

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.А.Касьяненко<sup>1</sup>, М.Д.Скубилин<sup>2</sup>, Н.К.Острова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,  
Подольское шоссе, 8/5, 113093, Москва, Россия

<sup>2</sup>Таганрогский государственный радиотехнический университет,  
ул. Энгельса, 1, 347000, Таганрог, Россия

Рассматриваются возможности синтеза экспертной системы, предназначенной для оценки результатов экологического мониторинга окружающей среды при наблюдении за многими параметрами в условиях нечеткой исходной информации. Разработаны аппаратное и программное обеспечение обработки нечеткой исходной информации и синтеза альтернативных вариантов решений в порядке убывания или возрастания значимости последних.

Ожидаемым результатом экологического мониторинга окружающей среды является заключение о ее состоянии. Состояние окружающей среды оценивается по совокупности критериев, включая опасные для организма человека и природы ингредиенты, предельно допустимую их концентрацию и т.д., причем эти критерии между собой не всегда однозначны, а сами оценки, по большинству критериев, по объективным или субъективным причинам, часто являются нечеткими, носят не количественное, а качественное выражение.

В условиях нечеткой исходной информации о значительном числе альтернативных вариантов, точек пространства мониторинга,  $A_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ), совокупности критериев  $K_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ), более или менее достоверные выводы, не прибегая к экспертным решениям, сделать представляется затруднительным, поэтому целью работы является синтез экспертной системы, приемлемой для принятия решений по результатам экологического мониторинга в условиях нечеткой исходной информации.

Экспертные системы являются разновидностью систем, позволяющих оптимизировать выбор при большом количестве вариантов, т.е. ранжировать альтернативные варианты с учетом всех существенных критериев их значимости с высокой степенью достоверности. Спектр применения экспертных систем чрезвычайно широк. Они могут использоваться для технической и медицинской диагностики, для принятия решений по результатам экономических и социологических исследований, при выборах в представительные и законодательные органы, для обработки результатов экологического мониторинга и т.д. [1].

Одной из наиболее сложных проблем является задача принятия решений в среде с нечеткой исходной информацией. Существует значительное множество экспертных систем, отличающихся разной степенью автоматизации процессов принятия решений, достоверностью результатов, степенью согласованности, разрешающей способностью и т.д.

Так, еще Ф. Беконем (XVII в.) предложена система в символах теории множеств [2], альтернативные варианты  $A_j$  в которой делят на положительные (имеющие место, существенные)  $A_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, q$  и отрицательные (не имеющие места, несущественные)  $A_j$ ,  $j = (q + 1), \dots, n$ , а решение принимается по выражению (1):

$$\bigcap_{j=1}^q A_j / \bigcup_{j=q+1}^n A_j, \quad (1)$$

т.е. по пересечению за вычетом объединения соответствующих альтернативных вариантов. Выражение (1) обладает достоинствами, состоящими в возможности обрабатывать с помощью ЭВМ неограниченный объем исходной информации, и недостатками, состоящими в низкой разрешающей способности ( $h_1 = 0$ ) и степени согласованности (в низком коэффициенте конкордации)  $W_1$  и как следствие в низкой достоверности результатов  $P$ , т.к. рейтинги  $R_j$  альтернативных вариантов  $A_j$  имеют значения  $R_j = 1$ , и по каждому критерию  $K_i$  делаются оценки в виде кортежей  $\langle A_{j+1}, A_{j-1} = \dots = A_{j+k}, A_{j-k} = A_{j+g} \rangle$  с неразличимой значимостью альтернативных вариантов  $A_j$ , результирующим же является также кортеж с неразличимой значимостью вариантов  $A_j$   $\langle A_{j=k}, A_{j=1} = A_j = \dots = A_{j-g} \rangle$ , где  $h_1 = 0$  и  $W_1 = 0$ .

Более поздним, а быть может и наоборот, вариантом экспертной системы является система, в которой по каждому критерию  $K_i$  допускается отдавать предпочтение единственному альтернативному варианту  $A_j$ , варианту с рангом  $a_{ij} = 1$  [3]. При этом кортежи по  $K_i$  включают единственный  $A_j$ , а остальные варианты признаются отрицательными или с нулевой значимостью. Решение в этой системе принимается по  $R_j$ , численно определяемому из формулы (2):

$$R_j = \sum_{i=1}^m a_{ij}, \quad (2)$$

где  $a_{ij} = [0, 1]$  — ранг варианта  $A_j$  по критерию  $K_i$ , причем  $a_{ij} = 1$  присваивается единственному из всей совокупности  $A_{ij}$ -ых.

