

*С. А. Вдовин<sup>1\*</sup>, В. А. Павленко<sup>1</sup>, Е. О. Ушакова<sup>1</sup>*

## **Инструменты и методы моделирования в экономике природопользования**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: vdovin-s@ngs.ru

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию экономических инструментов, которые могут быть эффективно использованы при разработке программ рационального природопользования. Цель исследования – изучение экономических инструментов, необходимых для построения имитационных моделей для решения задач рационального природопользования. Методы исследования: анализ, сравнение, обобщение и систематизация информации, апперцепирование и дескриптивный метод. Поставлены и решены задачи, получены результаты, связанные с анализом экономического инструментария, применяемого при разработке программ рационального природопользования. Сделан выбор экономического инструмента для формализации и количественного обоснования эффективности и целесообразности принимаемых управленческих решений в рациональном природопользовании. Предложен инструментарий, который рекомендуется использовать для экономического обоснования программ рационального природопользования и учета наиболее существенных факторов в моделях при их разработке. Установлено, что процесс моделирования не статичен.

**Ключевые слова:** экономика, природопользование, модель, моделирование, управление

*S. A. Vdovin<sup>1\*</sup>, V. A. Pavlenko<sup>1</sup>, E. O. Ushakova<sup>1</sup>*

## **Modeling tools and methods in the economics of environmental management**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: vdovin-s@ngs.ru

**Abstract.** The article is devoted to the study of economic instruments that can be effectively used in the development of environmental management programs. The purpose of the study is to study the economic tools necessary to build simulation models for solving environmental management problems. Research methods: analysis, comparison, generalization and systematization of information, apperception and descriptive method. The tasks were set and solved, the results related to the analysis of the economic tools used in the development of environmental management programs were obtained. The choice of an economic tool for formalization and quantitative justification of the effectiveness and expediency of management decisions in rational environmental management is made. A toolkit is proposed that is recommended to be used for the economic justification of environmental management programs and taking into account the most significant factors in the models during their development. It is established that the modeling process is not static.

**Keywords:** economics, nature management, model, modeling, management

## *Введение*

Актуальность темы заключается в том, что в современных условиях развития экономических систем необходимо выбирать наиболее эффективные экономические инструменты для их внедрения в программы рационального природопользования.

Новизна определяется необходимостью построения оптимальной системы управления природопользованием, которая наилучшим образом подходила бы для всех ее участников. Выбор экономических инструментов осуществляется в рамках процесса моделирования экономических систем. Обоснована необходимость использования имитационного моделирования как наиболее эффективного экономического инструмента, применяемого в управлении природопользованием. Имитационное моделирование применимо в решении различных задач устойчивого развития, рационального природопользования, оптимального управления территориями. Моделирование позволяет проанализировать массивы данных, построить модель, проверить ее адекватность, учесть наиболее существенные факторы, влияющие на тот процесс, для которого строится модель. Современные подходы к анализу данных позволяют усовершенствовать ранее полученные модели и подобрать наиболее подходящие экономические инструменты для их анализа с целью построения оптимальных имитационных моделей с целью их применения в экономике природопользования.

### *Методы и материалы*

Моделирование позволит выявить наиболее вероятные тенденции, проблемы управления, сформировать направления их анализа и решения. С целью выбора оптимальных подходов к моделированию необходимо обосновать выбор экономических инструментов для формализации и количественного обоснования эффективности и целесообразности принимаемых управленческих решений, а также решения различных задач рационального природопользования.

Данной проблематике посвящены исследования отечественных и зарубежных специалистов в области управления природопользованием, в том числе Гоффмана К.Г.[7], Лемешева М.Я. [13], Мекуш Г.Е.[15], Мкртчяна Г.М.[9], Новоселова А.Л.[16], Потравного И.М.[17], Реймерс Н.Ф.[18], Черных Н.А. [19].

Экономическая система формируется при воздействии множества факторов, часть которых можно проанализировать, применяя стандартные экономические инструменты. Но, всегда есть часть скрытых, латентных по отношению к экономической системе факторов. В связи с этим, обычно экономические инструменты позволяют лишь провести косвенный анализ факторов. Для наиболее полного решения задач управления и рационального природопользования, необходимо учитывать все факторы, оказывающие влияние на экономическую систему.

На поведение потребителя влияют два существенных фактора:

– субъективная полезность определенного товара для потребителя, потребительская эффективность;

– стоимость приобретаемого блага, определяемая оптимальным соотношением между стоимостью и конечной ценой.

