

меньшую площадь затопления, длину плотины, расположен в зоне с низкой относительно других створов сейсмичностью. Но по таким критериям, как «гарантированная выработка электроэнергии», «воздействие на ихтиофауну» створ имеет худшие оценки. В результате створ имеет самую низкую многокритериальную оценку.

Таким образом, предложены три возможных пункта строительства ГЭС на реке Индигирка. Проведены водноэнергетические расчеты, которые позволили оценить гарантированную выработку электроэнергии, гарантированную среднесуточную мощность ГЭС при различных отметках НПУ. Для проблемы выбора створа ГЭС на реке Индигирке предложена иерархия целей и критериев. С помощью метода МАИ проведена многокритериальная оценка створов.

Предложенный многокритериальный подход к выбору створов ГЭС может проводиться на ранних этапах инженерных изысканий, когда известны лишь ориентировочные данные в отношении сооружаемой ГЭС. Особенностью подхода является возможность избежать точной оценки альтернатив по критериям, ограничившись лишь выражением превосходства альтернатив по отношению друг к другу. Эта возможность особенно важна в условиях, когда по целому ряду критериев оценка может быть дана в виде набора характеристик, графиков зависимости, словесного описания.

Литература

1. Чистяков Г.Е. Водные ресурсы рек Якутии. М.: Наука, 1964. 255 с.
2. КLIBашев К.П. Гидрологические расчеты / К.П. КLIBашев, И.Ф. Горошков / Л: Гидрометеоздат. 1970. 460 С.

3. Ибад-Заде Ю.А., Азимов С.А., Алескеров В.Г. и др. Динамика наносов в реках и водохранилищах. - М.: Стройиздат, 1978. 244 с.
4. В. П. Корпачев, А. И. Пережилин, А. А. Андрияс, Ю. И. Рябokonь. Загрязнение и засорение водохранилищ ГЭС древесно-кустарниковой растительностью, органическими веществами и влияние их на качество воды. Рос. акад. естествознания, Сиб. гос. технол. ун-т. -М. : Акад. естествознания, 2010. 126 с.
5. СанПиН 3907-85 Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ.
6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Т.Л. Саати; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 316 с.
7. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах.

References

1. Chistyakov G.E. Yakutia water resources // Vodnye resursy rek Yakutii. M.: Nauka, 1964. 255 p.
2. Klibashev K.P. Hydrology // Gidrologicheskie rascheti / K.P. Klibashev, I.F. Goroshkov / L: Gidrometeoizdat. 1970. 460 p.
3. Ibad-Zade Yu.A., Azimov S.A., Aleskerov V.G. and other. Rivers and water reservoirs detritus dynamics // Dinamika nanosov v rekah i vodohranilischah. M.: Stroiizdat, 1978. 244 p.
4. V. P. Korpachev, A. I. Perejilin, A. A. Andriyas, Yu. I. Ryabokon'. Clogging of hydro power plant water reservoirs by hardy-shrub vegetation, organic substances, impact on water quality // Zagryaznenie i zasorenie vodohranilisch GES drevesno-kustarnikovoii rastitel'nost'yu, organicheskimi vesche-stvami i vliyaniye ih na kachestvo vody. Ros. akad. estestvo-znaniya, Sib. gos. tehnol. un-t. - M. : Akad. estestvoznaniya, 2010. 126 p.
5. SanPiN 3907-85 Sanitary design, building and operating regulations // Sanitarnye pravila proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii vodohranilisch.
6. Saati T.L. Decision Making. Analysis hierarchy process // Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarhii/ T.L. Saati; per. s ang. M.: Radio i svyaz', 1993. 316 p.
7. SP 14.13330.2011. Building in seismic areas // Stroitel'stvo v seismicheskikh raionah.