Но и эта «экспертная система», по существу, обладает теми же недостатками, хотя при этом  $W_2 > 0$ , а кортеж альтернативных вариантов принимает вид, например:  $\langle A_{j+q}, A_{j+1} = A_j, \dots, A_{j-g} \rangle$ , где  $h_2 = 0$ , т.к.  $A_{j+1} = A_j$ .

Дальнейшим совершенствованием экспертной системы явилась система, в которой кортежи по каждому критерию  $K_i$  включают положительные инстанции, их  $a_{ij} = 1$ , а заключение выносится по выражению (3):

$$R_j = \sum_{i=1}^m a_{ij}, \quad (3)$$

причем  $a_{ij} = 1$  присваивается части  $A_{ij}$  из совокупности представленных на анализ. Эта система также не лишена недостатков, хотя при этом  $W_3 > W_2 > W_1$ , но попрежнему  $h_3 = 0$ .

Более высокую согласованность оценок  $W_3$  и разрешающую способность  $h$  имеет метод, при котором по каждому критерию каждой альтернативе указываются штрафные баллы, кроме того можно каждому варианту назначать штрафные баллы или указывать значения «0», «+», «-», что несущественно улучшает качество экспертизы [4, 5].

Более предпочтительной представляется система, допускающая по каждому критерию  $K_i$  синтез кортежей произвольной конфигурации, т.е. как с несвязанными, так и со связанными рангами  $a_{ij}$ , а также учитывающая значимость, вес,  $p_i$  критерия  $K_i$ , а рейтинги  $R_j$  вариантов  $A_j$  определяются по формуле (4):

$$R_j = \sum_i^m (n+1 - q_i) p_i, \quad (4)$$

где  $n$  — число альтернативных вариантов,  $a_{ij}$  — ранг  $j$ -го альтернативного варианта по  $i$ -му критерию  $K_i$ , а  $p_i$  — вес, значимость, критерия  $K_i$ , здесь значения  $p_i$  могут быть как равными, так и неравными, а заключение принимается исходя из кортежа и только при  $W_4 > 0,5$  ( $0 < W < 1$ ), определяемому из выражения (5):

$$W = \frac{12S}{\left[ m^2(n^3 - n) + m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_j^3 - q_j) \right]^2}, \quad (5)$$

где  $m$  — число критериев (показателей, избирателей и т.д.),  $n$  — число альтернативных вариантов (претендентов),  $q_j$  — число одинаковых рангов в  $i$ -м кортеже (ранжировании),  $S$  — сумма квадратов отклонений значений рейтинга варианта, определяемая по формуле (6):

$$S = \sum_j^n (R_j - R_{j \text{ ср}})^2, \quad (6)$$

здесь  $R_{j \text{ ср}}$  — среднеквадратичное значение рейтинга варианта, определяемое по формуле (7):

$$R_{j \text{ ср}} = \sum_{j=1}^n R_j / n. \quad (7)$$

Коэффициент конкордации  $W$  может принимать значения в интервале от 0 до 1. Это объясняется тем, что полная согласованность оценок и несогласованность не антисимметричны. Если, например, оценка  $A_1$  полностью расходится с оценками  $A_2$  и  $A_3$ , то оценки  $A_2$  и  $A_3$  должны быть полностью согласованы. Возрастание коэффициента конкордации от 0 до 1 указывает на увеличение степени согласованности оценок и достоверности результатов экспертизы. Считается, что имеет место достаточная согласованность оценок, если коэффициент конкордации  $W > 0,5 \dots 0,6$ .

При этом рейтинг  $r_{ij}$  альтернативного варианта  $A_j$  по каждому критерию  $K_i$  определяется по формуле (8):

$$r_{ij} = [(n+1) - a_{ij}] p_i, \quad (8)$$

где  $a_{ij}$  — место (ранг) альтернативного варианта в ранжированном по  $K_i$ -му критерию ряду,  $p_i$  — вес  $K_i$ -го критерия (его численное значение). Теперь кортеж принимает вид (показано в примере ниже), однозначно отражающий значимость альтернативных вариантов  $A_j$ .

