региональной экономики включала: 1) изменения в математической модели для реализации дополнительных возможностей симуляции экономической динамики (например, для учета кризисных явлений, взаимных торговых ограничений и зеленых характеристик); 2) использование новых входных данных (макроэкономических, энергетических параметров, запасов различных ресурсов и др.)<sup>3</sup> для конструирования сценариев, со-

<sup>2</sup> World Development Indicators 2015, The World Bank, <http://data.worldbank.org/products/wdi> (дата обращения 1.07.2015).

<sup>3</sup> См. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС), <http://www.fedstat.ru> (дата обращения 1.07.2015); Федеральная служба государственной статистики (Росстат), <http://www.gks.ru> (дата обращения 1.07.2015); World Development Indicators 2015, The World Bank, <http://data.worldbank.org/products/wdi> (дата обращения 1.07.2015); International Energy Outlook IEO-2014, U.S. Energy Information Administration (EIA), <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/> (дата обращения 1.07.2015); Energy Study 2014: Reserves, Resources and Availability of Energy Resources, The Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover, Germany, [http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/energie\\_node\\_en.html](http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/energie_node_en.html) (дата обращения 1.07.2015); The World Factbook 2013–2014, U.S. Central Intelligence Agency, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/> (дата обращения 1.07.2015); IAEA Annual Report for 2013 and Projections for Nuclear Power in 2030, International Atomic Energy Agency, <http://www.iaea.org/> (дата обращения 1.07.2015); Plans For New Reactors Worldwide 2015, World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/>

<sup>1</sup> Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС), <http://www.fedstat.ru> (дата обращения 1.07.2015); Федеральная служба государственной статистики (Росстат), <http://www.gks.ru> (дата обращения 1.07.2015).

ответствующих многовариантной современной геополитической обстановке; 3) новое, по сравнению с классической версией [3–6], деление сложного и неоднородного мира на регионы, исходя из последних тенденций развития мировой экономики и с учетом планируемых вычислительных экспериментов. Учитывая, что адаптивные изменения в алгоритмической части были описаны в предыдущем разделе, прокомментируем последние два пункта.

Перечислить все новые входные параметры модели и прогнозные траектории их изменения в рамках настоящей статьи не представляется возможным ввиду их объема, поэтому подробнее остановимся лишь на некоторых группах. В рамках MERGE важным является изучение различных направлений развития энергетического сектора и его составных частей; это объясняется определяющей ролью этих параметров с точки зрения основных целей моделирования (вычисления зеленого ВВП и экологического ущерба, оценивания динамики региональных выбросов парниковых газов). Выделим четыре направления конструирования так называемых микросценариев: (1) динамика цен на нефть; (2) развитие атомной энергетики; (3) перспективы добычи сланцевого газа; (4) отмена/сохранение обоюдных санкций.

1. *Динамика цен на нефть.* Микросценарии: высокая цена на нефть, низкая цена на нефть.

Поскольку International Energy Outlook<sup>1</sup>, традиционно являющийся основным поставщиком данных для MERGE, в 2014 г. дает весьма спорные тенденции динамики цен на нефть (низкая цена: 70 долл. США за баррель вплоть до 2023 г. и около 75 к 2040 г.; высокая цена: 150 долл. США в 2020 г. и около 200 к 2040 г.; что представляется завышенным в обоих случаях), мы будем в этом пункте ориентироваться на прогнозы Минэкономразвития

Current-and-Future-Generation/ Plans-For-New-Reactors-Worldwide/ (дата обращения 1.07.2015); Сценарные условия, основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2016 год и на плановый период 2017 и 2018 годов, Минэкономразвития Российской Федерации, Москва, 2015, <http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/> (дата обращения 3.07.2015); Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года, Институт энергетических исследований РАН, Аналитический центр при Правительстве РФ, 2014, <http://ineiran.ru/articles/prognoz-2040.pdf> (дата обращения 3.07.2015).

<sup>1</sup> International Energy Outlook IEO-2014, U.S. Energy Information Administration (EIA), <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/> (дата обращения 1.07.2015).

России<sup>2</sup>. Согласно этим прогнозам, траектория низких цен на нефть предполагает 50 долл. за баррель в конце 2015 г. и до 70 к 2020 г., траектория высоких цен — 60 долл. за баррель в конце 2015 г. и до 90 к 2020 г. Отметим, что приведенные цены соответствуют марке Urals.

