

УДК 51-77:330.46

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА**Кисляков И.М., Медведев А.В.***Кемеровский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Кемерово, e-mail: kemerovo85@mail.ru*

В данной статье рассматривается вопрос учета различных рисков составляющих в математической модели эколого-экономического взаимодействия управляющего (административного) центра и инвестора (производителя). Большинство имеющихся математических моделей эколого-экономического взаимодействия имеют имитационный характер (не рассматривают применение задачи оптимизации). В этой связи с их помощью невозможно выявить экономический потенциал производителя, который определяет максимальные уровни загрязнения окружающей среды. Учет рисков факторов может позволить управляющему центру или другим лицам, принимающим решения, выявлять не только оптимальный характер эколого-экономического взаимодействия, но и, более того, отразить изменения в эколого-экономическом климате как совокупности соответствующего потенциала и учета рисков, которые можно трактовать как затраты на обеспечение экологической, экономической, финансовой и других видов безопасности развития региона. Предложена математическая модель, описывающая способ взаимодействия управляющего центра территории и производителя, учитывающая указанные факторы. Математическая модель является задачей линейного оптимального управления, для которой имеются эффективные алгоритмы и автоматизированные программные комплексы её анализа. Указанная модель и результаты её анализа позволяют рассматривать их как инструменты поддержки принятия решений, направленных на улучшение эколого-экономического развития региона.

Ключевые слова: региональный управляющий центр, производитель, инвестиции, экологический платеж, риски, математическая модель

MATHEMATICAL MODEL OF THE REGION'S ECOLOGICAL-INVESTMENT ATTRACTION**Kislyakov I.M., Medvedev A.V.***Kemerovo Institute of Russia Economic University named after G.V. Plekhanov, Kemerovo, e-mail: kemerovo85@mail.ru*

This article considers the issue of taking into account the various risk components in the mathematical model of ecological and economic interaction between the manager (administrative) center and the investor (producer). Most of the available mathematical models of environmental-economic interaction are imitative (they do not consider the application of the optimization problem). In this regard, with their help, it is impossible to identify the economic potential of the producer, which determines the maximum levels of environmental pollution. Accounting for risk factors may allow the managing center or other decision-makers to identify not only the optimal nature of the eco-economic interaction, but, even more, reflect changes in the environmental and economic climate as a combination of appropriate capacity and risk management, which can be treated as costs to ensure environmental, economic, financial and other types of region's security development. Here is proposed a mathematical model that describes the way in which the managing center of the territory and the producer interacts, taking into account these factors. The mathematical model is the task of linear optimal control, for which there are effective algorithms and automated software complexes for its analysis. This model and the results of its analysis allow us to consider them as a tool for supporting decision-making aimed at improving the region's ecological and economic development.

Keywords: regional manager center, manufacturer, investment, environmental fee, risk, mathematical model

Текущее развитие мировой экономики ведет к ужесточению экономической конкуренции как между странами, так и между отдельными регионами. Мировые производители стараются перенести свои основные производственные фонды (ОПФ) в любую точку нашей планеты с наиболее выгодными для них условиями (с точки зрения прибыли) производства, происходит процесс глобализации экономики с переносом загрязняющих предприятий в развивающиеся страны. В этом процессе экологические риски не всегда учитываются в полной мере как в угоду целям собственно экономического развития, так и в силу особенностей эко-

лого-экономической политики конкретных регионов [1]. В этой связи задача оценки инвестиционной привлекательности (климата) региона или любой территории, на которой осуществляется масштабное производство, негативно воздействующее на окружающую природную среду (ОПС), является актуальной в свете необходимости учета интересов проживающего населения. Помимо рисков производственного, инвестиционного, финансового, социального и другого характеров для участников эколого-экономического процесса на территории практически всегда возникают экологические риски. Например, для регионального управляющего центра