Данный метод позволяет получать электронными средствами численные как абсолютные значения  $R_j$ , так и относительные численные значения  $R_j'$ ,  $W > 0,51$  и  $h > 0$ , что позволяет считать результаты, полученные этим мето-

дом, достоверными, т.к. при оценке значимости учитывается вес показателя, что немаловажно.  $R_j'$  — относительное интегральное значение рейтинга — процентный показатель рейтинга, позволяющий более наглядно определить результаты анализа и вклад  $A_j$  в общую картину.

Обработку информации по этому методу допустимо автоматизировать с применением технических средств, для чего разработаны аппаратное и программное обеспечения обработки нечеткой исходной информации и синтеза кортежей альтернативных вариантов в порядке убывания (возрастания) значимости последних.

Аппаратное, схемное, решение экспертной системы [5] представлено на рис. 1, это устройство для ранжирования альтернативных вариантов содержит генератор 1 тактовых импульсов, дешифраторы 2, регистры 3 и 4 памяти, группы 5 и 6 элементов И, триггеры 7, 8, 9 и 34, элементы ИЛИ 10, 11, 12, 22, 23, 24, 25 и 26, формирователи 13 и 14 импульсов, счетчики 15, 16 и 27 импульсов, элементы И 17, 18, 19, 20 и 36, элементы НЕ 21, элементы 28 сравнения, информационный вход 29, вход 30 начальной установки устройства, вход 31 пуска, входы 32 задания исходных значений альтернативных вариантов  $A_j$ , входы 33 задания имен альтернативных вариантов и элемент ИЛИ-НЕ 35. По содержимому счетчиков 15 представляется возможность синтезировать мгновенные (в моменты времени  $t_i$ ), а по содержимому счетчиков 16 — интегральные (конечные за время работы устройства) кортежи альтернативных вариантов  $A_j$ . Разработано программное обеспечение на «Бейсик» и «Турбо-СИ», оно защищено от пиратского копирования, апробировано в реальных условиях для нужд экспертизы экологического мониторинга.

Предлагаемая «Система принятия решений в среде с нечеткой исходной информацией» обеспечивает существенное повышение разрешающей способности, репрезентативности и достоверности результатов анализа (экспертизы) мониторинга.

Описанный метод, реализованный в разработанных электронных аппаратных и программных средствах, позволяет автоматизировать процедуру принятия решений при значительных объемах  $A_j$  и  $K_j$  путем обработки результатов на ЭВМ.