2. *Развитие атомной энергетики.* Микросценарии: «пост-Фукусима — да», «пост-Фукусима — нет».

В настоящее время атомная энергетика, считающаяся (при отсутствии нештатных ситуаций) щадящей для окружающей среды и снижающей давление на климатическую систему, переживает переломный момент, обусловленный разрушительным землетрясением и цунами 11 марта 2011 г. в Японии, которые привели к катастрофе на АЭС «Фукусима-1». Возможные существенные изменения в динамике развития мировой атомной энергетики (в частности, потребности гипотетического полного замещения ядерной энергетики в некоторых регионах) потребовали дополнительного исследования. В качестве основных источников информации использовались прогнозы МАГАТЭ<sup>3</sup> и Всемирной ядерной ассоциации<sup>4</sup> в предположении отсутствия крупных аварий по шкале INES. Учитывалось несколько важных аспектов развития мировой атомной энергетики после Фукусимы, именно:

1) поэтапный частичный/полный отказ некоторых западноевропейских стран от использования атомной энергии;

2) неясные перспективы запуска ядерных реакторов на японских АЭС после отключения для проверки в 2012–2013 гг., возможное резкое сокращение ядерной программы;

3) окончательное смещение центра развития отрасли в Китай, активность России, Индии, Южной Кореи, стран СНГ;

4) согласно «низкому» сценарию развития атомной энергетики, мировое производство электроэнергии в отрасли к 2040 г. достигнет 366 ГВт, согласно «высокому» сценарию —

<sup>2</sup> Сценарные условия, основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2016 год и на плановый период 2017 и 2018 годов, Минэкономразвития Российской Федерации, Москва, 2015, <http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/> (дата обращения 3.07.2015).

<sup>3</sup> IAEA Annual Report for 2013 and Projections for Nuclear Power in 2030, International Atomic Energy Agency, <http://www.iaea.org/> (дата обращения 1.07.2015).

<sup>4</sup> Plans For New Reactors Worldwide 2015, World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Plans-For-New-Reactors-Worldwide/> (дата обращения 1.07.2015).

767 ГВт, причем вероятность первого варианта значительно больше.

5) уменьшение доли атомной энергии в общей выработке электричества предполагается компенсировать посредством более активного использования возобновимых источников энергии.

В связи с вышесказанным введем в рассмотрение два микросценария: «пост-Фукусима — да» и «пост-Фукусима — нет». Первый отражает поэтапный отказ некоторых стран от ядерной энергии и предполагает реализацию «низкого» сценария развития атомной энергетики, второй сохраняет тенденции отраслевой динамики, существовавшие до 11 марта 2011 г., в частности, предполагает реализацию «высокого» сценария развития.

3. *Перспективы добычи сланцевого газа. Микросценарии: «сланцевый прорыв», «сланцевый провал».*

Как полагают авторы прогноза<sup>1</sup>, сланцевая революция, ставшая ключевым событием последнего десятилетия в газовой отрасли и вызвавшая серьезные изменения в конъюнктуре мировых рынков, сейчас демонстрирует противоречивую динамику. Общий объем добычи сланцевого газа в 2013 г. вырос до рекордных 320 млрд м<sup>3</sup>, однако темпы этого прироста существенно замедляются с 2010 г. Учитывая этот факт, выделяют два основных направления развития отрасли, фактически формируя два сценария.

Микросценарий «сланцевый прорыв» характеризуется, прежде всего, сохранением роста добычи сланцевого газа, возможно с незначительными колебаниями темпов. Предложение нетрадиционного газа к 2040 г. составит почти 20 % мирового производства природного газа, по сравнению с 7 % в 2010 г. Это позволит сохранить долю нефти и газа в мировом потреблении первичной энергии практически неизменной: 51,4 % в 2040 г. против 53,6 % в 2010 г. В мировой добыче сланцевого газа будут по-прежнему доминировать страны Северной Америки. Прогнозируется также существенный рост добычи сланцевого газа в азиатском регионе (в первую очередь — в Китае). Данный сценарий считается наиболее вероятным, и при его реализации Россия будет ежегодно терять около одного процента ВВП при текущем положении дел в отечественной газодобыча-

ющей отрасли. Однако эксперты уверены, что даже в случае реализации самого оптимистичного прогноза относительно сланцевого топлива его производство не обвалит цены на нефть более чем на 5–10 долл. за баррель, и на газ — более чем на 50–60 долл. за тыс. м<sup>3</sup>.