Еще одним экономическим инструментом является прогнозирование. Для таких развитых экономических систем как природопользование, необходимо строить долгосрочные прогнозы. Прогноз должен учитывать возможность изменения состояния системы, в том числе состояние неопределенности. В прогнозе должны учитываться возможные потери от действия неблагоприятных сценариев формирующейся рыночной конъюнктуры. Экономические инструменты прогнозирования, моделирования должны учитывать риск и неопределенность, возможные состояния среды, в которой формируется экономическая система.

Отсюда переходим к следующим подходам и экономическим инструментам описания моделей управления природопользованием.

Первый подход к моделированию. Функциональные связи модели, моделируемой системы управления, носят статистический характер. Такие модели называют моделями со случайными факторами.

Второй подход к моделированию. Он основан на принципе, когда известен интервал изменения входящей переменной модели. Такие модели часто называют моделями с неполной информацией [3]. Данный подход применяется при планировании внешнеэкономической деятельности, когда необходимо учесть страновые риски, а точно спрогнозировать действия иностранных партнеров невозможно. Неопределенные факторы экономических систем появляются из-за недостаточной изученности процессов, величин и т.п., оказывающих влияние на результаты экономической деятельности агентов в экономической системе.

Оценка эффективности управленческих решений в природопользовании требует долгосрочных, устойчивых прогнозов, которые могли бы адекватно отображать последствия принимаемых решений. Также необходимо, чтобы в моделях управления была возможность организации обратной связи. Инструмент обратной связи позволит при необходимости провести коррекцию исходных данных и повысить эффективность применяемых экономических инструментов.

Базовым же инструментом, при любом подходе, в рамках анализа программ рационального природопользования является математическое моделирование.

Математическое моделирование – это основной инструмент анализа экономических систем. Математическое моделирование включает в себя широкий набор экономических и иных элементов анализа данных, учета неопределенностей, планирование, прогнозирование и т.п. Долгосрочное прогнозирование, оценка эффективности применения экономических инструментов в долгосрочной перспективе могут быть осуществлены только методами математического моделирования. Например, можно использовать модели долгосрочных макроэкономических прогнозов.

Основная проблема в области разработки программ рационального природопользования заключается в выборе наиболее подходящего экономического инструмента для выработки оптимальных стратегий управления для субъектов природопользования, участвующих в этих программах. Именно для этого необ-

ходимо провести предварительный отбор наиболее эффективных экономических инструментов.

Моделирование связано с описанием и исследованием экономических систем, комплексов, например, природопользования. В рамках исследования с целью выработки оптимальных, рациональных решений могут анализироваться отдельные предприятия для выявления влияния на их деятельность широкого круга факторов, взаимодействия в рамках рационального природопользования с окружающей средой, экономической системой.

Предметной областью исследования является экономический инструментарий, который применяется при разработке программ рационального природопользования.

Рациональное природопользование – интегральная экономическая, экологическая и социосистема, которая наиболее полно используют природные ресурсы и дает возможность уменьшить количество потребляемых ресурсов участниками этой системы, как поставщиками, так и потребителями ресурсов.

Цель исследования – изучение экономических инструментов, необходимых для построения имитационных моделей для решения задач рационального природопользования.

Задачи исследования:

- анализ экономического инструментария, применяемого при разработке программ рационального природопользования;

- выбор экономических инструментов для формализации и количественного обоснования эффективности и целесообразности принимаемых управленческих решений, а также различных задач рационального природопользования.

Авторами применялись следующие исследовательские методы: анализа, сравнения, обобщения и систематизации информации, апперцепирования и дескриптивный метод.

Метод анализа использован в разделении возможностей экономических инструментов, выделении их достоинств и недостатков.

Метод сравнения основан на сопоставлении систем управления ресурсами для выявления общего и различий между ними.

Метод обобщения опирается на отборе и фиксировании неизменных характеристик экономических инструментов. В результате обобщения были выбраны наиболее важные, с точки зрения авторов, характеристики экономических инструментов для формализации и количественного обоснования эффективности и целесообразности принимаемых управленческих решений. Данный отбор осуществлялся на основе учета межотраслевого взаимодействия, переменных параметров отраслевой и внешнеторговой политики.

Метод систематизации основан на построении единой системы характеристик экономических инструментов. С помощью данного метода определены необходимые характеристики переменных параметров отраслевой и внешнеторговой политики, аналогично тому, как используются в макромоделли переменные экономической политики и параметры налоговой и финансовой политики.

Метод апперцепирования позволил авторам дополнить процесс исследования новой информацией из различных источников, которые согласуются с направлением исследования.

Дескриптивный метод определил возможность конкретизации хода мысли, выявления ключевых слов, расстановки акцентов на наиболее важных результатах исследований.