(РУЦ) в качестве экологических рисков его деятельности могут выступать необходимость осуществления затрат на поддержку социальных, медицинских, экологических программ, направления средств на строительство больниц, закупку лекарств, восстановление экосистем, развитие экологически чистого производства, а для производителя (инвестора) при запуске проектов, предполагающих ухудшение экологии, – необходимость вложений в очистные сооружения, затрат на установку и использование наилучших доступных технологий (НДТ) с целью снижения негативного воздействия на ОПС [2]. Для улучшения эколого-экономического климата необходимо использовать механизмы комплексного оценивания уровня экологических рисков с учетом оценки производственного потенциала производителя. Классический подход к оцениванию экологических рисков основан на учете потенциального ущерба от реализации рисков экологического события и вероятности его возникновения, которая в большинстве случаев определяется статистическим или экспертным методом [3]. Отечественный и зарубежный опыт в области разработки механизмов снижения экологических рисков можно разделить на следующие классы [4]: механизмы экономической ответственности (система нормативов, квот, отклонение от которых приводит к наложению штрафов), механизмы стимулирования снижения уровня риска (льготы налогообложения, кредитования природоохранных мероприятий), механизмы перераспределения риска (государственное, независимое, взаимное страхование), механизмы резервирования (формирование материальных, трудовых ресурсов, мощностей на случай чрезвычайных ситуаций), механизмы формирования и распределения специальных фондов и механизмы управления региональными программами, которые задействуют все механизмы, включая в том числе механизмы согласования интересов органов власти [5]. Целью данной работы является изложение системного подхода к оценке эколого-инвестиционной привлекательности региона, включающего концепцию, математическую модель, ориентированную на ее использование в автоматизированной системе поддержки принятия управленческих решений как управляющим центром, так и производителем [6, 7].

Материалы и методы исследования

Определим понятие эколого-экономической привлекательности территории как некоторую совокупность факторов, учитывающую взаимодействие ее экономического потенциала и возникающих при функционировании территории экологических рисков. Пред-

положим, что эколого-экономическая политика в регионе разрабатывается региональным управляющим центром, заинтересованным в эффективном функционировании региона, как эколого-экономической системы. Предположим также, что необходимо организовать взаимодействие РУЦ и производителя, которое будет способствовать эколого-экономической привлекательности региона. Следуя поставленному требованию развития региона, количественно определим риски, возникающие при таком развитии, как финансовые потери из-за неправильно поставленной или недостигнутой стратегической цели эколого-экономического развития. В качестве стратегических целей для РУЦ будем рассматривать максимизацию объективно обусловленных экономическим потенциалом производителя налоговых платежей, включающих экологические платежи, а для производителя – максимизацию NPV (чистой приведенной стоимости) проекта по производству продукции или направления экономической деятельности, с учетом ограничений своего функционирования (экологических, производственных инвестиционных, финансовых и т.д.). При этом для численной оценки риска необходимо перейти от натурального выражения объемов производства (определяющих объемы загрязняющих выбросов) к финансовому (денежному) [8], такому как, например, стоимостные затраты на восстановление работоспособности системы при реализации выбранных рисков. Для достижения цели исследования построим оптимизационную математическую модель эколого-экономической привлекательности региона. Результатом формирования эколого-экономической политики предполагается получение такого оптимального распределения имеющихся потенциальных инвестиций и объемов производимой в регионе продукции n видов, а также значений коэффициента экологического платежа, при которых решена многокритериальная задача максимизации их суммы для РУЦ и максимизации чистой приведенной стоимости (NPV) проекта для производителя. Предположим, кроме того, что в регионе заданы (найжены) зависимости рисков $r_i = f_i(x)$ кризисного развития системы в i -м направлении ($i = 1, \dots, m$; m – количество направлений) обеспечения экологической, экономической, финансовой и других видов безопасности от вектора затрат $x \in R^l$ (l – количество статей затрат) на их избежание (устранение, исключение, уменьшение) [9]. Отметим, что при математическом моделировании деятельности производителя традиционно учитывается часть рисков функционирования региона (например, к ним относятся риски инфляции, неплатежеспособности и/или недофинансирования производителя, риски недопроизводства и/или перепроизводства продукции).

В связи с необходимостью практической программной реализации решения поставленной задачи и учитывая большую размерность задачи и множество ее ограничений [10], для оперативной поддержки принятия управленческого решения РУЦ будем считать, что зависимость функций f_i от x линейна, а именно $f_i = a_i - b_i x$. Линейность функций f_i позволяет строить оптимизационные модели эколого-экономического взаимодействия РУЦ и производителя с выходом на создание СППР. Предположим, что:

- 1) каждый вид продукции производится с помощью одного комплекта ОПФ, т.е. выполняется принцип «чистых отраслей»;
- 2) рассматриваются два участника взаимодействия – РУЦ и производитель;
- 3) РУЦ и производитель располагают либо собственными, либо заемными (дотационными) сред-

ствами для финансирования своей деятельности (либо избежания/устранения своих рисков);

4) учитываются лишь те виды налогов и сборов, которые зависят от искомым объемов инвестиций и производства продукции: налог на добавленную стоимость (НДС), страховые взносы в социальные фонды (СВ), налог на имущество (НИ), налог на прибыль (НП), экологические платежи и другие);

5) ОПФ, используемые при производстве, загружены максимально, т.е. имеют максимальную фондоотдачу.

