

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАПОВЕДНИКА

Губко Г.В., Вализер П.М.

(Ильменский государственный заповедник им. В.И. Ленина
УрО РАН, Миасс, Челябинская обл.,
e-mail: gala@ilmeny.ac.ru)

1. Модель заповедника

Особо охраняемая природная территория со статусом заповедника является метасистемой, состоящей организационной системы с активными элементами и природного комплекса. Организационная система является субъектом управления, а природный комплекс – объектом управления. Управление производится набором управляющих воздействий.

Целью деятельности заповедника является сохранение разнообразия элементов природного комплекса и обеспечение естественного хода природных процессов. Характеристикой состояния природного комплекса является совокупность показателей и параметров, которые могут служить для субъекта управления обратной связью, позволяющей принимать решения по корректировке управляющих воздействий. Кроме управляющих воздействий на природный комплекс оказывает действие набор случайных факторов внешней среды (внешних воздействий), меняющих его состояние и влияющих на эффективность и надежность управления.

2. Надежность и эффективность управления

Состояние природного комплекса описывается совокупностью показателей и параметров его элементов. Обозначим $y \in A$ – состояние природного комплекса, $P(\sigma)$ – множество его состояний, зависящее от управляющего воздействия $\sigma \in M$, принадлежащего допустимому множеству M . Введем на множестве $A \times M$ скалярный функционал $K(s, y): A \times M \rightarrow \mathbb{R}^1$, который является критерием эффективности функционирования системы и отражает интересы управляющего органа. Критерий эффективности сопоставляет значению пары «состояние–управление» число $K(s) = \max_{y \in P(s)} K(s, y)$, которое называется эффективностью управления

$s \in M$. Задача синтеза оптимального управляющего воздействия заключается в выборе такого $s^* \in M$, на котором бы достигался максимум эффек-

тивности управления: $s^* = \arg \max_{s \in M} \max_{y \in P(s)} K(s, y)$.

Предположим, что центру известна модель поведения природной системы с точностью до некоторого параметра (внешнего воздействия) $q \in \Omega$. Состояние природы отражает неполную информированность центра об объекте управления и внешних условиях его функционирования. Таким образом, состояние системы зависит от управления и неопределенного параметра $P = P(s, q)$ [3].

Под надежностью механизма управления понимается его способность обеспечивать принадлежность основных параметров природного комплекса заданной области.

Предположим, что задано множество $B \subseteq A$ допустимых состояний природного комплекса и известна плотность $p(q)$ распределения вероятностей состояния природы. Тогда возможно рассчитать риск $r(s(\cdot)) = \text{Prob} \{P(s) \cap (A \setminus B) \neq \emptyset\}$, как числовую характеристику надежности, определяемую вероятностью выхода существенных параметров системы из допустимого множества при заданном управлении.

Таким образом, для заданного управления $s \in M$ существуют две характеристики: его эффективность $K(s)$ и надежность (точнее – риск) $r(s)$. Задачу (двухкритериальную) синтеза управлений можно формулировать либо как задачу (1) синтеза управления, имеющего максимальную эффективность при заданном уровне риска,

$$(1) \begin{cases} K(s) \rightarrow \max_{s \in M}, \\ r(s) \leq r_0 \end{cases}$$

либо как задачу (2) синтеза управления, минимизирующего риск при заданном уровне эффективности [2].

$$(2) \begin{cases} r(s) \rightarrow \min_{s \in M}, \\ K(s) \geq K_0 \end{cases}$$

Управляющий орган (центр) может принимать решение (выбирать стратегии управления) только в условиях полной информированности. Существует множество процедур устранения неопределенности. Наиболее близкими к практической реализации являются экспертный критерий эффективности (в котором центр подставляет в критерий эффективности согласованную оценку состояния природы, предложенную экспертами) и вероятностный критерий эффективности. Последний адекватен в случае, когда в качестве числовой характеристики надежности управления используется риск, определяемый как вероятность выхода системы за задан-

ную область значений существенных параметров.

