©Т.В. Гавриленко, сайт http://road-project.okis.ru

Лесной журнал. – 2005.- № 1-2. – С. 33-37. – (Изв. высш. учеб. заведений)

УДК 630*425:630*443

О.В. АДМАЕВ, Т.В. ГАВРИЛЕНКО

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНКОРДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ключевые слова: метод экспертных оценок, устойчивость экологических систем, цепи Маркова, загрязнение окружающей среды.

В научной литературе можно найти достаточно большое количество публикаций, в которых авторы приводят фактические данные о состоянии различных экологических систем, полученные в результате натурных наблюдений за ними. Обычно такая информация представлена в виде многочисленных таблиц с большим набором числовых данных или графиков. Выводы, формулируемые авторами работ, большей частью имеют узкую направленность, т.е. ограничены первоначально поставленными задачами. Часто в подобных выводах приводятся лишь качественные характеристики исследуемых объектов.

Результаты натурных исследований, приводимые в научных статьях, могут быть использованы для решения более широкого круга задач, например, при получении вероятностных оценок степени повреждения экологических систем. В частности, такие оценки актуальны при определении устойчивости системы вблизи автомобильной дороги или производственного предприятия. Модель устойчивости может быть построена, например, на основе теории случайных процессов – цепей Маркова [1].

Одним из способов получения вероятностных характеристик устойчивости экологической системы является метод экспертных оценок,

который позволяет перейти от субъективного восприятия отдельными специалистами исследуемых объектов и явлений к их количественному описанию. Данное описание обобщается по группе специалистов и, соответственно, субъективная составляющая нивелируется.

В методе экспертных оценок обычно проводится анкетный опрос специалистов отрасли, в котором они должны оценить ряд предложенных факторов по степени значимости (проранжировать). Наиболее значимому с точки зрения каждого эксперта фактору присваивается ранг, равный единице, следующему – два и т.д. Если объекты имеют равную степень предпочтительности, то им присваивается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому из порядковых номеров объектов одной и той же значимости. Высший ранг фактора определяется на основе средневзвешенных оценок.

Степень согласованности мнений экспертов по совокупности всех факторов можно оценить по коэффициенту конкордации, который определяется по формуле [2]

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{m}(S_i - \overline{S_i})^2}{N^2 \cdot (m^3 - m) - N\sum_{j=1}^{N} T_j}. \qquad (1)$$

Здесь S_i – сумма рангов, присвоенных i-ому фактору всеми экспертами, m – число оцениваемых факторов, N – общее число экспертов.

Параметры S_i,T_j – вычисляются по формулам

$$T_j = \sum_{l=1}^{L_j}\left(t_{jl}^3 - t_{jl}\right).$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{N} R_{ij}, \qquad \overline{S_i} = \frac{\sum_{i=1}^{m} S_i}{m},$$

Здесь R_{ij} – ранг, присвоенный i-ому фактору j-ым экспертом, L_j – число групп одинаковых рангов в ранжированном ряду, представленных j–ым

экспертом, l – порядковый номер группы с совпавшими (равными) рангами, t_{ij} – число равных рангов по j-эксперту в группе с номером l.

Достоверность совпадения мнений экспертов оценивается по критерию χ^2-квадрат. Рассчитываемый по формуле $\chi^2=W(m-1)N$ параметр сравнивается с табличным значением, которое выбирается для уровня значимости γ и числа степеней свободы m-1 [1].

Коэффициент конкордации находится в пределах от 0 до 1. При значении, равном 0,8, степень согласованности мнений экспертов считается хорошей. Другим критерием учета разброса мнений экспертов является коэффициент вариации, который не должен превышать 0,3.

По присвоенным экспертами каждому фактору рангам определяется коэффициент весомости

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^{N}(m - R_{ij})}{\sum_{j=1}^{N}\sum_{i=1}^{m}(m - R_{ij})}. \qquad (2)$$

При этом должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^{m}\alpha_i = 1.$$

С помощью данной методики можно получить вероятностные характеристики загрязнения по региону, проявляющегося через болезни растений. Применимость коэффициента конкордации нами рассмотрена на базе результатов исследований поражения сосны побеговым раком в российско-финской Лапландии, приведенных в работе [3]. Авторы ссылаются на источники, в которых приводятся последствия деятельности крупного медно-никелевого комбината в этом районе. Она привела к масштабному загрязнению среды SO_2, Ni, Cu и повреждению лесов на значительных площадях.

В статье приведены количественные характеристики по городам и степени повреждения, в частности процент деревьев, поврежденных побеговым раком в различной степени (Табл. 1). Исследования проводились в 15 пунктах северной Финляндии и на Кольском полуострове.