### *Результаты*

Изучены возможности применения различных инструментов при формировании программ управления природопользованием, в том числе использование модели рыночного равновесия, экономического прогнозирования.

Одним из направлений применения экономико-математических моделей для выработки оптимальной стратегии управления природопользованием, является прогнозирование различных экономических процессов.

Исследование экономической системы в контексте анализа ее внешней среды является одним из основополагающих принципов теории систем.

Поэтому следующим изучаемым экономическим инструментом является имитационное моделирование. Мощными инструментами прогнозирования в экономических исследованиях являются имитационные модели [2].

Под имитационной моделью понимают символьное представление реальных объектов и процессов. Объект исследования обладает большим количеством характеристик, свойств. Формальное представление модели в виде уравнений, систем уравнений не в состоянии отразить все из них. При моделировании выделяют набор ключевых свойств, что также является сложной задачей.

Следует выделить проблематику символьного представления изучаемых в экономике процессов. Интерпретация результатов моделирования, также представленного в символической форме, называется десимволизацией. На данном этапе все также невозможно сопоставить символ и объект со всем его множеством свойств и характеристик. Экономический объект, изучаемый в имитационной модели, кроме экономических характеристик, обладает характеристиками неэкономического характера: социальными, политическими, национальными, культурными, техническими, экологическими и др., которые не могут быть представлены в символической форме при сохранении допустимого для интерпретации уровня сложности модели. Символьное представление в рамках имитационного моделирования приведет к потере информации и снижению качества данных и адекватности результатов.

В этой связи, укажем ряд требований, предъявляемых к экономической модели: содержательность и реалистичность принятых посылок и допущений, возможность информационного обеспечения и верификации, агрегация данных по первичным признакам и т.п.

Проблемой при построении модели является выбор из потенциально бесконечного числа факторов, воздействующих на экономическую систему, нескольких, оказывающих наибольшее влияние. Остальными факторами пренебрегают, учитывая их влияние только как случайное возмущение, а степень влияния этого случайного возмущения на результаты моделирования признается ничтожной.

Проблема возникает, если степень воздействия какого-либо фактора оказалась ошибочно недооценена и фактор признан ничтожным. В этом случае модель окажется неадекватной, а выводы и расчеты по ней неправильными.

Это может быть связано с изменениями свойств объекта моделирования или самой модели, например, при переходе из микросостояния в макросреду. Микроэкономические модели, изучая поведения агентов, не учитывают воздействие макроэкономических, глобальных факторов. Переход же объектов моделирования из микроуровня в макро вполне возможен. Причиной тому являются процессы глобализации.

Глобализация экономики характеризуется существенным изменением степени воздействия глобальных факторов на поведение отдельных экономических агентов. В частности, это требует внесения корректив во многие разработанные модели, создание инструментов перехода от локальных к глобальным моделям управления.

Классы моделей включают модели равновесия и имитационные модели. Модели равновесия описывают состояние системы в момент времени при известных параметрах системы. Их применение эффективно в случае, если совокупность факторов, влияющих на состояние системы, может быть описана однозначно. В сложных же системах, к которым относится природопользование, включающих характеристики отраслей, оказывающие антропогенное воздействие на окружающую среду, модели равновесия как инструмент моделирования и как основа для принятия управленческих решений не эффективны.

Модели эффективны для описания экономических систем, в том числе в области рационального природопользования. Процесс моделирования позволяет не только построить модель, но и предполагает исследование данных, которые были получены при проведении комплекса исследований при подготовке построения модели. При предварительном анализе данных также могут быть изучены закономерности, тренды, определены типы факторов и их значимость, незначимые факторы могут быть исключены заранее, что ускорит построение модели и в некоторой степени ее упростит.

Нелинейный характер связей в сложных экономических системах делает затруднительным, а иногда и невозможным определение оптимальной стратегии управления. Стратегию управления здесь можно интерпретировать как функционал, в который задается набор параметров, необходимых для достижения цели. Построение такого функционала достаточно сложная задача.

В имитационном моделировании выделяют инструмент построения ряда стратегий. С использованием имитационной модели определяется результат реализации каждой из стратегий, и выбирается та из них, результат которой максимально близок к поставленной цели. При данном подходе экономическая система считается открытой. Проблемой при анализе открытых систем является определение границ между системой и внешней средой. Необходимо установить границу, в пределах которой происходят внутрисистемные взаимодействия, определяющие характер функционирования системы. Специалистами отмечается сложность определения границ системы.