Одним из изученных показателей состояния природы в Ильменском заповеднике является степень антропогенной нарушенности растительности территории. Данный показатель характеризуется следующими параметрами: степень синантропизации растительных сообществ (табл. 1.) и уровень деградации комплексов растительности антропогенных мест обитания (табл. 2). Разработана шкала оценки степени синантропизации растительных сообществ:

Таблица 1

Степень синантропизации растительных сообществ

Синантропных видов до 15%	Категория 1	антропогенное воздействие незначительное
Синантропных видов от 16% до 60%	Категория 2	антропогенное воздействие значительное
Синантропных видов от 60% до 100%	Категория 3	антропогенное воздействие очень сильные

Уровень деградации является территориальным критерием для комплекса растительных группировок антропогенных мест обитания вблизи кордонов и поселков. Он определяется разнообразием синантропных сообществ и степенью их синантропизации.

Таблица 2

Уровень деградации растительных комплексов

Число синантропных растительных сообществ до 25, не более 50%	Степень синантропизации 3	антропогенное воздействие незначительное
Число синантропных растительных сообществ от 26 до 40, от 51% до 85%	Степень синантропизации 2	антропогенное воздействие значительное
Число синантропных растительных сообществ более 41, более 86%	Степень синантропизации 1	антропогенное воздействие очень сильные

Допустимые значения параметров, позволяющие относить территорию к заповедной: число синантропных растительных сообществ до 25, не более 50%, синантропных видов до 15 %.

3. Оценка уровня экологической безопасности заповедника

Рассмотрим задачу минимизации риска при заданном уровне эффективности управления, для чего построим интегральную оценку риска на основе агрегирования локальных рисков [1], применив методологию формирования комплексных оценок. В качестве исходных данных используется экспертная оценка воздействий и угроз (рисков) на природный комплекс заповедника [2].

В методике быстрой оценки эффективности управления для заповедников [4], адаптированной к условиям России, рассматриваются следующие виды внешних воздействий: загрязнение, браконьерство (, охота, рыбалка), сбор дикоросов, “туризм” (любое неединичное посещение территории), лесопользование, сельское хозяйство (выпас скота, покосы, огороды), поселения (кордоны, поселки), пользование недрами (сбор минералов), катастрофы (пожары, наводнения). При оценке эффективности управления в Ильменском государственном заповеднике (2001г.), проводимой группой экспертов (10 человек) из числа ведущих специалистов заповедника, рассматривались как внешние воздействия, так и угрозы (риски). Внешние воздействия на природный комплекс – это факторы (силы или явления), наносящие ущерб целостности заповедника, препятствующие достижению целей функционирования организации. Этот ущерб может быть результатом законных или незаконных действий, иметь характер прямого или косвенного. Значимость воздействий определяется в соответствии с задачами управления. Анализ каждого вида воздействий включает следующие показатели: актуальность на протяжении последних 10 лет (резкое возрастание, небольшое возрастание, постоянный уровень, слабое снижение, резкое снижение), ареал распространения (повсеместно по территории заповедника – > 50%, широко – от 15% до 50%, разрозненно – от 5% до 15%, локально – < 5%), сила воздействия (критическое, сильное, умеренное, малое), срок воздействия на территорию (постоянно – >500 лет, длительный от 100 до 500 лет, средний от 10 до 100 лет, краткий – менее 10 лет), вероятность наступления события (очень вероятно, довольно вероятно, относительно маловероятно, возможно редко). Внешнее воздействие, имеющее высокую вероятность сохраниться в будущем, и значительную мощность (произведение силы воздействия на площадь влияния), считается угрозой или риском. Актуальность риска определялась как произведение оценки вероятности события на его мощность. В результате обработки данных экспертизы, значения показателей рисков приняты как средние согласованные по группе экспертов. Данные экспертной оценки рисков (2001 г) для территории ИГЗ приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты экспертной оценки рисков по данным 2001 г

№	Список рисков	Мощность (1-16)	Актуальность (1-64)
1	туризм	6	10
2	Охота	4	7
3	Рубки леса	5	4
4	сбор дикоросов	4	10
5	загрязнения	11	16
6	поселения	2	3
7	сбор минералов	7	5
8	лесные пожары	5	7

Значения угроз разбиты на интервалы, для которых определены категории, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Категории рисков

Величина риска	0-4	5-8	9-10	11-20
Категория	1	2	3	4

В соответствии с перечнем угроз строится бинарное дерево рисков, определяются и экспертно настраиваются логические матрицы свертки, как процедуры агрегирования для вершин дерева, с учетом экспертной оценки актуальности каждого риска (рис. 1, 2).

