

УДК 005:332.1:631.145

UDC 005:332.1:631.145

**УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В РЕГИОНАЛЬНОМ АПК  
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЭКОНОМИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**MANAGEMENT OF NATURE PROTECTION  
ACTIVITY IN REGIONAL AGRARIAN AND  
INDUSTRIAL COMPLEX ON THE BASIS OF  
METHODS OF ECONOMIC-MATHEMATICAL  
MODELLING**

Сахнюк Татьяна Ивановна  
к.э.н., доцент

Sakhnyuk Tatiana Ivanovna  
candidate of economic sciences, associate professor

Сахнюк Павел Анатольевич  
к.т.н., доцент

Sakhnyuk Pavel Anatolevich  
candidate of technical sciences, associate professor

Левушкина Светлана Владимировна  
к.ю.н., старший преподаватель  
*Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия*

Levushkina Svetlana Vladimirovna  
candidate of legal sciences, head teacher  
*Stavropol State Agrarian University Stavropol, Russia*

Проведен анализ методов экономико-математического моделирования в отношении менеджмента природоохранной деятельности. Предлагается для уменьшения выбросов загрязняющих веществ автотранспортом использовать экономико-математические модели планирования природопользования, при котором количество выбросов в окружающую среду будет наименьшим

The analysis of methods of economic-mathematical modeling for environmental management has been made. It is proposed to reduce pollutant emissions by road using economic and mathematical models of environmental planning, in which the amount of emissions into the environment will be minimal

Ключевые слова: ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Keywords: ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS, MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL ACTIVITIES

Нерациональное использование природных ресурсов, невыполнение природоохранных мероприятий в промышленном и сельскохозяйственном производствах обусловили растущие темпы загрязнения окружающей среды. В атмосферу выделяется целый ряд газообразных веществ, которые изменяют состав атмосферного воздуха, приближая концентрации токсических веществ к опасным для человека, животных и растений.

При этом основная финансовая нагрузка на решение обозначенных проблем ложится на муниципальный и федеральный бюджеты. Ключевые моменты совершенствования бюджетной и налоговой системы на муниципальном уровне, в том числе и в области природоохранной деятельности неоднократно поднимались в различных исследованиях [2], однако указанные проблемы остаются и в настоящее время актуальными.

Например, сернистый ангидрид оказывает многостороннее общетоксическое действие на теплокровных, нарушает углеводный и белковый обмен, вызывает расстройства сердечно-сосудистой системы, легочно-сердечную недостаточность, капилляротоксикоз, нарушает деятельность почек. Токсическое воздействие сернистого ангидрида на растения выражается в подавлении скорости фотосинтеза и распаде хлорофилла, при его воздействии происходит подкисление почвы.

Крупнейшими загрязнителями атмосферы являются двигатели внутреннего сгорания. Доля выбросов загрязняющих веществ автотранспортом, например, в некоторых регионах Ставропольского края в настоящее время приближается к 80% от общего количества выбросов [3].

В целях частичного решения указанной проблемы считаем целесообразным, наряду с мероприятиями по соблюдению госстандартов токсичности и дымности отработанных газов и так далее, использовать инновационные пути с применением экономико-математических моделей планирования природопользования, при котором количество выбросов в окружающую среду будет наименьшим [1].

### **1. Модель транспортной задачи**

Пусть имеется  $m$  пунктов поставки груза и  $n$  пунктов потребления,  $a_i$  - количество единиц груза в  $i$ -м пункте отправления ( $i = \overline{1, m}$ );  $b_j$  - потребность в  $j$ -м пункте назначения ( $j = \overline{1, n}$ );  $c_{ij}$  - расстояние от  $i$ -го пункта до  $j$ -го.

Требуется составить такой план перевозок груза, при котором общий грузооборот будет минимальным.

Обозначив через  $X_{ij}$  количество единиц груза, планируемого для перевозки из  $i$ -го пункта в  $j$ -й, представим исходные данные задачи в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Исходные данные транспортной задачи

Потребители Поставщики	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	...	B <sub>n</sub>	Запасы (объемы от- правления)
A <sub>1</sub>	C <sub>11</sub> X <sub>11</sub>	C <sub>12</sub> X <sub>12</sub>	...	C <sub>1n</sub> X <sub>1n</sub>	a <sub>1</sub>
A <sub>2</sub>	C <sub>21</sub> X <sub>21</sub>	C <sub>22</sub> X <sub>22</sub>	...	C <sub>2n</sub> X <sub>2n</sub>	a <sub>2</sub>
...	...	...	...	...	...
A <sub>m</sub>	C <sub>m1</sub> X <sub>m1</sub>	C <sub>m2</sub> X <sub>m2</sub>	...	C <sub>mn</sub> X <sub>mn</sub>	a <sub>m</sub>
Потребность	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	...	b <sub>n</sub>	

Математическая формулировка представленной транспортной задачи имеет следующий вид (закрытая модель).

