

УДК 630*425:630*443

О.В. Адмаев, Т.В. Гавриленко

Адмаев Олег Васильевич родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Красноярский государственный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Красноярской государственной архитектурно-строительной академии. Имеет 19 печатных работ в области охраны окружающей среды.



Гавриленко Татьяна Валентиновна родилась в 1961 г. окончила в 1984 г. Новосибирский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Красноярской государственной архитектурно-строительной академии. Имеет 22 печатные работы в области устойчивости и надежности технических сооружений.



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНКОРДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для получения вероятностных характеристик устойчивости экологических систем использован метод экспертных оценок. Методика применялась при исследованиях влияния выбросов металлургического комбината в г. Мончегорске.

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. Обычно такая информация представлена в виде многочисленных таблиц с большим набором числовых данных или графиков. Выводы большей частью имеют узкую направленность, ограничены первоначально поставленными задачами. Часто в подобных выводах приводятся лишь качественные характеристики исследуемых объектов.

Результаты натурных исследований 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 специали-

стами исследуемых объектов и явлений к их количественному описанию. Данное описание обобщается по группе специалистов, в результате субъективная составляющая нивелируется.

Метод экспертных оценок обычно включает анкетный опрос специалистов отрасли, которые должны оценить ряд предложенных факторов по степени значимости (проранжировать). Наиболее значимому с точки зрения каждого эксперта фактору присваивается ранг 1, следующему – 2 и т. д. Если несколько объектов имеют равную степень предпочтительности, 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 [3]

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^m S_i^2 - \bar{S}_i^2}{N^2 (m^3 - m) - N \sum_{j=1}^N T_j}$$

Здесь S_i – сумма рангов, присвоенных i -му фактору всеми экспертами;

m – число оцениваемых факторов;

N – общее число экспертов.

Параметры S_i, \bar{S}_i, T_j вычисляются по формулам

$$S_i = \sum_{j=1}^N R_{ij}; \quad \bar{S}_i = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}; \quad T_j = \sum_{l=1}^{L_j} (t_{jl}^3 - t_{jl})$$

Здесь R_{ij} – ранг, присвоенный i -му фактору j -м экспертом;

L_j – число групп одинаковых рангов в ранжированном ряду, представленных j -м экспертом;

l – порядковый номер группы с совпавшими (равными) рангами;

t_{jl} – число равных рангов по j -му эксперту в группе l .

Достоверность совпадения мнений экспертов оценивается по критерию χ^2 . 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

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

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-финляндской Лапландии, приведенных в работе [2]. Ее авторы ссылаются на источники, в которых приводятся последствия деятельности крупного медно-никелевого комбината в этом районе. Она привела к масштабному загрязнению среды SO₂, Ni, Cu и повреждению лесов на значительных площадях.

В статье [2] 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. Сделан вывод, что промышленные эмиссии на Кольском полуострове вряд ли имеют отношение к заболеваниям деревьев в восточной части финляндской Лапландии.

Таблица 1

Пункт	Число деревьев, поврежденных побеговым раком в различной степени, %											Итого
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Мончегорск	402	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402
Имандра	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
Пиренга	728	64	10	2	0	0	0	0	0	0	0	804
Уполокша	446	58	7	0	0	0	0	0	0	0	0	511
Ена	348	29	7	0	0	0	0	0	0	0	0	384
Ковдор	649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	649
Аниярви	59	51	22	11	0	0	0	1	0	0	0	144
Локка	424	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	443
Сатси	92	88	28	22	11	4	1	7	1	0	14	268
Аска	250	26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	280
Нуттио	119	55	35	24	5	1	2	2	2	0	3	248
Муонио	177	83	4	0	1	0	0	0	0	0	0	265
Кемиярви	447	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	459
Теннила	475	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	476
Кеминмаа	276	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	276

Таблица 2

Пункт	Вероятность повреждений деревьев побеговым раком в различной степени, %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Мончегорск	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Имандра	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Пиренга	0,91	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Уполокша	0,87	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ена	0,91	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ковдор	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Аниярви	0,41	0,35	0,15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Локка	0,96	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сатси	0,34	0,33	0,10	0,08	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05
Аска	0,89	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нуттио	0,48	0,22	0,14	0,10	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Муонио	0,67	0,31	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кемиярви	0,97	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Теннила	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кеминмаа	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

На основе приведенных статистических данных можно получить вероятности заболевания деревьев побеговым раком. Мы вычислили вероятности повреждения сосен в различной степени в пунктах 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.

Рассматривались пункты, находящиеся на различном расстоянии от источника загрязнения ($N = 15$), в качестве факторов – степень повреждения % ($m = 11$). Вероятности того, что дерево здорово, присваивали ранг 1; вероятности того, что оно заражено на 10 % – ранг 2, и т. д. Группе равнозначных факторов (нет деревьев больных со степенью 30, 40 % и т. д.) присваивали среднее арифметическое порядковых рангов. Фактору ранг присваивали по средневзвешенной оценке, определяемой как среднее арифметическое рангов в каждом пункте по каждому фактору.

Результаты расчетов по изложенной методике приведены в табл. 3.

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

Достоверность совпадения мнений $\chi^2 = 0,76 \cdot (11 - 1) \cdot 15 = 114$. При уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы $(m - 1) = 9$ табличное значение критерия составляет 16,92 [1]. Так как вычисленное значение намного больше табличного, то с вероятностью 0,95 можно считать, что совпадение данных не является случайным. Коэффициент вариации превысил предельно допустимые только для двух факторов: вероятности поражения

Таблица 3

№	Степень повреждения, %	Ранг	Средневзвешенная оценка	Коэффициент вариации	Коэффициент весомости
1	0	1	1,000	0,00	0,182
2	10	2	3,200	0,57	0,142
3	20	3	4,200	0,46	0,124
4	30	4	6,300	0,23	0,085
5	40	5	6,800	0,21	0,076
6	50	10	7,533	0,16	0,063
7	60	8,5	7,500	0,08	0,064
8	70	7	7,100	0,08	0,071
9	80	8,5	7,500	0,08	0,064
10	90	11	7,800	0,20	0,058
11	100	6	7,067	0,10	0,072

на 10 и 20 %. Среднее значение коэффициента вариации по всем факторам составляет 0,2. Таким образом, данный метод подтверждает гипотезу об отсутствии явной связи между выбросами медно-никелевого комбината и распространением заболевания побеговым раком сосны в российско-финляндской 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. Первая основывается на методике определения степени экологических воздействий на природную среду, вторая обусловлена выбором и характеристиками исследуемой местности.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 2002. – 575 с.
2. *Кайтера Ю.А.* Распространение побегового рака по градиенту загрязнения среды в Российской и Финской Лапландии / Ю.А. Кайтера, А.Л. Федорков, Р.Е. Ялканен // Лесн. журн. – 1996. – № 3. – С. 26–31. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Сиденко В.М.* Управление качеством в дорожном строительстве / В.М. Сиденко, С.Ю. Рокас. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.

Красноярская государственная
архитектурно-строительная академия
Поступила 05.01.04

O.V. Admaev, T.V. Gavrilenko

Use of Concordance Method for Evaluating Changes of Ecological Systems Quality

The method of expert appraisals has been used for obtaining probabilistic characteristic of ecological systems stability. The technique has been applied when studying the influence of metallurgical plant emissions in the town of Monchegorsk.