Микросценарий «сланцевый провал» реализуется в случае, если новые проекты добычи сильно подорожают, объем запасов не подтвердится, дешевые технологии не будут одобрены регуляторами, а страны одна за одной будут вводить жесткие экологические ограничения на добычу углеводородов. Отметим и то, что у сланцевых месторождений короткий жизненный цикл и продуктивность новых скважин падает почти до нуля в течение трех лет эксплуатации. Эксперты считают, что сланцевый провал может увеличить цены на нефть на 30 долл. за баррель, а на газ — на 45 долл. за тыс. м<sup>3</sup>. В этом сценарии региональные объемы добычи сланцевого газа замораживаются на текущем уровне.

4. *Отмена/сохранение обоюдных санкций. Микросценарии: «санкции — да», «санкции — нет».*

В условиях нынешней напряженности между США, Евросоюзом и Россией реалистичным представляется сценарий сохранения долгосрочных масштабных санкций, которые могут привести к существенным сдвигам в мировом и особенно европейском энергобалансе и в результате — к изменению направлений поставок углеводородов. Выделим два очевидных сценария в этом направлении: пролонгация действия санкций на все время моделирования («санкции — да») и их поэтапная отмена в ближайшем будущем («санкции — нет»).

Микросценарий «санкции — да» предполагает ситуацию, в которой Евросоюз в конечном счете полностью отказывается от поставок газа, нефти и нефтепродуктов из Российской Федерации, а компании США и Европы перестают поставлять в Россию буровое и прочее нефтегазовое оборудование. Негативный эффект от санкций неизбежно будет взаимным, так как выбывающие объемы российских поставок приведут к росту европейских цен на энергоносители, особенно в краткосрочном периоде. Компенсировать нехватку ресурсов Евросоюз будет вынужден за счет дополнительных закупок в нестабильных странах Ближнего Востока, Северной Африки и других регионов.

Микросценарий «санкции — нет» фактически подразумевает развитие российской экономики в соответствии с прогнозами и сценариями, разработанными до 2014 г.

<sup>1</sup> Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года, Институт энергетических исследований РАН, Аналитический Центр при Правительстве РФ, 2014, <http://ineiran.ru/articles/prognoz-2040.pdf> (дата обращения 3.07.2015).

Отметим, что в модели MERGE учет возможных санкций осуществляется через введение дополнительных искусственных ограничений на межрегиональный экспорт/импорт определенного типа.

В вычислительных экспериментах по моделированию возможных траекторий развития российской экономики перечисленные четыре пары микросценариев предлагается рассматривать в различных сочетаниях, конструируя тем самым набор дополнительных опций для так называемых макросценариев. В качестве источника последних будем использовать Проект сценарных условий и основных макроэкономических параметров прогноза социально-экономического развития России на 2016 г. и плановый период 2017–2018 гг., выполненный Минэкономразвития РФ<sup>1</sup>. В указанном документе рассматриваются два основных макросценария: базовый и оптимистичный; их специфика определяется, прежде всего, тенденциями мирового экономического развития и внешнеэкономической конъюнктурой. Дополнительно конструируем комбинированный сценарий, параметры которого рассчитываются как взвешенные суммы соответствующих величин из конкурирующих вариантов (1), (2):  $X_* = p_1 X_1 + p_2 X_2$ , где  $X_*$  — искомое значение параметра,  $X_1, X_2$  — значения в вариантах (1), (2),  $p_1, p_2, p_1 + p_2 = 1$  — оценки вероятностей прогнозов. Приведем краткую характеристику каждого макросценария.