Такой подход позволяет использовать оптимальный набор инструментов для анализа и разработки программ рационального природопользования. Особый интерес представляет изучение взаимодействия различных отраслей экономики, именно при взаимодействии отраслей возникает тот набор хозяйственных операций, действий, которые формируют дальнейшее воздействие на окружающую природную среду. Возникают факторы, которые оказывают на среду негативное воздействие и факторы, определяющие экономическую целесообразность этого взаимодействия.

Инструменты данной модели позволяют охарактеризовать состояние равновесия производственной сферы, при котором обеспечивается конечный выпуск необходимого для конечного потребления объема продукции при сложившемся объеме производственного потребления каждого вида ресурса каждой отраслью. Модель описывает в наиболее простом случае межотраслевой баланс, формулы 1-3[4]:

$$\eta_j = \xi_j - \sum_i \alpha_{i,j} \times \xi_i \quad (1)$$

$$\sum_j \xi_j \times \beta_j \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\sum_i \alpha_{i,j} \times \xi_i \leq \xi_j \quad (3)$$

где  $\eta_j$  – конечное потребление товара, производимого j-ой отраслью;

$\xi_i$  – объем товарного производства i-ой отрасли;

$\alpha_{i,j}$  – промежуточное потребление j-ой отраслью продукта, производимого в i-ой отрасли;

$\beta_j$  – затраты непроизводственного фактора в j-ой отрасли.

Стоимостные соотношения в модели управления представлены формулами 4 и 5:

$$r_j = p_j - \sum_i \alpha_{i,j} \times p_i \quad (4)$$

$$p_j = \sum_i \alpha_{i,j} \times p_i + w \times \beta_j \quad (5)$$

где  $r_j$  – прибыль j-ой отрасли;

$p_i$  – стоимость продукта i-ой отрасли;

w – ставка заработной платы.

В модели природные ресурсы не являются факторами производства: при их добыче потребляется продукт других отраслей и фактор производства – труд. Природные ресурсы ограничены. Они либо не учитываются в модели, либо считаются продуктом одной из отраслей. Как следствие, в данном виде модель не полностью подходит для описания программ рационального природопользования и потребует уточнения. При моделировании требуется учесть особенности использования природных ресурсов в хозяйственных процессах. Любой источник ресурсов имеет естественные ограничения, которые не позволяют произвольно увеличивать объемы его использования. Это касается как возобновляе-

мых, так и невозобновляемых природных ресурсов. Для невозобновляемых ресурсов, месторождение может обеспечить выпуск не более чем определенного объема ресурсов за ограниченный период времени.

### *Обсуждение*

В настоящее время распространение получают математические, имитационные модели открытых систем. Особый интерес представляет математическое моделирование и исследование процессов на биогеоценозном уровне, что является основой для изучения процессов в природопользовании авторов Авраменко И.М.[2], Гуровой Т.Ф.[8], Ремерса Н.Ф.[18], Черных Н.А.[19].

Основные положения, которые специалисты заложили в моделирование, следующие: универсальные законы сохранения, балансовые математические уравнения сохранения числа частиц, вещества, энергии, а также принципы переноса, трансграничности. Данные положения нашли отражение в трудах Бешенцева А.Н. [6], Гофмана К.Г. [7], Комаровой Н.Г. [12], Лемешова М.Я. [13], Магарил Е.Р. и Локкет В.Н. [14], Мекуш Г.Е и Панова А.А. [15], Новосилова А.С. и Фалеева А.В. [16], Потравного И.М. [17] и др. Для исследования применяются методы теории устойчивости и теории бифуркаций. Это не означает, что модели не должны уточняться.

Современные инструменты обработки данных на основе технологии больших данных позволяют уточнить даже уже устоявшиеся модели и предложить уточненные модели для рационального природопользования. Они рассмотрены в исследованиях Авраменко И.М. [1], Астафьевой О.Е, Гофмана К.Г [7] и др.

Инструментарий, который авторы рекомендуют использовать для экономического обоснования программ рационального природопользования и учета наиболее существенных факторов в моделях при их разработке, применялся исследователями для решения узких задач моделирования, в том числе Annes P.C. [3], Dubina I.N., Mkrtchyan G. M. [9], Gritskevich, O. V., Pavlenko V. A [10], Kerf M., Izaguirre A.K.[11], Ushakova E. O., Vdovin S. A., Dubrovsky A. V. [20]. В модели, представленной авторами, природные ресурсы не являются факторами производства, так как при их добыче потребляется продукт других отраслей и фактор производства – труд. Результаты, полученные в представляемом исследовании, подтверждают результаты, изложенные в работах Mkrtchyan G. M. [9], Kerf M. [11].

Авторами установлено, что процесс моделирования не статичен, современные подходы к анализу данных позволяют усовершенствовать ранее полученные модели и подобрать наиболее подходящие экономические инструменты для их анализа, что подтверждают результаты Annez P.C. [3].