УДК

Математическая модель лесного массива в стационарном режиме

Ю.Н. Алпатов¹, Д.В. Ащеулова¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия. E-mail: asheylova1984@mail.ru
Статья поступила 20.04.2012, принята 27.09.2012

Настоящая статья посвящена методике получения математической модели лесного объекта в условиях антропогенного воздействия, нахождения оптимальных параметров качества прироста лесного массива. Проведенная в работе идентификация многосвязного объекта на примере исследования лесного массива позволила проанализировать основные факторы функционирования объекта, построить топологическую модель лесного массива. Построение топологической модели объекта на основе структурного графа позволяет выбрать количество неизвестных компонент в системе и определить состояние переменных структуры системы. В процессе моделирования получено однородное матричное уравнение модели, которое полностью отражает функциональную зависимость компонент в структуре и позволяет представить процесс получения уравнения системы из отдельных этапов структурного графа. Этапы построения данной модели представлены в виде последовательных алгоритмов: - структурная схема – таблица взаимодействия параметров – с-граф объекта исследования - матричная модель системы – уравнение системы.

Ключевые слова: многосвязный объект, структурная схема, структурный граф, уравнение системы, матричное уравнение, относительная погрешность, симплекс-метод.

Mathematical model of forest area in the stationary mode

Yu.N.Alpatov¹, D.V.Ashcheulova¹

1Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, Russia. E-mail: asheylova1984@mail.ru
The article received 20.04.2012, accepted 27.09.2012

The article is devoted to the technique of obtaining the forest object mathematical model under the conditions of anthropogenous impact, finding out the optimal parameters of forest area growth quality. The multicoherent object identification carried out in the paper in terms of the forest area research allowed analyzing the major factors of object functioning and constructing a forest area topological model. The construction of the object topological model based on a structural graph allows choosing the number of unknown components within the system and defining the condition of the system structure variables. In the process of modeling, the homogeneous matrix equation of the model that completely reflects the components functional dependence in the structure has been obtained. It allows presenting the process of obtaining the system equation based on the structural graph separate stages. The stages of this model construction are presented in the form of sequential algorithms: - block diagram –table of parameters interaction - research object c-graph - system matrix model –system equation.

Key words: multicoherent object, block diagram, structural graph, system equation, matrix equation, relative error, simplex-method

Качественная оценка лесных экосистем основана на контроле и учете реакций древесной растительности на воздействие экологических факторов. Прогноз реакций древесной растительности зависит от характера, продолжительности и интенсивности воздействия антропогенных факторов окружающей среды [1].

Развитие исследований в направлении изучения состояния лесных экосистем связано с применением математического моделирования в исследовании влияния антропогенных нагрузок на лесные сообщества. Целью подобного моделирования является прогноз состояния лесных экосистем и характеристика влияния окружающей среды на лесной фонд [2].

В течение длительного времени проводились полевые исследования в районе города Братска осуществлялся сбор экспериментальных данных, характеризующих состояние лесов в различных техногенных зонах [3, 4].

На основании экспериментальных и литературных данных были выделены факторы, оказывающие влияния на состояние лесных экосистем:

A – возрастная группа (молодняки, средневозрастные, приспевающие);

D – средний диаметр деревьев;

L – расстояние до источника загрязнения;

H – средняя высота деревьев;

pH – кислотность среды;

dH – прирост

G – источник загрязнения;

CP – химический состав хвои;

$G_{\text{почв}}$ – загрязненность почвы;

$G_{\text{вод}}$ – загрязненность воды;

$G_{\text{воз}}$ – загрязненность воздуха;

GC – балл категории состояния.

Для оценки качества лесного массива предлагается использовать балл категории состояния леса (GC), который отражает средний диаметр деревьев (D), среднюю высоту деревьев (H), средний возраст деревьев (A), количество накопленных деревьями химических элементов антропогенного происхождения (CP).