Программа обработки информации на «Турбо-СИ»:

```
#include <stdio.h> unsigned int bfr, n, m, x, y; unsigned int
i, j, rk, nk; unsigned int kkk; unsigned int rang[15][15];
unsigned int k[15]; unsigned int sumk[15]; unsigned int
masn[15]; unsigned int masn[15]; unsigned int g, d, a, h, mm;
unsigned int bfk, bfkk, bfsumk; unsigned int bfn, kl; unsigned
float bfzz, bfw; unsigned float bfrt, bfss; unsigned float
r[15][15]; unsigned float R[15]; unsigned float pR[15];
unsigned float uporR[15]; unsigned float uporR[15]; unsigned
float bfR; unsigned float bfrr; unsigned float S; unsigned
float nonR; unsigned float Rmax; float W=0; float masves[15];
float ves; char bfm[21]; char masline[15][21]; char
masident[15][7]; char par[7]; char iden[7]; char
alternat[15][21]; Out() { /*Вывод рассчитанных данных*/ clrscr();
printf("\n"); for(j=0; j<n; j++) for(a=0; a<21;
+)masline[j][a]=alternat[j][a]; for(d=0; d<n; d++) {Rmax=R[d];
bfn=d; for(j=(d+1); j<n; j++)if(Rmax<R[j]){Rmax=R[j]; bfn=j;}
R[bfn]=R[d]; R[d]=Rmax; masn[d]=bfn; uporR[d]=Rmax; for(h=0;
h<21; h++) {bfm[h]=masline[bfn][h]; masline[bfn][h]=
```

```

=masline[d][h]; masline[d][h]=bfm[h]; }} for(d=0; d<n; d++)
{Rmax=pR[d]; bfn=d; for(j=(d+1); j<n; j++)
if(Rmax<pR[j]){Rmax=pR[j]; bfn=j;} pR[bfn]=pR[d]; pR[d]=Rmax;
pmasn[d]=bfn; uporR[d]=Rmax;} printf("___"); printf("\n");
printf(" |Альтернативные | Глобальное |"); printf("\n");
printf(" |цели | абсолютное | относительное |"); printf("\n");
printf(" |значение рейтинга | значение рейтинга |"); printf("\n");
printf("-----"); printf("\n"); for(j=0; j<n; j++) {printf("
"); printf("%d", j+1); printf("."); printf("%s", masline[j]);
printf("\n"); } for(j=0; j<n; j++) {goto xy(30, 7+j);
printf("%f", uporR[j]); gotoxy(50, 7+j); printf("%f", uporR[j]);
printf("%"); } printf("\n"); printf("-----"); printf("\n");
printf("КОЭФИЦИЕНТ КОНКОРДАЦИИ = "); printf("%f\n", W);
printf("----"); getch(); } main() { clrscr(); printf("\n");
printf("ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО ПОКАЗАТЕЛЕЙ"); scanf("%d", &m); j=0;
for(i=0; i<m; i++) {nvvod: printf("\n"); printf("ВВЕДИТЕ ВЕС");
printf("%d", i+1); printf("ПОКАЗАТЕЛЯ"); scanf("%f", &ves);
if((ves<0)|| (ves>1)) {printf ("ВЕС ВВЕДЕН ОШИБОЧНО!!");
putchar(7); goto nvvod; } masves[i]=ves; printf ("ВВЕДИТЕ
ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ КОД"); printf("%d", i+1);
printf("ПОКАЗАТЕЛЯ"); scanf("%s", &masident[i][j]); } clrscr();
rintf("\n"); printf("ВВЕДИТЕ КОЛИЧЕСТВО АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЦЕЛЕЙ");
scanf("%d", &n); printf("\n"); for(j=0; j<n; j++) {printf("%d",
j+1); printf("АЛЬТЕРНАТИВА:"); scanf("%s", &alternat[j]); }
bfR=0; bfkk=0; bfsumk=0; for(j=0; j<n; j++) {R[j]=0; uporR[j]=0;
pR[j]=0; } for(i=0; i<m; i++) {cic: clrscr(); printf("\n");
printf("ВВЕДИТЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ КОД ПОКАЗАТЕЛЯ"); scanf("%s",
&par); for(j=0; j<7; j++) iden[j]=masident[i][j]; for(j=0; j<7;
j++) if(par[j]!=iden[j]) {putchar(7); goto cic; } clrscr();
printf("\n"); printf("ДЛЯ ПРОСМОТРА РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНОК\n");
printf("ПО ПРЕДЫДУЩИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАЖМИТЕ КНОПКУ 'Esc'");
kl=bioskey(0); if(kl==283) Out(); /*Вывод результата*/
clrscr(); printf("\n"); printf("ВВОД РАНГОВ АЛЬТЕРНАТИВ ПО");
printf("%d", i+1); printf("ПОКАЗАТЕЛЮ"); printf("\n");
printf("\n"); for(j=0; j<n; j++) {printf("%d", j+1); printf("
"); printf("%s", alternat[j]); printf("\n"); } for(j=0;
j<n; j++) {gotoxy(30, 4+j); scanf("%d", &rk); if((rk==0)|| (rk>n))
rang[i][j]=n+1; else rang[i][j]=rk;} redak: printf("\n");
printf("\n"); printf("РЕДАКТИРОВАНИЕ? (y/n)"); kkk=bioskey(0);
printf("\n"); if((kkk==5497)|| (kkk==5465) |
|(kkk==5517)|| (kkk==5549)) {printf("\n"); printf ("ВВЕДИТЕ
НОМЕР АЛЬТЕРНАТИВЫ, РАНГ КОТОРОЙ ПОДЛЕЖИТ РЕДАКТИРОВАНИЮ");
scanf("%d", &nk); x=wherex(); y=wherey(); gotoxy(30, 4+nk-1);
scanf("%d", &rk); rang[i][nk-1]=rk; goto xy(x, y); goto redak;
} bfrt=0; bfss=0; bfzz=0; bfww=0; for(j=0; j<n; j++)
{bfrt=bfrt+1; bfww=masves[i]*bfrt; bfss=bfss+bfrt;
bfzz=bfzz+bfww; } povtor: for(j=0; j<n; j++) r[i][j]=((float)n+1-
rang[i][j]); bfr=0; for(j=0; j<n; j++) bfr= bfr+r[i][j];
if(bfr>bfss) {for(j=0; j<n; j++) rang[i][j]=rang[i][j]+1; goto
povtor;} for(j=0; j<n; j++) {/*Вычисление частного рейтинга каж-
дой альтернативы*/ r[i][j]=(((float)n+1-rang[i][j]))*
masves[i]; R[j]=R[j]+r[i][j]; /*Глобальное абсолютное значение