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, i = \overline{1, m}; \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j; \\ X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (1)$$

## 2. Модель задачи коммивояжера

Задачу коммивояжера можно сформулировать следующим образом: для "n" пунктов с заданным расстоянием между ними требуется найти кратчайший маршрут посещения каждого пункта один раз с возвращением в исходный пункт. С точки зрения теории графов задача сводится к нахождению гамильтонова цикла минимальной длины [1].

Пусть, например, дана матрица попарных расстояний между пунктами A, B, C, D.

	A	B	C	D
A	0	10	20	30
B	10	0	10	50
C	20	10	0	80
D	30	50	80	0

Требуется найти кратчайший маршрут посещения каждого пункта один раз, начиная с пункта А с последующим возвращением в него.

Построим вначале граф расстояний между пунктами.

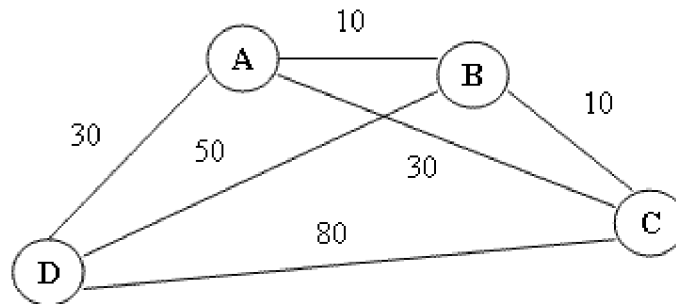


Рисунок 1 – Граф расстояний между пунктами

Далее построим дерево графа.

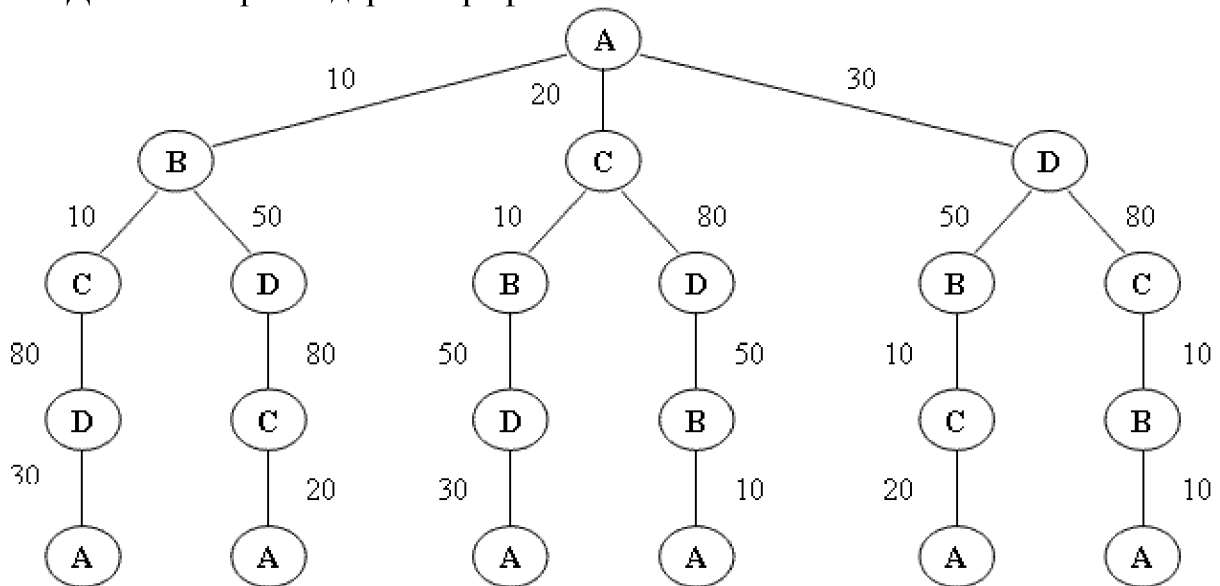


Рисунок 2 – Дерево расстояний между пунктами

Имеем:

$L_1 = (A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A),$	$S_1 = 10 + 10 + 80 + 30 = 130.$
$L_2 = (A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow A),$	$S_2 = 10 + 50 + 80 + 20 = 160.$
$L_3 = (A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A),$	$S_3 = 20 + 10 + 50 + 30 = 110.$
$L_4 = (A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A),$	$S_4 = 20 + 80 + 50 + 10 = 160.$
$L_5 = (A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A),$	$S_5 = 30 + 50 + 10 + 20 = 110.$
$L_6 = (A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A),$	$S_6 = 30 + 80 + 10 + 10 = 130.$

Следовательно,  $S_{\min} = S_3 = S_6 = 110$

Оптимальные пути:  $L_3 = (A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A)$  и  $L_5 = (A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A).$

Отметим оптимальные пути на графе расстояний между пунктами.

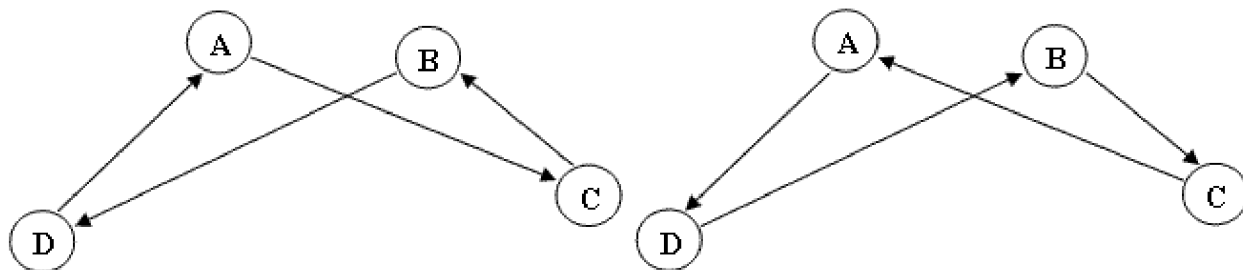


Рисунок 3 – Оптимальные пути на графе расстояний между пунктами

Понятно, что организация передвижения автотранспорта по оптимальным путям эффективна в плане сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Задачу коммивояжера можно рассмотреть как задачу целочисленного программирования.

Обозначив через  $C_{ij}$  расстояние между пунктами  $i$  и  $j$  ( $i, j = \overline{1, n}, i \neq j$ ), введем переменные

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если в маршрут входит переезд из } i \text{ в } j; \\ 0, & \text{в противном случае } (i, j = \overline{1, n}, i \neq j). \end{cases}$$

Требование однократного посещения (подъезда и отъезда) пунктов записывается в виде ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, j = \overline{1, n}, \\ \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

Однако ограничения (2) полностью не определяют допустимые маршруты, так как не исключают возможности разрыва путей, то есть появления нескольких не связанных между собой подмаршрутов для части пунктов. Поэтому следует вести дополнительно " $n$ " переменных  $u_i$

$(i = \overline{1, n})$ , принимающих только неотрицательные значения, и записать для них специальные ограничения:

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1; \quad i, j = \overline{2, n}, i \neq j. \quad (2)$$

Общее число таких ограничений равно  $(n - 1)(n - 2)$  и они, не исключая допустимый маршрут, исключают возможность существования подмаршрутов.

Таким образом, задача коммивояжера состоит в минимизации целевой функции:

$$f(\overline{X}, \overline{U}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min.$$

При условиях (1), (2), где переменные  $X_{ij}$ ,  $U_i$  принимают только неотрицательные значения.

### 3. Модель динамического программирования

Не менее привлекательным в аспекте рассматриваемой проблемы является использование модели динамического программирования применительно к задаче о нахождении кратчайшего пути в ориентированном графе, поскольку можно считать, что в этом случае мы имеем многошаговую задачу оптимизации.

Пусть например, требуется найти кратчайший путь от пункта А до пункта D, если указаны протяженности дорог между ними:

Решая данную трехшаговую задачу оптимизации  $Z = \sum_{k=1}^3 |U^k| \rightarrow \min$  методом динамического программирования, например, обратным ходом, получим:  $S_{\min} = 7 + 5 + 2 = 14$  (км). Кратчайший путь:  $L = (A \rightarrow B_3 \rightarrow C_2 \rightarrow D)$ .