Результаты исследования и их обсуждение

Модифицируем представленную в работе [11] математическую постановку изложенной выше задачи с учетом цели текущей работы. Пусть n – количество видов производимой продукции и, в соответствии с принципом «чистых отраслей», комплектов основных производственных фондов (ОПФ), $x_k = c_k m_k$ – оптимальные суммы инвестиций в ОПФ k -го вида, где c_k – стоимость k -го ОПФ, m_k – оптимальное количество единиц ОПФ k -го вида, $x_{n+k} = P_k m_k y_k$ – оптимальная выручка от продажи продукции k -го вида ($k = 1, \dots, n$), где P_k – стоимость единицы продукции k -го вида, y_k – оптимальный объем продукции, произведенной комплектом ОПФ k -го вида, x_{2n+1} – оптимальная сумма кредитов, x_{2n+2} – оптимальная сумма дотаций на осуществление текущей деятельности производителя, x_{2n+2+l} ($l = 1, \dots, L$) – оптимальные затраты на предотвращение l -го риска производителя, L – количество рисков производителя, $x_{2n+2+L+m}$ ($m = 1, \dots, M$) – оптимальные затраты на предотвращение m -го риска РУЦ, M – количество рисков РУЦ; a_k , d_k – максимальные издержки, которые несут соответственно производитель и РУЦ в случае отсутствия затрат на k -м рисковом направлении своего функционирования; b_k , e_k – задаваемые экспертно коэффициенты, имеющие смысл соответственно для каждого производителя и РУЦ, оценки значимости эффекта от осуществленных затрат на k -м рисковом направлении своего функционирования, V_k , T_k – производительность, срок полезного использования k -го ОПФ; $N_1 = \alpha_1 R = \alpha_1 \sum_{k=1}^n x_{n+k}$ – налог на добавленную стоимость (НДС) за год, $N_2 = \alpha_2 \sum_{k=1}^n \left(1 - \frac{T}{T_k}\right) x_k$ – налог на имущество (НИ) за год, $N_3 = \alpha_3 W^b$ – налог на прибыль (НП) за год, $N_4 = \alpha_4 \beta R = \alpha_4 \beta \sum_{k=1}^n x_{n+k}$ – страховые взносы в социальные фонды (СВСФ) $N_5 = \alpha_5 \sum_{k=1}^n x_{n+k}$ – дополнительные затраты (ДЗ) производителя, зависящие от объемов

производства (например, налог на добычу полезных ископаемых); α_i , $i = 1, \dots, 5$ – соответственно ставки НДС, НИ, НП,

СВСФ и ДЗ; $Shtraf = \alpha_s \sum_{k=1}^n \frac{\xi_k}{P_k} x_{n+k}$ – сумма

экологического платежа за год, α_s – коэффициент экологического платежа, ξ_k – удельный выброс загрязнителя на единицу продукции k -го вида; T – горизонт планирования эколого-экономического проекта; r – годовая ставка дисконтирования инвестиционного проекта, учитывающая инфляцию, уровень требований инвестора и другие экономические и политические риски деятельности производителя; $r_3 = \frac{rT}{1 - (1+r)^{-T}} - 1$ – эф-

фективная ставка дисконтирования, учитывающая динамические особенности критериев эффективности в предположении постоянства потоков прибыли и амортизации на всем горизонте планирования; q_k – стоимостной спрос на продукцию k -го вида, z_k – оборотные затраты на производство продукции k -го вида; δ_k – фондоотдача (эффективность, мощность) ОПФ k -го вида, D_k – предельно допустимые выбросы (ПДВ) загрязнителя от производства k -й продукции, θ_k – удельные оборотные затраты (на единицу продукции) производителя; DS^0 – собственные начальные средства производителя; Cr – оптимальный поток кредитования текущей деятельности производителя, r_0 – ставка кредита на финансирование текущей деятельности, T_0 – срок кредита на финансирование текущей деятельности, Cr_{max} – максимально возможный размер годового кредита, взятого на финансирование текущей деятельности, Dot_{max} – максимально возможная сумма годовых дотаций производителю, I_{max} – максимально возможная сумма инвестиций производителя, L_1 , L_2 – соответственно максимальные суммы затраты на избежание (устранение) всех выделенных рисков производителя и РУЦ.