**Базовый макросценарий** (далее — *Ref/Reference*) опирается на рыночные ожидания в отношении рынка энергоносителей, отраженные в прогнозах мировых агентств, и предусматривает среднегодовую цену на нефть около 60 долл. США за баррель в 2015 г. и ее повышение до 65–70 долл. США за баррель в 2016–2018 гг. Базовый макросценарий предполагает продолжение действия санкций со стороны США и ЕС на протяжении всего прогнозного периода. Это означает сохранение ограничений доступа к мировому рынку капитала для российских компаний и достаточно высокий уровень чистого оттока капитала из частного сектора, связанный с погашением внешнего долга. В 2015 г. на фоне существенного падения инвестиций и сокращения потребительских расходов ВВП в реальном выражении снижается на 2,8 %. При этом в конце текущего года предполагается возобновление экономического роста до 102,3 % в 2016 г. и до 102,3–102,4 % в 2017–

Таблица

**Основные показатели сценариев социально-экономического развития Российской Федерации на 2015–2018 гг.**

Показатель	Сценарий	2015	2016	2017	2018
Изменение ВВП (% к предыдущему году)	<i>Ref</i>	–2.8	2.3	2.3	2.4
	<i>Mod</i>	–2.7	2.57	2.43	2.7
	<i>Opt</i>	–2.5	3.1	2.7	3.3
Цены на нефть (Urals, долл./барр.)	<i>Ref</i>	50	60	65	70
	<i>Mod</i>	53.3	63.3	70	76.7
	<i>Opt</i>	60	70	80	90
Изменение инвестиций в основной капитал (% к предыдущему году)	<i>Ref</i>	–10.6	3.1	2.3	3.2
	<i>Mod</i>	–9.97	3.6	2.73	3.73
	<i>Opt</i>	–8.7	4.6	3.6	4.8

2018 гг. Отметим, что именно базовый сценарий авторы документа считают наиболее вероятным и предлагают использовать для разработки параметров федерального бюджета на 2016–2018 гг.

**Оптимистичный макросценарий** (далее — *Opt/Optimistic*) базируется на предположении о более позитивной конъюнктуре рынка энергоносителей и частичной отмене экономических санкций с 2016 г. В данном макросценарии предполагается достаточно высокий по сравнению с базовым среднегодовой рост цен на нефть — до 70–90 долл. США за баррель в 2016–2018 гг. Ускорение роста спроса на нефть и торможение роста добычи нефти на сланцевых месторождениях в Северной Америке создают предпосылки для более быстрого восстановления нефтяных цен. Прирост ВВП в этом сценарии в 2016 г. может достичь 3,1 %, в 2017 г. составит 2,7 % и к 2018 г. повысится до 3,3 %. Среднегодовая динамика инвестиций составит около 4 %. Важный вклад в увеличение инвестиционной активности внесет восстановление доступа российских компаний к мировому рынку капитала, хотя частичная отмена санкций и не приведет к резкому всплеску притока капитала в российскую экономику.

**Умеренный макросценарий** (далее — *Mod/Moderate*) построен на основе сценариев *Ref* и *Opt* в предположении, что реализация *Ref* в два раза вероятнее, чем реализация *Opt*, т. е.  $p_1 = 2/3, p_2 = 1/3$ .

Ключевые параметры сценариев сведены в таблицу.

Во всех сценариях предполагается падение нефтедобычи в России на 0,3 % ежегодно, для остальных ресурсов — умеренный рост. Отметим, что российские источники снабжают модель ключевыми параметрами для России, но большая часть модельных параметров (для

<sup>1</sup> См. <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/mac/prognoz/> (дата обращения 3.07.2015).

«внешнего» мира) формируется на основе оценок экспертов Администрации энергетической информации и Всемирного банка.

Что касается отмеченных выше возможностей сочетания различных микросценариев, то макросценарий *Ref* фактически подразумевает опции «низкая цена на нефть», «сланцевый прорыв» и «санкции — да», макросценарий *Opt* — «высокая цена на нефть», «сланцевый провал» и «санкции — нет», макросценарий *Mod*, очевидно, имеет промежуточный характер. Дополнительно, припишем сценарию *Ref* опцию «пост-Фукусима — да», а сценарию *Opt* — «пост-Фукусима-нет».

Текущая версия MERGE предполагает следующее деление мира на регионы: 1) США; 2)

ОЕСД Европа (ОЕСД — Организация экономического сотрудничества и развития); 3) Япония; 4) Корея; 5) Австралия и Новая Зеландия; 6) Канада; 7) Ближний Восток; 8) Африка; 9) Китай; 10) Индия; 11) Прочая Азия; 12) Бразилия; 13) Центральная и Южная Америка; 14) non-ОЕСД Европа и Евразия; 15) Россия.