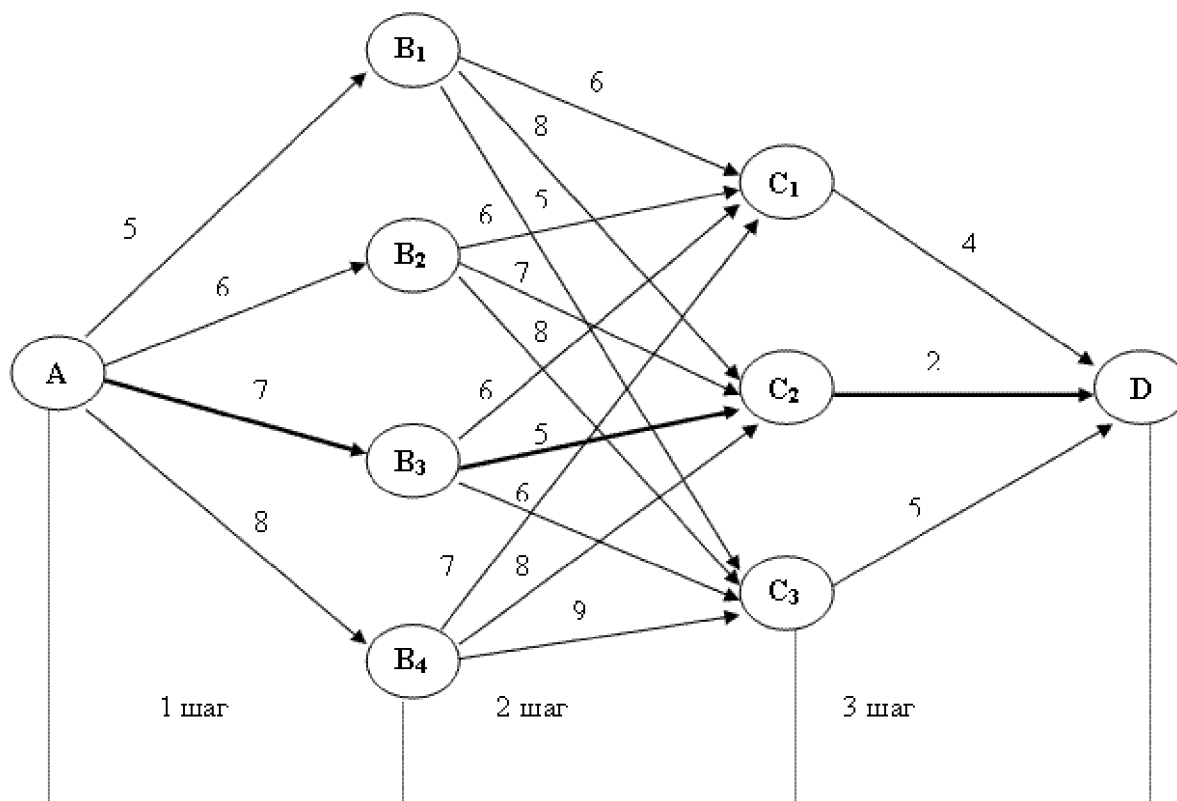


Рисунок 4 – Транспортная сеть задачи

#### 4. Модели сетевого планирования

Сетевое планирование, будучи использованным в целях оптимизации при составлении календарных планов больших комплексов работ, позволяет минимизировать не только стоимость, но и сроки выполнения этих работ, в том числе механизированных работ, связанных с использованием двигателей внутреннего сгорания.

Это обстоятельство позволяет сделать вывод о необходимости использования, в частности при составлении календарных планов по периодам работ (посев, сенокошение, уборка урожая и так далее). Рассмотрим, например, календарный план работ на севе яровых (таблица 2).

Для построения соответствующего сетевого графика введем нумерацию событий: 1 - исходные события; 2- завершение вывозки удобрений; 3 - завершение разбрасывания удобрений; 4 - заделка всех удобрений; 5 -

подвоз всех семян; 6 - завершение сева; 7 - окончание прикатывания, завершающее событие.