```

```

рейтинга*/ if(masves[i]==1) R[j]=(R[j]/
/(((float)i+1)*bfss))*100; /*Глобальное*/ /*относительное значе-
ние рейтинга*/ /else pR[j]=(R[j]/bfzz)*100; } bfR=0; for(j=0;
<n;j++) bfR=bfR+R[j]; nonR=bfR/ {(float)n; S=0; for(j=0;
<n;j++) S=S+(R[j]-nonR)*(R[j]-nonR); bfk=1; for(g=0; <(n-1);
g++) for(j=g+1; j<n;j++)if(rang[i][g]==rang[i][j]) brk=bfk+1;
k[i]=bfk; for(j=0; j<n; j++) bfkk=bfkk+k[i]*k[i]*k[i]-k[i];
sumk[i]=bfkk; bfsumk=bfsumk+sumk[i]; mm=i+1;
W=(12*S)/(float)(mm*mm*(n*n*n-n)+mm*bfsumk); Out(); /*Вывод
расчитанных данных*/}

```

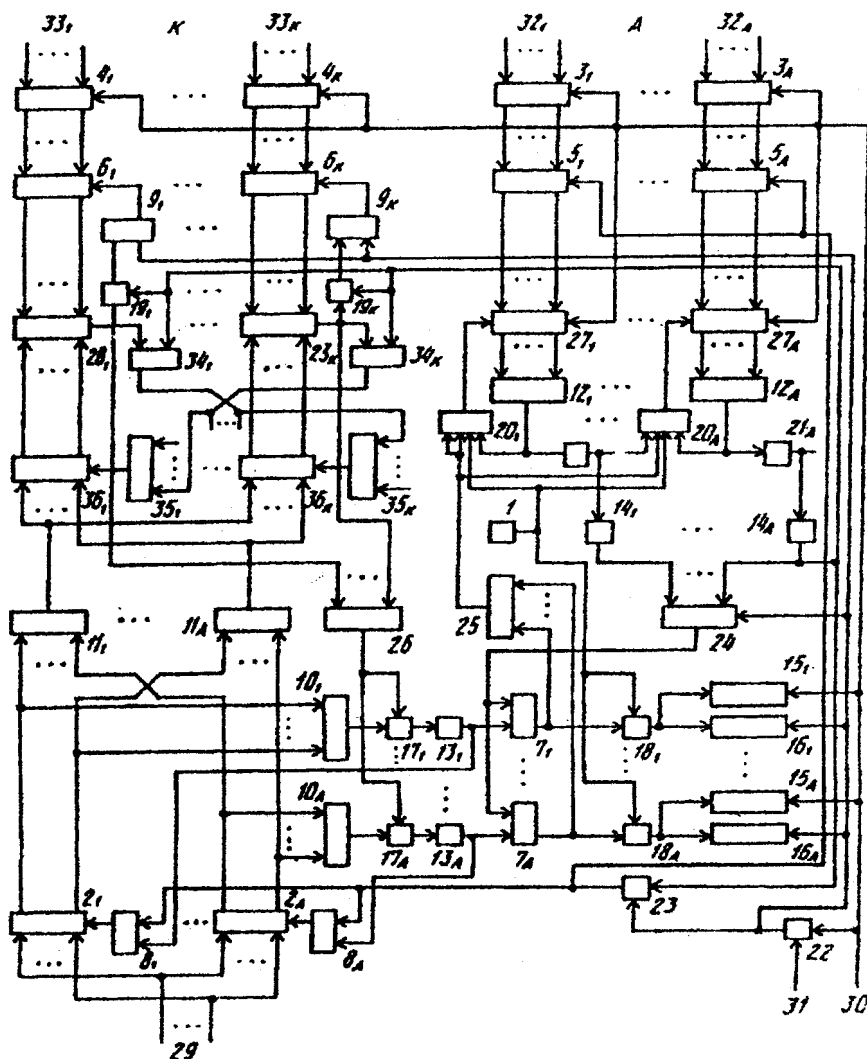


Рис. 1. Аппаратное решение экспертной системы

В частности, на примере мониторинга района г. Геленджик (см. распечатку карты-схемы на рис. 2), по 36 альтернативным точкам (квадратам) и 6 критериям (прозрачность воздуха, присутствие нефтепродуктов, тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов и нитратов в почве, с использованием принципов —