Схема влияния биогенных факторов на лес приведена на рис. 1

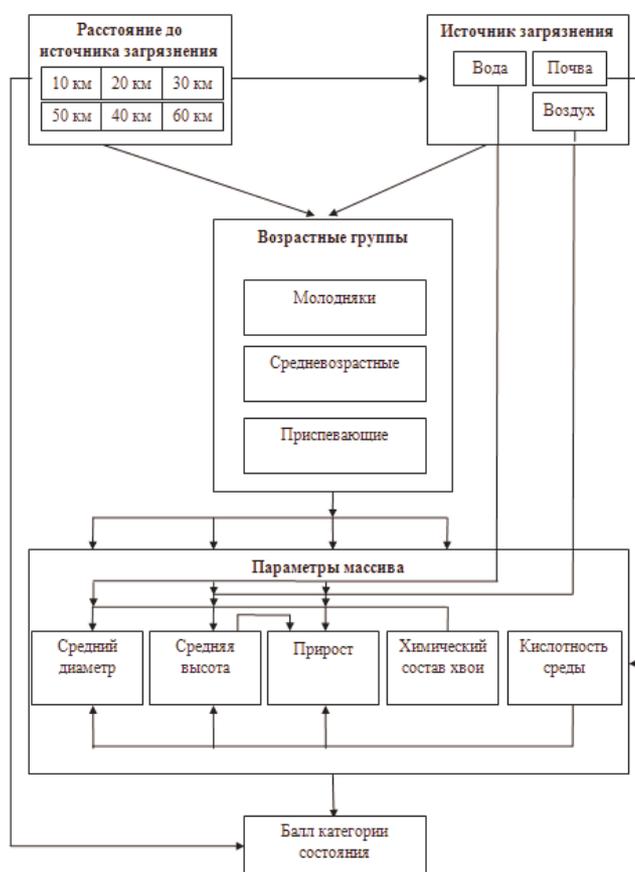


Рис.1. Схема влияния биогенных факторов на лесной массив

Взаимозависимость данных параметров отражена в таблице 1.

На основании таблицы взаимодействия параметров строится C -граф. C -граф позволяет в наиболее полной форме отразить структурную связь элементов системы, представить зависимость выходных параметров от входных [5].

C – граф строится на основе таблицы взаимодействия параметров по следующим правилам [6]:

Таблица 1
Таблица взаимодействия параметров

	G	L	A	CP	dH	H	D	G _{возд}	G _{вод}	G _{почв}	pH	GC
G		+	+					+	+	+		
L			+					+	+	+		+
A				+	+	+	+					
CP					+	+	+					+
dH												+
H					+							+
D												+
G _{возд}					+	+						
G _{вод}					+	+	+					
G _{почв}				+	+	+	+				+	
pH					+	+	+					+
GC												

- каждой связи таблицы взаимодействия ставится в соответствие оператор преобразования (W_i);
- параметрам таблицы взаимодействия, имеющим более одной входящей связи и одну исходящую связь, соответствуют узлы 1 – го рода;
- параметрам таблицы взаимодействия, имеющим более одной выходящей связи и одну входящую связь, соответствуют узлы 2 –го рода;
- параметрам таблицы взаимодействия, имеющим более одной выходящей и более одной исходящей связи, соответствуют узел 1 –го рода, узел 3 –го рода и узел 2 –го рода, соединенные последовательно.

На следующем этапе C – граф записывается в матричной форме. Матричное представление любой модели позволяет в рациональной форме получить запись и использовать машинные методы решения задачи. В матричном виде система уравнений «компонент графа» имеет запись:

$$X = B \cdot X_{вх} \tag{1}$$

где X – матрица – столбец сигналов графа; B – матрица операторов системы; $X_{вх}$ – матрица – столбец входных сигналов графа. Матрица B инвариантна относительно перестановки строк – в этом случае необходимо обеспечить соответствующую перестановку строк вектора X , а также перестановки столбцов – переупорядочиваются строки вектора $X_{вх}$. В матричном виде уравнение структуры графа записывается следующим образом:

$$A \cdot X = 0 \tag{2}$$

где A – матрица структуры графа;
 X – матрица – столбец сигналов графа.