Стартовым годом для моделирования решено сделать 2013 г. (обоснование: наличие необходимых данных; последний предкризисный год, полезный для сравнительного анализа; окончание действия Киотского протокола, важной природоохранной инициативы; результативность которой пока не оценена количественно).

(Начало статьи. Продолжение статьи.)

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-06-00075) и программы фундаментальных научных исследований УрО РАН (проект 15-7-1-22).

### Список источников

1. Кокорин А. О., Грицевич И. Г., Сафонов Г. В. Изменение климата и Киотский протокол — реалии и практические возможности. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF) — Россия, 2004. — 64 с.
2. Киотский протокол — проблемы его ратификации / Израэль Ю. А., Назаров И. М., Гитарский М. Л., Нахутин А. И., Яковлев А. Ф. // Метеорология и гидрология. — 2002. — № 11. — С. 5–12.
3. Manne A., Mendelson R., Richels R. MERGE — a Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG reduction policies // *Energy Policy*. — 1995. — Vol. 23. — No. 1. — P. 17–34.
4. Manne A. Energy, the environment and the economy: hedging our bets // *Global Climate Change* / Ed. by J. M. Griffin. — Northampton, MA: Edward Elgar, 2000. — P. 126–143.
5. Kryazhimsky A., Minullin Ya., Schrattenholzer L. Global long-term energy-economy-environment scenarios with an emphasis on Russia // *Perspectives in Energy Journal*. — 2005. — Vol. 9. — P. 119–137.
6. Digas B., Rozenberg V. Application of an optimisation model to studying some aspects of Russia's economic development // *International Journal of Environment and Pollution*. — 2010. — Vol. 1. — No. 1. — P. 51–63.
7. Digas B., Rozenberg V., Kuklin A. A new version of integrated assessment model MERGE // *International Journal of Environmental Research*. — 2014. — Vol. 8/ — No. 4. — P. 1231–1240.
8. Weyant J. P. Integrated assessment of climate change: an overview and comparison of approaches and results // In J. P. Bruce, H. Lee, and E. F. Haites (eds), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. — Cambridge University Press, 1996. — 448 pp.
9. Stanton E. A. Negishi welfare weights in integrated assessment models: the mathematics of global inequality // *Climate Change*. 2011. No. 107. P. 417–432.
10. Rutherford T. Sequential joint maximization // *Energy and Environmental Policy Modeling* / Ed. by J. P. Weyant. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1999. P. 139–175.
11. Бобылев С. Н., Ходжаев А. Ш. Экономика природопользования. — М.: ТЕИС, 1997. — 272 с.
12. Индикаторы устойчивого развития России. Эколого-экономические аспекты / Под ред. С. Н. Бобылева, П. А. Макеенко. — М.: ЦППП, 2001. — 220 с.
13. Эколого-экономический индекс регионов РФ / Бобылев С. Н., Минаков В. С., Соловьева С. В., Третьяков В. В. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF) — Россия, 2012. — 152 с.
14. Рюмина Е. В. Экологически скорректированный ВВП. Сферы использования и проблемы оценки // *Экономика региона*. — 2013. — №4. — С. 107–115.
15. Веклич О. А., Шлапак Н. Ю. Экологически скорректированный ВВП как показатель реального экономического развития // *Проблемы прогнозирования*. — 2012. — №3. — С. 48–54.
16. Грошев А. Р. Анализ методических подходов к оценке ВВП с учетом экологического фактора // *Известия Томского политехнического университета*. — 2006. — Т. 309. — №4. — С. 213–218.
17. Куклин А. А., Белик И. С. Влияние эколого-экономической безопасности на инвестиционную привлекательность региона // *Экономика региона*. — 2009. — № 4. — С. 155–158.
18. Татаркин А. И., Куклин А. А. Изменение парадигмы исследований экономической безопасности региона // *Экономика региона*. — 2012. — №2. — С. 25–39.