Используя представленные в [11] алгоритмы расчета потоков доходов и расходов производителя, имеющие линейную зависимость от искомым переменных модели, сформулируем следующую математическую модель эколого-инвестиционной привлекательности добывающей территории в форме двухкритериальной задачи линейного программирования.

$$J_1 = \frac{T(W^r + Am)}{1 + r_3} - I - \frac{r_0(12T_0 + 1)}{24} Cr - \sum_{l=1}^L (f_l(x_{2n+2+l})) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$J_1 = \frac{T \sum_{k=1}^n ((\gamma_k - 1 - r_3)x_k + \eta_k x_{n+k})}{1 + r_3} - \frac{r_0(12T_0 + 1)}{24} x_{2n+1} - \sum_{l=1}^L (a_l - b_l x_{2n+2+l}) \rightarrow \max, \quad (1')$$

$$J_2 = \sum_{i=1}^5 N_i + Shtraf - \sum_{m=1}^M (f_m(x_{2n+2+L+m})) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$J_2 = T \cdot \frac{\sum_{k=1}^n \zeta_k x_k + \sum_{k=1}^n \varepsilon_k x_{n+k}}{1 + r_3} + \alpha_s \sum_{k=1}^n \frac{\xi_k}{P_k} x_{n+k} - \sum_{m=1}^M (d_m - e_m x_{2n+2+L+m}) \rightarrow \max, \quad (2')$$

$$\sum_{k=1}^n x_k \leq I_{\max}, \quad (3)$$

$$x_{n+k} \leq \delta_k x_k, \quad (4)$$

$$x_{n+k} \leq q_k, \quad (5)$$

$$-\sum_{k=1}^n [(\alpha_3 - 1)\gamma_k] x_k - \sum_{k=1}^n (1 - \alpha_3)(1 - \eta_k) x_{n+k} - x_{2n+1} - x_{2n+2} \leq DS^0, \quad (6)$$

$$x_{2n+1} \leq Cr_{\max}, \quad (7)$$

$$x_{2n+2} \leq Dot_{\max}, \quad (8)$$

$$\xi_k \frac{x_{n+k}}{P_k} \leq D_k, \quad (9)$$

$$\sum_{l=1}^L x_{2n+2+l} \leq L_1, \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^M x_{2n+2+L+m} \leq L_2, \quad (11)$$

$$x_m \geq 0 \quad (m = 1, \dots, 2n + 2 + L + M), \quad (12)$$

где

$$\gamma_k = (\alpha_3 - 1) \left(\frac{T}{T_k} + \alpha_2 \left(1 - \frac{T}{T_k} \right) + \frac{\theta_k V_k}{c_k} + \frac{T}{(\alpha_3 - 1) T_k} \right),$$

$$\eta_k = (1 - \alpha_3) \left(1 - \beta - \alpha_1 - \alpha_4 \beta - \alpha_5 - \alpha_s \frac{\xi_k}{P_k} \right);$$

$$\zeta_k = \alpha_2 \left(1 - \frac{T}{T_k} \right) + \alpha_3 \left(-\frac{T}{T_k} - \alpha_2 \left(1 - \frac{T}{T_k} \right) - \frac{\theta_k V_k}{c_k} \right);$$

$$\varepsilon_k = \alpha_1 + \alpha_3 \left(1 - \beta - \alpha_1 - \alpha_4 \beta - \alpha_5 - \frac{\alpha_s \xi_k}{P_k} \right) + \alpha_4 \beta + \alpha_5 + \frac{\alpha_s \xi_k}{P_k},$$

(1), (1') – критерий производителя (содержательный и математический вид соответственно), представляющий собой сумму дисконтированной по ставке r_3 суммы прибыли и оценки имущества, а также осуществленных инвестиций на рассма-

триваемом горизонте планирования; (2), (2') – критерий управляющего центра (содержательный и математический вид соответственно), означающий максимизацию поступающих в бюджет территории сумм налогов и платежей за нарушение экологи-

ческих норм; (3) – условие ограниченности максимальных инвестиций; (4) – условие ограниченности выручки от продажи продукции фондоотдачей (эффективностью, мощностью) ОПФ; (5) – условие ограниченности выручки от продажи продукции спросом на продукцию, (6) – условие неотрицательности суммы собственных средств производителя, гарантирующее его платежеспособность на всем горизонте планирования; (7) – условие ограниченности максимальных годовых кредитов; (8) – условие ограниченности максимальных годовых дотаций; (9) – условие ограниченности выбросов загрязняющих веществ объемами предельно допустимых выбросов (ПДВ); (10) – условие ограниченности суммарных затрат на устранение рисков производителя; (11) – условие ограниченности суммарных затрат на устранение рисков РУЦ; (12) – условие неотрицательности значений искомым переменных модели.