K_1 – оценка риска нарушенности растительности (вытаптывание) за счет туризма; K_2 – оценка риска истощения ресурсов за счет рыбалки и охоты; K_3 – оценка риска потери лесного фонда за счет несанкционированных рубок; K_4 – оценка риска нарушенности растительности; K_5 – оценка риска потери ресурсов за счет интегрального загрязнения почв, вод, воздуха; K_6 – оценка риска нарушенности растительности за счет поселений; K_7 – оценка риска потери ресурсов за счет несанкционированного сбора минералов и горных пород; K_8 – оценка риска потери ресурсов за счет лесных пожаров; K_9 – комплексная оценка риска нарушенности растительности (вытаптывание); K_{10} – комплексная оценка риска истощения биологического разнообразия территории; K_{11} – комплексная оценка риска потери ресурсов; K_{12} – комплексная оценка риска потери лесного фонда; K_{13} – комплексная оценка риска обеднения ресурсов; K_{14} – комплексная оценка риска потери ресурсов; K_{15} – интегральная оценка экологического риска.

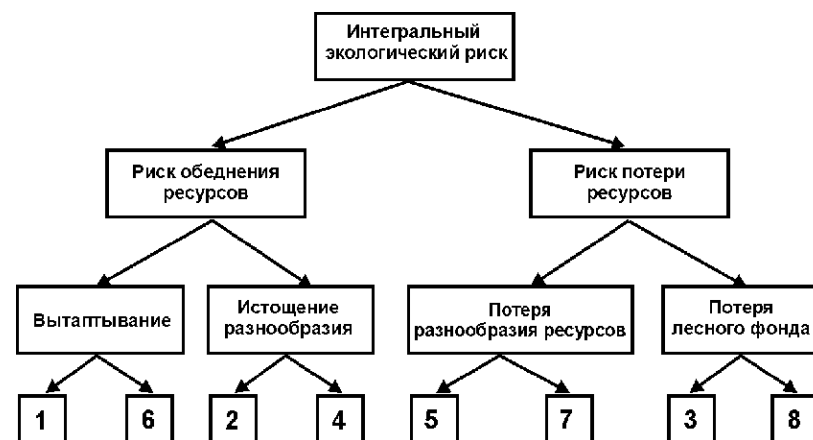


Рис. 1. Бинарное дерево рисков

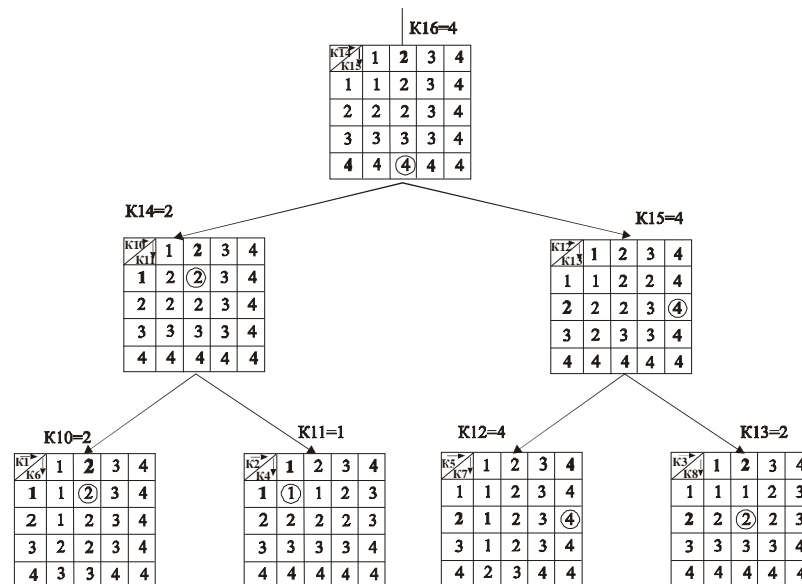


Рис. 2. Дерево оценки экологического риска для заповедника

Приведенное дерево позволяет получить интегральную оценку риска, по которой определяется уровень экологической безопасности заповедника. Если полученная оценка велика, то необходимо разработать механизмы управления, приводящие к минимизации риска [2] при заданной эффективности управления и минимальных ресурсах. Для расчета самого дешевого варианта получения заданного уровня риска применим описываемые ниже алгоритмы.

Обозначим G – множество номеров критериев нижнего уровня, тогда считаем заданными $c_i(1), c_i(2), c_i(3), c_i(4), i \in G$ – затраты на достижение значений 1, 2, 3, 4 i -го критерия.

Приведем алгоритм решения задачи 1. Рассмотрим сначала простейший случай, когда всего два критерия нижнего уровня сворачиваются в общий критерий. В этом случае алгоритм очевиден:

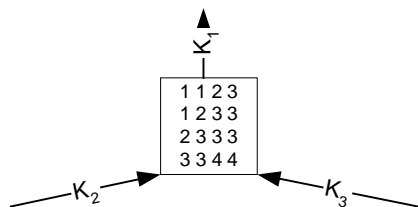


Рис. 3. Свертка критериев K_3 и K_2 в комплексный критерий K_1