19. Черешнев В. А., Куклин А. А., Васильева А. В. Теоретико-методический подход к прогнозированию социально-демократического развития региона // Экономика региона. — 2010. — №2. — С. 38–46.
20. Human Development Report 1990. UNDP. — New York: Oxford University Press, 1990. — 141 p.
21. Human Development Report 2003. UNDP. — New York: Oxford University Press, 2003. — 384 pp.
22. The Changing Wealth of Nations. Measuring Sustainable Development in New Millennium. — Washington DC : The World Bank, , 2011. — 266 p.

### Информация об авторах

**Дигас Борис Вадимович** — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт математики и механики УрО РАН (Российская Федерация, 620990, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16; e-mail: digas@imm.uran.ru).

**Розенберг Валерий Львович** — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт математики и механики УрО РАН (Российская Федерация, 620990, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16; e-mail: rozen@imm.uran.ru).

**Боярских Анастасия Игоревна** — экономист, Институт экономики УрО РАН (Российская Федерация, 620014, обл. Свердловская, Екатеринбург, Московская, 29; e-mail: nastia-sinenko@rambler.ru).

For citation: *Ekonomika regiona* [Economy of Region], — 2015. — №4. — pp. 346-356.

**B. V. Digas, V. L. Rozenberg, A. I. Boyarskikh**

## Study of the Eco-Economic Indicators by Means of the New Version of the Merge Integrated Model

### Part 1

One of the most relevant issues of the day is the forecasting problem of climatic changes and mitigation of their consequences. The official point of view reflected in the Climate doctrine of the Russian Federation consists in the recognition of the need of the development of the state approach to the climatic problems and related issues on the basis of the comprehensive scientific analysis of ecological, economic and social factors. For this purpose, the integrated estimation models of interdisciplinary character are attracted. Their functionality is characterized by the possibility of construction and testing of various dynamic scenarios of complex systems. The main purposes of the computing experiments described in the article are a review of the consequences of hypothetical participation of Russia in initiatives for greenhouse gas reduction as the Kyoto Protocol and approbation of one of the calculation methods of the green GDP representing the efficiency of environmental management in the modelling. To implement the given goals, the MERGE optimization model is used, its classical version is intended for the quantitative estimation of the application results of nature protection strategies. The components of the model are the eco-power module, climatic module and the module of loss estimates. In the work, the main attention is paid to the adaptation of the MERGE model to a current state of the world economy in the conditions of a complicated geopolitical situation and introduction of a new component to the model, realizing a simplified method for calculation the green GDP. The Project of scenario conditions and the key macroeconomic forecast parameters of the socio-economic development of Russia for 2016 and the schedule date of 2017–2018 made by the Ministry of Economic Development of the Russian Federation are used as a basic source of entrance data for the analysis of possible trajectories of the economic development of Russia and the indicators of their ecological efficiency. Calculations show that Russia has reserves allowing its participation in the nature protection initiatives consisting in the non-exceedance of the emissions levels of 1990 by 2020–2025. At the same time, a goal of increasing the ecological efficiency of the Russian GDP is relevant and demands to address this matter urgently. We suppose that modelling results may be in demand by the competent bodies taking managerial decisions.

**Keywords:** complex estimated models, intertemporal optimization, scenarios of economic development, emission of greenhouse gasses, green GDP

### Acknowledgements

The research has been supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 14–06–00075) and programs of fundamental scientific research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Project 15–7-1–22).

### References

1. Kokorin, A. O., Gritsevich, I. G. & Safonov, G. V. (2004). *Izmenenie klimata i Kiotskiy protokol — realii i prakticheskie vozmozhnosti* [Climate change and the Kyoto Protocol: realities and practical opportunities]. Moscow: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF) — Rossiya Publ., 64.
2. Izrael, Yu. A., Nazarov, I. M., Ginarskiy, M. L., Nakhutin, A. I. & Yakovlev, A. F. (2002). *Kiotskiy protokol — problemy ego ratifikatsii* [The Kyoto Protocol — problems of its ratification]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 11, 5–12.
3. Manne, A., Mendelson, R. & Richels, R. (1995). MERGE — a Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*, 23(1), 17–34.
4. Manne, A. (2000). Energy, the environment and the economy: hedging our bets. *Global Climate Change*. In: J. M. Griffin (Ed.). Northampton, MA: Edward Elgar, 126–143.