инструментария: аэрозольно-ионизационного — «СИГМА», «БЕЛЛА», фотоколориметрического — «ФЛ-2104», инфракрасного «ГИП-10МБ-3», оптико-акустического — «ГМК-3», термохимического — «ТХ-3651», хемилюминесцентного — «1100В», окислительно-восстановительного галоидного — «1003», кулонометрического — «ГПК-1» и пламенно-фотометрического — «МТ-350Н»), синтезирован кортеж неблагоприятных, в порядке убывания, в экологическом отношении пятен (точек, площадок, квадратов): «В-13, З-13, У-11, Ж-14, Е-6, Д-8, Т-9, И-14, Р-12, П-14 С-13, У-14, Т-12, Д-10, Н-12, Д-5, О-13, Л-11, У-10, В-8, С-11, Ф-13, М-13, З-11, Т-10, Г-7, Д-12, Ф-9, Е-9, Б-11, Г-4, К-12, Е-3, С-8, А-6, В-6», что однозначно соответствует записи вида:  $B_{13\varepsilon} > Z_{13\varepsilon} > U_{11\varepsilon} > \dots > A_{6\varepsilon} > B_{6\varepsilon}$  (т.к.  $R_{B_{13}} > R_{Z_{13}} > R_{U_{11}} > R_{Ж_{14}} > R_{E_{6}} > R_{D_{8}} > \dots > W = 0,64$  и  $h = 0,2\%$ ), позволило оценить экологическую обстановку и локализовать источники загрязнения окружающей среды. В частности в точке (т.) В-13 повышенное содержание нефтепродуктов, как оказалось, вызвано утечкой из прохудившегося нефтехранилища, в т. З-13 задымленность воздуха выхлопными газами автотранспорта обусловлена неудачной компоновкой дорожной развязки на дороге Новороссийск—Сочи, в т. У-11 повышенное содержание свинца в почве обусловлено пребыванием в прошлом участка вторичных металлов и т.д.



Рис. 2. Карта-схема района г. Геленджик

Сказанное позволяет сделать выводы о целесообразности применения предлагаемой электронной системы (способа) синтеза экспертных решений для

нужд охраны окружающей среды, кроме этого предлагаемая методика (способ, система) и ее программная реализация могут найти применение во многих областях науки и техники, промышленности, сельском хозяйстве, социологии и экономике, для анализа различных социальных и экономических проблем, а также при проведении выборов. Ее применение в медицинской, спортивной, селекционной практике и в деле обработки результатов экологического мониторинга обещает получение достоверного материала, приемлемого для прикладных целей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Naylor C.* Build your own expert system. — Chichester, 1987. — P. 153-158.
2. *Михаленко Ю.П. Ф.* Бэкон и его учение. — М.: Наука, 1975. — С. 211-213.
3. *Tomovic R.* Modern sensitivity analysis // IEEE Internat. Convent. Rec. — 1965. — Vol. 13. — №6. — P. 81-86.
4. *Скубилин М.Д. и др.* Программная реализация системы принятия решений в среде с нечеткой исходной информацией // Известия АН Азербайджана. Сер. «Физико-технические и математические науки». — 1995. — №5-6. — С. 119-124.
5. *Скубилин М.Д. и др.* Устройство для анализа альтернативных решений. Патент РФ №2018951, м. кл. G06F 15/36, б. 16, 1994.

### EXPERT SYSTEM FOR AN ESTIMATION OF RESULTS OF ECOLOGICAL MONITORING

**A.A.Kasianenko<sup>1</sup>, M.D.Skubilin<sup>2</sup>, N.K.Ostrova<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Ecological Faculty, Peoples' Friendship Russian University,  
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia*

*<sup>2</sup>Taganrog State Radiotechnical University,  
Engels street, 1, 347000, Taganrog, Russia*

The opportunities of synthesizing of the consulting model intended for an estimation of results of ecological monitoring of an environmental at overseeing in many arguments in condition to the indistinct starting information are surveyed. Hardware and software for treating of the indistinct starting information and synthesizing of alternate variants of the solutions in decreasing or ascending order of their significance are designed.