Таблица 2 - Календарный план работ на севе яровых зерновых культур

Виды работ	Сроки выполнения работ	Продолжительность, дней
Вывоз удобрений	16 - 21.04	6
Разбрасывание удобрений	17 - 22.04	6
Заделка удобрений	19 - 25.04	7
Подвоз семян	26 - 27.04	2
Сев	26 - 28.04	3
Прикатывание посевов	29 - 30.04	2

Далее введем обозначение работ: (1-2) - вывоз удобрений,  $t(1,2) = 6$  дней. (2-3) - разбрасывание удобрений,  $t(2,3) = 6$  дней. (3-4) - заделка удобрений,  $t(3,4) = 7$  дней. (4-5) - подвоз семян,  $t(4,5) = 2$  дня. (5-6) - сев,  $t(5,6) = 3$  дня. (6-7) - прикатывание посевов,  $t(6,7) = 2$  дня.

Поскольку существуют работы, каждая из которых может начинаться до полного завершения предыдущей работы, то вводятся так называемые фиктивные события и фиктивные работы, изображаемые на графике пунктирной стрелкой.

Фиктивные события:

$1^a$  - начало работы по разбрасыванию удобрений до завершения их вывоза;  $3^a$  - начало заделки удобрений до полного их разбрасывания.

Фиктивные работы (с нулевой продолжительностью, их можно начинать до окончания предыдущих работ): (2-3) - разбрасывание удобрений; (3-4) - заделка удобрений; (5-6) - сев. На рисунке 5 показан соответствующий сетевой график сева яровых зерновых культур



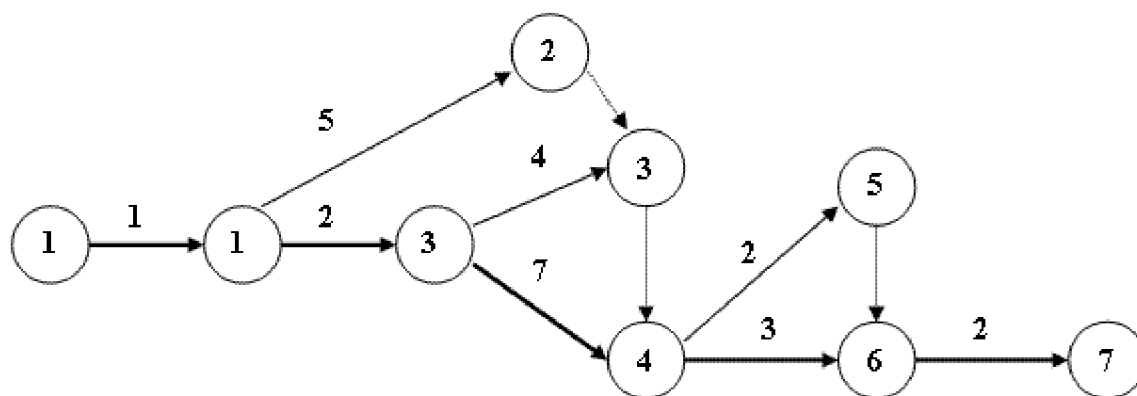


Рисунок 5 - Сетевой график сева яровых зерновых культур

Имеем теперь:

$T(1 - 1^a - 2) = 6$  дней - вывоз удобрений;  $T(1^a - 3^a - 3) = 6$  дней - разбрасывание удобрений;  $T(3^a - 3 - 4) = 4$  дня - заделка удобрений с фиктивной (3-4) работой;  $T(3^a - 4) = 7$  дней заделка удобрений;  $T(4,6) = 7$  сев яровых (можно приступить от 4 сразу к 6);  $T(4 - 5 - 6) = 2 + 0 = 2$  дня - сев яровых с фиктивной работой (5,6);  $T(6,7) = 2$  дня - прикатывание посевов.

Жирными стрелками отмечен критический (имеющий наибольшую продолжительность путь). Все остальные пути (некритические) обычно имеют резерв времени. Внимательный анализ сетевого графика позволяет значительно сократить время критического пути за счет перераспределения ресурсов.

### 5. Графовые модели

Отдельные исследования по экономике природопользования удобно проводить на базе моделирования с помощью ориентированных графов. В качестве вершин используются показатели, а дуги указывают влияние изменения одного показателя на изменение другого показателя.

Графовые модели имеют важную особенность: они обеспечивают моделирование обратной связи - неотъемлемого элемента любой сложной эколого-экономической системы. С помощью орграфов удастся объединить в модели системы различные социальные, экономические и экологи-

ческие показатели, оценить тенденцию развития системы, найти оптимальные варианты воздействия на систему.