5. Kryazhimsky, A., Minullin, Ya. & Schrattenholzer, L. (2005). Global long-term energy-economy-environment scenarios with an emphasis on Russia. *Perspectives in Energy Journal*, 9, 119–137.
6. Digas, B. & Rozenberg, V. (2010). Application of an optimisation model to studying some aspects of Russia's economic development. *International Journal of Environment and Pollution*, 1(1), 51–63.
7. Digas, B., Rozenberg, V. & Kuklin, A. (2014). A new version of integrated assessment model MERGE. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1231–1240.
8. Weyant, J. P. (1996). Integrated assessment of climate change: an overview and comparison of approaches and results. In: J. P. Bruce, H. Lee, and E. F. Haites (Eds). *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge University Press, 448.
9. Stanton, E. A. (2011). Negishi welfare weights in integrated assessment models: the mathematics of global inequality. *Climate Change*, 107, 417–432.
10. Rutherford, T. (1999). Sequential joint maximization. *Energy and Environmental Policy Modeling*. In: J. P. Weyant (Ed.). Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 139–175.
11. Bobylev, S. N. & Khodzhaev, A. Sh. (1997). *Ekonomika prirodopolzovaniya [Environmental economics]*. Moscow: TEIS Publ., 272.
12. Bobylev, S. N. & Makeenko, P. A. (Eds). *Indikatory ustoychivogo razvitiya Rossii. Ekologo-ekonomicheskie aspekty [Indicators of a sustainable development of Russia. Eco-economic aspects]*. Moscow: TsPRP Publ., 220.
13. Bobylev, S. N., Minakov, V. S., Solovyova, S. V. & Tretyakov, V. V. (2012). *Ekologo-ekonomicheskiy indeks regionov RF [Eco-economic index of regions of the Russian Federation]*. Moscow: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF) — Rossiya Publ., 152.
14. Ryumina, E. V. (2013). Ekologicheski skorrektirovanny VVP. Sfery ispolzovaniya i problemy otsenki [Ecologically corrected GDP. Spheres of use and assessment problems]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 4, 107–115.
15. Veklich, O. A. & Shlapak, N. Yu. (2012). Ekologicheski skorrektirovanny VVP kak pokazatel realnogo ekonomicheskogo razvitiya [Ecologically corrected GDP as an indicator of real economic development]. *Problemy prognozirovaniya [Problems of forecasting]*, 3, 48–54.
16. Groshev, A. R. (2009). Analiz metodicheskikh podkhodov k otsenke VVP s uchetom ekologicheskogo faktora [The analysis of methodical approaches to GDP assessment taking into account ecological factor]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [News of Tomsk Polytechnical University]*, 309(4), 213–218.
17. Kuklin, A. A. & Belik, I. S. (2009). Vliyanie ekologo-ekonomicheskoy bezopasnosti na investitsionnyuyu privlekatel'nost regiona [Influence of eco-economic security on investment attractiveness of the region]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 4, 155–158.
18. Tatarkin, A. I. & Kuklin, A. A. (2012). Izmenenie paradigmy issledovaniy ekonomicheskoy bezopasnosti regiona [Change of research paradigm of regional economic security]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 2, 25–39.
19. Chereshev, V. A., Kuklin, A. A. & Vasilyeva, A. V. (2010). Teoretiko-metodicheskiy podkhod k prognozirovaniyu sotsialno-demokraticheskogo razvitiya regiona [Theoretical and methodological approach to forecasting of socio-democratic development of the region]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 2, 38–46.
20. *Human Development Report 1990*. UNDP. (1990). New York: Oxford University Press, 1990. — 141 p.
21. *Human Development Report 2003*. UNDP. (2003). New York: Oxford University Press, 384.
22. *The Changing Wealth of Nations. Measuring Sustainable Development in New Millennium* (2011). Washington DC: The World Bank, 266.

### Authors

**Digas Boris Vadimovich** — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Research Associate, Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of RAS (16, S. Kovalevskoy St., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation; e-mail: digas@imm.uran.ru).

**Rozenberg Valeriy Lvovich** — PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Associate, Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of RAS (16, S. Kovalevskoy St., Ekaterinburg, 620990, Russian Federation; e-mail: rozen@imm.uran.ru).

**Boyarskikh Anastasiya Igorevna** — Economist, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS (29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: nastia-sinenko@rambler.ru).