Подставляя в (2) из (1) значение X , получаем матричное уравнение C - графа:

$$A \cdot B \cdot X_{вх} = 0 \tag{3}$$

или

$$H \cdot X_{вх} = 0 \tag{4}$$

В матричном уравнении (4) матрица H инвариантна относительно перестановки строк – в этом случае произойдет только изменение последовательности записи уравнений в однородной системе. Это свойство используется в дальнейшем при преобразовании матричного уравнения. В строках матрицы H , соответствующих узлам ветвления, происходит тождественное преобразование сигнала:

$$x_i = x_j$$

Такие переопределения приводят к большой размерности матрицы H и вектора $X_{вх}$, включающего идентичные сигналы. Чтобы упростить дальнейшие вычисления, необходимо понизить размерность матрицы H . Для этого необходимо матрицу H разбить на четыре блочных подматрицы:

$$\begin{bmatrix} H_1 & H_2 \\ H_3 & H_4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = 0 \tag{5}$$

Действия над блочными подматрицами производятся по тем же формальным правилам, как в случае, когда блоки рассматриваются как обычные элементы матрицы. Но поскольку блочные матрицы сохраняют свойства матриц, при выполнении операций над ними сохраняются правила матриц (в частности, для умножения – не коммутативность) [1].

Формулы умножения матриц показывают, что можно считать матрицы $H_1, H_2, H_3, H_4, X_1, X_2$ составными элементами и записать систему (5) в вид

$$\begin{cases} H_1 * X_1 + H_2 * X_2 = 0 \\ H_3 * X_1 + H_4 * X_2 = 0 \end{cases} \tag{6}$$

Исключив из системы (6) X_2 , получим:

$$[H_3 - H_4 * H_2^{-1} * H_1] * [X_1] = 0 \tag{7}$$

или

$$[H'] * [X_1] = 0$$

где H_2^{-1} – матрица, обратная H_2 ;

$H' = H_3 - H_4 \cdot H_2^{-1} \cdot H_1$ – преобразованная матрица H .

Условием решения уравнения (7) будет:

$$\det H' \neq 0 \tag{8}$$

Следовательно, понижать порядок матрицы возможно до соблюдения условия (8). Для выполнения данного условия и облегчения вычисления обратной матрицы предлагается перед разбиением матрицы H произвести перестановку строк и столбцов таким образом, чтобы подматрица H_2 состояла только из -1 , расположенных по диагонали, начиная с верхнего правого угла матрицы H . Перестановку предлагается делать следующим образом:

в исходном уравнении выделяются строки, состоящие из двух элементов: 1 и -1 (такие строки получают при описании узлов 2 – го рода тогда, когда входной для всего графа сигнал входит в описываемый узел).

Далее определяем, какие столбцы в отобранных строках содержат -1 . Последовательно переставляем столбцы в правую часть матрицы, переставляя при этом соответствующие строки в матрице X – первый отобранный столбец на последнее место, второй отобранный столбец – на предпоследнее и т. д. В каждом переставляемом столбце строку, содержащую -1 , переставляем так, чтобы -1 располагалась по диагонали, начиная с верхнего правого угла матрицы H . Произведя перестановку строк и столбцов матрицы H (и соответственно строк матрицы X), выделяем диагональную квадратную матрицу H_2 с элементами $\{0, -1\}$. Столбцам матрицы H_2 , сформированной данным способом, соответствуют сигналы матрицы X , исходящие из узлов 2-го рода.

Поскольку узел 2-го рода имеет единичный коэффициент передачи, то каждый его исходящий сигнал равен входящему сигналу. Таким образом, возможно исключение из матрицы X сигналов, соответствующих столбцам матрицы H_2 , и соответствующих столбцов из матрицы H . При этом не будет нарушена зависимость между параметрами системы. Определитель данной матрицы H_2 :

$$\text{Det}H_2 = (-1)^{\#} \neq 0$$

Следовательно, выполняется условие (8) и отпадает необходимость в вычислении обратной матрицы H .