Для прогнозирования социо-эколого-экономических систем используются взвешенные ориентированные графы с временными задержками. В этом случае каждой дуге графа ставится в соответствии не только весовой коэффициент (или знак), определяющий влияние одного показателя на другой, но и задержку реализации другого. Если эта задержка равна нулю, то изменение показателя будет произведено мгновенно, если же указан определенный интервал времени, то изменение показателя будет произведено только по прошествии указанного интервала времени.

В результате моделирования на основе данного взвешенного графа можно получить тенденцию изменения показателей в привязке к оси времени, построив соответствующий график. Обычно при построении взвешенного ориентированного графа используется метод экспертных оценок, поскольку статистические данные, всесторонне характеризующие социо-эколого-экономическую систему, отсутствуют.

## **6. Многофакторные регрессионные эконометрические модели**

Построение многофакторных регрессионных эконометрических моделей позволяет дать количественное описание основных закономерностей изучаемых явлений, выделить существенные факторы, обуславливающие изменение эконометрических показателей и оценить их влияние.

Многофакторные регрессионные эконометрические модели можно использовать в прогнозировании состояния окружающей среды и управлении природоохранной деятельностью. Допустим, сто величина исследуемого показателя  $Y$  (индекс загрязнения атмосферы, например) зависит от двух факторов  $X_1$  (выбросы загрязняющих веществ автотранспортом в тыс. тонн в год) и  $X_2$  (выбросы загрязняющих веществ стационарными источниками крупных предприятий тыс. тонн в год), располагая данными, например, за пять лет, построим корреляционную модель, характеризую-

щую зависимость  $Y$  от указанных факторов  $X_1, X_2$  для каждого периода времени.

Предположим, что зависимость может быть представлена линейной функцией, тогда модель будет иметь вид:

Для периода

$$\begin{aligned} t = 1, Y_1 &= a_{01} + a_{11} \cdot X_1 + a_{21} \cdot X_2 \\ t = 2, Y_2 &= a_{02} + a_{12} \cdot X_1 + a_{22} \cdot X_2 \\ t = 3, Y_3 &= a_{03} + a_{13} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_2 \\ t = 4, Y_4 &= a_{04} + a_{14} \cdot X_1 + a_{24} \cdot X_2 \\ t = 5, Y_5 &= a_{05} + a_{15} \cdot X_1 + a_{25} \cdot X_2 \end{aligned}$$

Для всех периодов получим систему из трех уравнений, и для каждого из факторов будет пять коэффициентов регрессии, то есть будет иметь временные ряды для каждого из коэффициентов регрессии.

$$\begin{aligned} a_{01} \ a_{02} \ a_{03} \ a_{04} \ a_{05} \\ a_{11} \ a_{12} \ a_{13} \ a_{14} \ a_{15} \\ a_{21} \ a_{22} \ a_{23} \ a_{24} \ a_{25} \end{aligned}$$

Рассматривая каждый из таких временных рядов, можно представить  $a_m$  ( $m = 0, 1, 2$ ) как функцию времени и используя аналитическое выражение, построить прогнозы коэффициентов регрессии на период времени  $t$ , то есть определить значения величины  $a_{0t}, a_{1t}, a_{2t}$ . Тогда величина признака  $Y$  на период  $t$  может быть представлена в виде:

$$Y_t = a_{0t} + a_{1t} \cdot X_1 + a_{2t} \cdot X_2$$

Значение факторов  $X_1, X_2$  необходимо определить также на момент времени  $t$ , для чего можно использовать контрольные цифры и экстраполяцию линии тренда. Данную модель можно использовать как базовую при прогнозировании состояния окружающей среды. Для анализа и эмуляции рассмотренных экономико-математических моделей в настоящее время помимо классических методов компьютерного моделирования все чаще используются методы искусственного интеллекта.

В заключении отметим, что рассмотренные в статье экономико-математические методы планирования природопользования, на наш взгляд, позволяют повысить эффективность управления природоохранной деятельностью в региональном АПК.

Список литературы:

1. Беликова И.П., Сахнюк Т.И. Исследование проблем инновационного развития экономики России. Научно-исследовательский журнал «Вестник» №3(28). – Ставрополь: изд-во ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет», 2011. – С. 219-224.
2. Левушкина С.В. Пути совершенствования бюджетной и налоговой системы на муниципальном уровне/С.В. Левушкина//Ученые записки Российского государственного социального университета: Москва. – 2010. – №6 (69). С.
3. Макоха А.Н., Сахнюк П.А., Червяков Н.И. Дискретная математика: Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2005. – 368 с.