Таблица 1

№ п/п	Пункт	Процент деревьев, поврежденных побеговым раком в различной степени, %											Сумма
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
1	Мончегорск	402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402
2	Имандра	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
3	Пиренга	728	64	10	2	0	0	0	0	0	0	0	804
4	Уполокша	446	58	7	0	0	0	0	0	0	0	0	511
5	Ена	348	29	7	0	0	0	0	0	0	0	0	384
6	Ковдор	649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	649
7	Аниярви	59	51	22	11	0	0	0	1	0	0	0	144
8	Локка	424	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	443
9	Сатси	92	88	28	22	11	4	1	7	1	0	14	268
10	Аска	250	26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	280
11	Нуттио	119	55	35	24	5	1	2	2	2	0	3	248
12	Муонио	177	83	4	0	1	0	0	0	0	0	0	265
13	Кемиярви	447	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	459
14	Теннила	475	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	476
15	Кеминмаа	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276

Авторы статьи делают вывод, что промышленные эмиссии на Кольском полуострове вряд ли имеют отношение к заболеваниям деревьям в восточной части Финской Лапландии.

На основе вышеприведенных статистических данных можно получить вероятности заболевания деревьев побеговым раком. Мы вычислили вероятности степени повреждения сосен в пункте обследования как

отношение числа поврежденных деревьев к общему числу обследованных деревьев (Табл. 2).

Если вредные выбросы на Кольском полуострове не оказывают существенного влияния на заболевания в регионе, то степень согласованности данных по всем исследованным пунктам, находящимся на различных расстояниях от источника загрязнения, должна быть очень высокой.

Таблица 2

№ п/п	Пункт	Вероятность повреждений деревьев побеговым раком в различной степени, %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	Мончегорск	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Имандра	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Пиренга	0,91	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Уполокша	0,87	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Ена	0,91	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Ковдор	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Аниярви	0,41	0,35	0,15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	Локка	0,96	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Сатси	0,34	0,33	0,10	0,08	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05
10	Аска	0,89	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	Нуттио	0,48	0,22	0,14	0,10	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
12	Муонио	0,67	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	Кемиярви	0,97	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Теннила	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Кеминмаа	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

В качестве экспертов рассматривались города, находящиеся на различном расстоянии от источника загрязнения в качестве факторов – степень повреждения, характеризуемая процентным отношением. Вероятности того, что дерево здорово, присваивался ранг 1, вероятности того, что дерево заражено на 10 % – 2 ранг, и т.д. Группе равнозначных

факторов (нет деревьев больных со степенью 30%, 40% и т.д.) присваивалось среднее арифметическое порядковых рангов. Ранг фактору присваивался по средневзвешенной оценке, определяемой как среднее арифметическое рангов, присвоенных в каждом пункте по каждому фактору.

Результаты расчетов по вышеизложенной методике приведены в табл. 3.

Таблица 3

№	Фактор	Ранг	Средне взвешенная оценка	Коэффи-циент вариации	Коэффи-циент весомости
1	Вероятность того, что все деревья здоровы	1	1,000	0,00	0,182
2	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 10%	2	3,200	0,57	0,142
3	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 20%	3	4,200	0,46	0,124
4	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 30%	4	6,300	0,23	0,085
5	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 40%	5	6,800	0,21	0,076
6	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 50%	10	7,533	0,16	0,063
7	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 60%	8,5	7,500	0,08	0,064
8	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 70%	7	7,100	0,08	0,071
9	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 80%	8,5	7,500	0,08	0,064
10	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 90%	11	7,800	0,20	0,058
11	Вероятность того, что в сосняке присутствуют деревья, пораженные на 100%	6	7,067	0,10	0,072

Коэффициент конкордации составил W=0,76, что свидетельствует о вполне удовлетворительной согласованности данных.

Достоверность совпадения мнений оценивалась по критерию $\chi 2$, где $\chi 2 = W(m-1)N$=0,76·(11-1)·15=114. При уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы (m-1)=9 табличное значение критерия составляет 16,92 [1] . Так как вычисленное значение намного превосходит табличное, то с вероятностью 0,95 можно считать, что совпадение данных не является случайным. Коэффициент вариации превысил предельно допустимые только для двух факторов: вероятности поражения на 10% и 20%. Среднее значение коэффициента вариации по всем факторам составляет 0,2. Таким образом, данный метод подтверждает гипотезу о том, что отсутствует явная связь между выбросами медно-никелевого комбината и распространением заболевания побеговым раком сосны в российско-финской Лапландии, так как для всего региона степень согласованности результатов высокая.

Полученные вероятностные оценки могут быть использованы для оценки устойчивости экологической системы в данном регионе.

Надо иметь в виду, что в этом способе оценки согласованности результатов присутствует как субъективная, так и объективная составляющие. Субъективная составляющая основывается на методике определения степени экологических воздействий на природную среду, а объективная – обусловлена выбором и характеристиками исследуемой местности.

Таким образом, с помощью проиллюстрированной методики могут быть вычислены вероятностные характеристики, необходимые для оценки устойчивости экологической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 582 с.

2. Сиденко В.М., Рокас С.Ю. Управление качеством в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
3. Кайтера Ю.А., Федорков А.Л., Яалканен Р.Е. Распространение побегового рака по градиенту загрязнения среды в Российской и Финской Лапландии // Лесн. журн. – 1996. - № 3. - С. 26-31. – (Изв. высш. учеб. заведений).