Используя полученную при построении C – графа лесного объекта структуру данных можно определить размерность пространства модели.

Для данной модели размерность матрицы B равна 89·53, размерность матрицы A – 89·52, размерность матрицы H – 53·52, размерность матричного уравнения – 22·23

x0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x26	x28	x30	x32	x34	x54	x60	x0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x26
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x28
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x32
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x34
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x54
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x66

Рис.2. Матричное уравнение лесного объекта

По матричному уравнению составлены уравнения системы:

$$X_{15} = X_4 \cdot W_{19} + X_6 \cdot W_{22} + X_{14} \cdot W_{37} + X_{34} \cdot W_{10} + X_{54} \cdot W_{20} + X_{60} \cdot W_{23} \quad (9)$$

- где
 X_4 – A , средний возраст, лет;
 X_6 – CP , химический состав хвои;
 X_{14} – D , средний диаметр деревьев, см;
 X_{15} – GC , балл категории состояния;
 X_{34} – L , расстояние до источника загрязнения;
 X_{54} – dH , прирост;
 X_{60} – H , средняя высота деревьев, м,

$$X_{54} = X_2 \cdot W_{12} + X_4 \cdot W_{15} + X_6 \cdot W_{21} + X_8 \cdot W_{24} + X_{10} \cdot W_{26} + X_{12} \cdot W_{30} + X_{14} \cdot W_{34} \quad (10)$$

Подставив (10) в (9), получим

$$X_{15} = X_4 \cdot W_{19} + X_6 \cdot W_{22} + X_{14} \cdot W_{37} + X_{34} \cdot W_{10} + (X_2 \cdot W_{12} + X_4 \cdot W_{15} + X_6 \cdot W_{21} + X_8 \cdot W_{24} + X_{10} \cdot W_{26} + X_{12} \cdot W_{30} + X_{14} \cdot W_{34} \cdot W_{20} + X_{60} \cdot W_{23}) \quad (11)$$

Отсюда, уравнение системы может быть представлено в следующем виде:

$$X_{15} = X_2 \cdot W_{12} \cdot W_{20} + X_{14}(W_{19} + W_{15} \cdot W_{20}) + X_6(W_{22} + W_{21} \cdot W_{20}) + X_8 \cdot W_{24} \cdot W_{20} + X_{10} \cdot W_{26} \cdot W_{20} + X_{12} \cdot W_{30} \cdot W_{20} + X_{14}(W_{37} + W_{34} \cdot W_{20}) + X_{34} \cdot W_{10} + X_{60} \cdot W_{23} \quad (12)$$

Так как процесс прироста леса является медленно протекающим, его можно рассматривать в стационарном режиме. Следовательно, проведя замену операторов на коэффициенты, получим:

$$\begin{aligned} W_{12} \cdot W_{20} &= a_2 \\ W_{19} + W_{15} \cdot W_{20} &= a_4 \\ W_{22} + W_{21} \cdot W_{20} &= a_6 \\ W_{24} \cdot W_{20} &= a_8 \\ W_{26} \cdot W_{20} &= a_{10} \\ W_{26} \cdot W_{20} &= a_{10} \\ W_{30} \cdot W_{20} &= a_{12} \\ W_{37} + W_{34} \cdot W_{20} &= a_{14} \\ W_{10} &= a_{34} \\ W_{23} &= a_{60} \end{aligned} \quad (13)$$

Подставим коэффициенты в уравнение:

$$X_{15} = a_2 \cdot X_2 + a_4 \cdot X_4 + a_6 \cdot X_6 + a_8 \cdot X_8 + a_{10} \cdot X_{10} + a_{12} \cdot X_{12} + a_{14} \cdot X_{14} + a_{34} \cdot X_{34} + a_{60} \cdot X_{60} \quad (14)$$