### *Заключение*

Наиболее подходящим инструментом для выработки оптимальных управленческих решений для экономической системы является имитационное моделирование. Чаще всего программы рационального природопользования касаются конкретных территорий. Управление включает большое число элементов, факторов, оказывающих существенное влияние на развитие территории.

Взаимосвязи внутренних элементов между собой, а также внутренних и внешних элементов сложны и только инструмент имитационного моделирования позволяет учесть их воздействие наилучшим образом и предложить набор оптимальных стратегий развития и управления в программах рационального природопользования.

Имитационное моделирование при заданных начальных условиях позволяет определить направление развития системы с учетом взаимного влияния всех факторов и обратных связей, получить оценку качества модели управления, которая учитывает все факторы, влияющие на программу рационального природопользования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авраменко И. М. Природопользование. Москва. Лань, 2015. 128 с.
2. Анисимов А. В. Прикладная экология и экономика природопользования. – Москва. Феникс. 2017. 320 с.
3. Annez P.C. (2006) Urban infrastructure finance from private operators. World Bank: Policy, Research working paper No. WPS 4045.
4. Анучин В. А. Основы природопользования. Теоретический аспект. Москва. Мысль, 2016. 296 с.
5. Астафьева О. Е., Питрюк А.В. Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды. Москва. Academia, 2013. 272 с.
6. Бешенцев А.Н. Геоинформационная оценка природопользования. Москва, БНЦ СО РАН, 2016. 120 с.
7. Гофман К. Г. Экономика природопользования (из научного наследия). — М.: Эдиториал УРСС, 1998.
8. Гурова Т. Ф., Назаренко Л.В. Основы экологии и рационального природопользования: моногр. Москва: Машиностроение, 2014. 224 с.
9. Dubina I. N., Mkrtchyan G. M., Ostaschenko T. V., Baitenizov D. T. (2019) On the assessment of regional intellectual and innovation activities based on measurement theory methods and panel data regression analysis. Vol. 22, No. 4. P. 655-680.
10. Gritskevich, O. V., Pavlenko V. A. (2020). Special Aspects Of Innovative Project Life Cycle Management. In A. S. Nechaev, V. I. Bunkovsky, G. M. Beregova, P. A. Lontsikh, & A. S. Bovkun (Eds.), Trends and Innovations in Economic Studies, Science on Baikal Session, vol 96 European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, pp. 291-297.
11. Kerf M., Izaguirre A.K. (2007). Revival of private participation in developing country infrastructure: A look at recent trends and their policy implications. World Bank: Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF), Gridlines No. 16.
12. Комарова Н. Г. Геоэкология и природопользование. Москва. Academia, 2016. 256 с.
13. Лемешев М.Я. Системный подход в экономических исследованиях. Т. 1-2. Новосибирск. 1971.
14. Магарил Е. Р., Локетт В.Н. Основы рационального природопользования. Москва: КДУ, 2013. 460 с.
15. Мекуш Г.Е., Панов А.А. Стратегическая экологическая оценка: региональные аспекты // Устойчивое развитие и новые модели экономики: Международная научная конференция, посвященная 40-летию кафедры экономики природопользования экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, 21–22 ноября 2019 года. – Москва: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. С. 38-40. EDN BLNRFA.
16. Новоселов А.С., Фалеев А. В. Региональные и муниципальные финансы в стратегическом планировании // Мир экономики и управления. 2022. Т. 22, № 1. С. 130-146. DOI

10.25205/2542-0429-2022-22-1-130-146. EDN QPOYQH.

17. Потравный И. М., Яшалова Н. Н., Гассий В. В., Чавез Ф. К. Проектный подход в управлении экологически ориентированным развитием экономики региона // Экономика региона. 2019. Т. 15, № 3. С. 806-821. DOI 10.17059/2019-3-14. EDN YDUFGK.

18. Реймерс Н. Ф. Природопользование. Москва. Мысль. 2016. 638 с.

19. Черных Н. А. Актуальные проблемы экологии и природопользования. Выпуск 11. Москва. Энергия. 2017. 677 с.

20. Ushakova E. O., Vdovin S. A., Dubrovsky A. V., Moskvina V. N. (2020) Evaluation of Recreational Potential of a Region for Drawing up Territorial Planning Schemes (Using the Example of Novosibirsk Oblast) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Science and Technology Conference «EarthScience», Russky Island, Russky Island: Institute of Physics Publishing, – P. 062049.

© С. А. Вдовин, В. А. Павленко, Е. О. Ушакова, 2023