Несложно установить, что задача, описываемая математической моделью (1)–(12), имеет решение, так как допустимое множество представляет собой непустой (содержит тривиальное решение), ограниченный компакт. Наличие нетривиального решения, на модельных данных, было показано с использованием пакета [12].

Выводы

Таким образом, предложенная математическая модель описывает инвестиционную, производственную и финансовую деятельность производителя с учетом экологических факторов, основные стратегические потоки РУЦ и регионального производителя и содержит такие искомые переменные, как оптимальные объемы инвестиций, производства, кредитов, дотаций, предотвращения рисков и имеет решение для всех значений входящих в нее параметров. Наличие групп переменных, учитывающих затраты на устранение рисков, в рамках представленной постановки, позволяет рассматривать модель (1)–(12) как модель эколого-инвестиционной привлекательности территории. Данная математическая модель может быть реализована в СППР для принятия эффективных эколого-инвестиционных решений как региональным управляющим центром, так и производителем.

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме: «Эколого-экономический механизм функционирования минерально-сырьевых кластеров для обеспечения устойчивого развития добывающих регионов» (приказ ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова» № 637 от 08.05.2018).

Раздел «Методы исследования» данной статьи подготовлен при поддержке Департамента образования и науки Кемеровской области в рамках Соглашения о грантах из регионального бюджета на осуществление исследовательских проектов (проект «Интеллектуальная ответственность как основа устойчивого развития угледобывающего региона (на примере Кемеровской области)»). Соглашение № 21 от 14.08.2018 г.

Список литературы

1. Кудряшова И.А. Влияние глобализации мировой экономики на формирование региональной экономической политики: автореф. дис. ... д-ра экон. наук / И.А. Кудряшова. Москва, 2008. 43 с.
2. Киселева Т.В., Михайлов В.Г. Методы оценки и управление эколого-экономическими рисками как механизм обеспечения устойчивого развития эколого-экономической системы // Системы управления и информационные технологии. 2012. Т. 48, № 2. С. 69–74.
3. Михайлов В.Г., Киселева Т.В., Михайлов Г.С. Влияние эколого-экономических рисков на основные технико-экономические показатели предприятия // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет, 2017. С. 336–338.
4. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления эколого-экономическими системами // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 2–7.
5. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. М.: Физматлит, 2008. 243 с.
6. Гурман В.И., Либенсон И.Р., Скитневский Д.М. Моделирование устойчивого развития региона и инвестиционных стратегий // Сибирский торгово-экономический журнал. 2013. № 1. С. 10–16.
7. Киселева Т.В., Михайлов В.Г. Экспресс-анализ эколого-экономических показателей предприятия, как элемент принятия эффективного управленческого решения // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет, 2014. С. 71–72.
8. Захарова Е.Н., Барташевич А.А. Управление эколого-экономическими рисками в системе инструментов регионального устойчивого развития // Вестник Адыгейского государственного университета. 2011. № 4. С. 79–88.
9. Медведев А.В. Математическая модель оценки инвестиционной привлекательности региона // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8–2. С. 357–361.
10. Системное моделирование и анализ мезо-и микро-экономических объектов / отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Сулов; РАН, Сиб. отд-ние, ИЭОПП СО РАН, Новосибирск, 2014. 419 с.
11. Кисляков И.М., Медведев А.В. Модификация модели эколого-экономического взаимодействия предприятия и административного центра в регионе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 8–3. С. 438–441.
12. Свидетельство Роспатента № 2014612483. Автоматизированный программный комплекс определения экологических штрафов предприятия: программа для ЭВМ / А.В. Медведев, И.М. Кисляков (RU); правообладатели А.В. Медведев, И.М. Кисляков (RU); заявл. 07.11.2013; опубл. 26.02.2014. 2047 К6. URL: <http://www1.fips.ru/Archive/EVM/2014/2014.03.20/Index.htm>.