как
 $a_8 \cdot X_8 = a_{10} \cdot X_{10} = a_{12} \cdot X_{12} = a_{14} \cdot X_{14} = a_{34} \cdot X_{34}$

Получим:

$$X_{15} = a_2 \cdot X_2 + a_4 \cdot X_4 + a_6 \cdot X_6 + a_{34} \cdot X_{34} + a_{60} \cdot X_{60} \quad (15)$$

- где
 X_4 – A , средний возраст, лет;
 X_6 – CP , химический состав хвои;
 X_{14} – D , средний диаметр деревьев, см;
 X_{15} – GC , балл категории состояния;
 X_{34} – L , расстояние до источника загрязнения;
 X_{60} – H , средняя высота деревьев, м,

Уравнение (15) можно представить как уравнение регрессии:

$$Y = \sum_{i=0}^5 b_i \cdot x_i, \quad (16)$$

- где,
 $y = X_{15}$, b_i – векторы коэффициентов,
 x_i – вектор параметров.

Для нахождения коэффициентов уравнения (14) b_i был использован метод наименьших квадратов с использованием матричного подхода.

Для данной модели необходимо найти коэффициенты в уравнениях:

$$X_{15} = b_0 \cdot X_0 + b_2 \cdot X_2 + b_4 \cdot X_4 + b_6 \cdot X_6 + b_{34} \cdot X_{34} + b_{60} \cdot X_{60} \quad (17)$$

$$B = [X' \cdot X] - 1 \cdot X \cdot Y \quad (18)$$

где $x_0=1$

Найдем коэффициенты регрессии в соответствии с уравнением (16), используя следующие статистические данные.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$X_{15} = 13,4325 - 0,0608 \cdot X_4 - 0,0505 \cdot X_6 + 0,0787 \cdot X_{14} - 0,0039 \cdot X_{34} - 0,5029 \cdot X_{60} \quad (19)$$

Данные строки 6 не использовались при нахождении коэффициентов регрессии и служат для проверки результатов.

Находим относительную погрешность:

$$1,2 = 13,4325 - 0,0608 \cdot 72 - 0,0505 \cdot 1,26 + 0,787 \cdot 30 - 0,0039 \cdot 60 - 0,5029 \cdot 19,7$$

$$\frac{1,2 - 1,21}{1,2} \cdot 100\% = 0,8\%$$

Для нахождения оптимальных параметров качества прироста лесного массива был использован симплекс – метод.

Задача оптимизации процесса прироста леса: найти максимальное значение целевой функции. Максимальная жизнестойкость деревьев характеризуется баллом категории состояния, равным 1.

Целевая функция имеет вид:

$$X_{15} = 13,4325 - 0,0608 \cdot X_4 - 0,0505 \cdot X_6 + 0,0787 \cdot X_{14} - 0,0039 \cdot X_{34} - 0,5029 \cdot X_{60} \rightarrow \max \quad (20)$$

Введем ограничения на параметры системы:

$$\left. \begin{aligned} 1 &\leq X_{15} \leq 5 \\ 55 &\leq X_4 \leq 74 \\ 1,26 &\leq X_6 \leq 28,68 \\ 20,3 &\leq X_{14} \leq 30 \\ 10 &\leq X_{34} \leq 60 \\ 14,7 &\leq X_{60} \leq 19,7 \end{aligned} \right\}$$

В результате решения уравнения (20) относительно ограничений получим:

$$X_{15} = 13,4325 - 0,0608 \cdot X_4 - 0,0505 \cdot X_6 + 0,0787 \cdot X_{14} - 0,0039 \cdot X_{34} - 0,5029 \cdot X_{60} \rightarrow \max,$$

Тогда

$$X_{15} = 13,4325 - 0,0608 \cdot X_4 - 0,0505 \cdot X_6 + 0,0787 \cdot X_{14} - 0,0039 \cdot X_{34} - 0,5029 \cdot X_{60} = 1.$$

В результате получим:

$X_4 - A$, средний возраст равен 55лет;

$X_6 - CP$, химический состав хвои равен 6,5;

$X_{14} - D$, средний диаметр деревьев равен 21,04 см;

$X_{15} - GC$, балл категории состояния равен 1;

$X_{34} - L$, расстояние до источника загрязнения равно 40;

$X_{60} - H$, средняя высота деревьев равна 12 м.

Таблица 2

Средние таксационные показатели

№ пробы	Балл категории состояния	X_0	Средний возраст, лет	Химический состав хвои	Средний диаметр деревьев, см	Расстояние до источника загрязнения, км	Средняя высота деревьев, м
	GC		X_4	X_6	X_{14}	X_{34}	X_{60}
			A	CP	D	L	H
1	2,8	1	55	28,68	20,3	10	14,7
2	1,9	1	65	3,93	22,3	20	18
3	1,7	1	72	3,09	24,5	30	17,9
4	1,6	1	74	1,56	24,3	40	17,9
5	1,5	1	70	1,38	28	50	19,1
6	1,2	1	72	1,26	30	60	19,7
		$B_0=13,4325$	$B_4=-0,0608$	$B_6=-0,0505$	$B_{14}=0,0787$	$B_{34}=-0,0039$	$B_{60}=-0,5029$

Данные результаты можно интерпретировать следующим образом: балл категории состояния наиболее чувствителен к изменению расстояния от источника загрязнения и количеству загрязнения, выраженному в химическом составе хвои.

Литература

1. Рунова Е.М. Влияние техногенного загрязнения на леса Приангарья. Братск: БрИИ, 1999. 107с.
2. Рунова Е.М., Угрюмов Б.И., Нежевец Г.П. Особенности деградации лесов в районе Братска // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов. Центральной и Восточной Европы: тез. докл. междунар. науч. конф. М., 1996. Т.1. С. 39 – 41.
3. Рунова Е.М., Угрюмов Б.И. Организация регионального лесопользования в зонах промвыбросов // Экологически чистые технологические процессы в решении проблем охраны окружающей среды: тез. докл. междунар. конф. Иркутск, 1996. Т.2,Ч.1. С. 43-44
4. Рунова Е.М., Угрюмов Б.И., Чжан С.А. Влияние выбросов промышленных предприятий Братск на лесные экосистемы //Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды: тез. докл. междунар. конф. Том. гос. ун-т, 1995. Т.45. С.170.
5. Алпатов Ю.Н. Синтез систем управления методом структурных графов. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988. 184 с.

References

1. Runova E.M. Influence of anthropogenic pollution on the Priangarie woods. Bratsk: BrII, 1999. 107 s.
2. Runova E.M., Ugryumov B.I., Nezhevets G. P. Features of woods degradation in Bratsk area // Vliyanie atmosferniog zagryazneniya i drugikh antropogennykh i prirodnykh faktorov na destabilizatsiyu sostoyaniya lesov Tsentral'noy i Vostochnoy Evropy: tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. M, 1996. T.1. S. 39-41.
3. Runova E.M., Ugryumov B.I. The organization of a regional use of forests in industrial emissions zones // Ekologicheski chistye tekhnologicheskiye protsessy v reshenii problem okhrany okruzhayushchey sredy: tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. Irkutsk, 1996. T.2. S. 43-44.
4. Runova E.M., Ugryumov B.I., Chang S. A. Effect of Bratsk industrial enterprises emissions on forest ecosystems / Fundamental'nye i prikladnye problem okhrany okruzhayushchey sredy: tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. Tomsk gos. un-t, 1995. T.45. 107 s.
5. Alpatov Yu.N. Control systems synthesis by a structural graph method. Irkutsk: Izd-vo Irkut. un-ta, 1988. 184 s.