Алгоритм 1. Фиксируем произвольное значение критерия $K_1 = K_1^*$ и находим $(K_2(K_1^*), K_3(K_1^*)) = \arg \min_{K_2, K_3: K_1(K_2, K_3) = K_1^*} [c_2(K_2) + c_3(K_3)]$ – значения критериев нижнего уровня, которые позволяют получить значение свернутого критерия K_1^* с минимальными затратами. Получаем самые дешевые состояния системы для каждого из значений свернутого критерия. Тогда минимальные затраты по достижению значения K_1^* этого критерия равны

$$c_1(K_1^*) = c_2(K_2(K_1^*)) + c_3(K_3(K_1^*)).$$

Таким образом, теперь для каждого значения критерия K_1 мы можем сказать, каким образом мы должны распределить ресурс так, чтобы достичь этого значения K_1 с минимальными затратами, то есть для данного простого случая задача решена.

Алгоритм 2. Если имеется дерево критериев, применим сначала алгоритм 1 для получения минимальных затрат критериев, получаемых сверткой критериев самого нижнего уровня. Получим для этих критериев зависимости $c_i(\cdot)$. После этого использованные критерии нижнего уровня можно просто отбросить. К полученной упрощенной задаче также применим алгоритм 1 до тех пор, пока не останется один критерий, общий критерий эффективности системы.

Оптимальность распределения ресурса при помощи алгоритма 2 следует из того, что при нахождении минимальных затрат по достижению значений каждого критерия перебираются все варианты комбинаций критериев более низкого уровня, при этом, по построению алгоритма, затраты на достижение заданного значения критерия на каждом уровне минимальны по алгоритму 1.

Полученное значение риска $K_1 = 4$; далее необходимо получить вариант с минимальными затратами для получения значения оценки риска $K_1^* = 2$. Такое значение интегральная оценка имеет при следующих значениях промежуточных оценок $K_2(1) - K_3(1)$, $K_2(2) - K_3(1)$, $K_2(1) - K_3(2)$, $K_2(2) - K_3(2)$. Стоимость $C_2(1) = 15$, $C_2(2) = 10$, $C_3(1) = 25$, $C_3(2) = 15$, стоимость затрат каждого варианта $C(1,1) = 40$, $C(1,2) = 30$, $C(2,1) = 35$, $C(2,2) = 25$, таким образом вариант $K_2(2) - K_3(2)$ является наиболее дешевым и позволяет получить заданную интегральную оценку риска.

Заключение

Таким образом, для оценки уровня экологической безопасности заповедника опробована методика, включающая:

- модель заповедника, как метасистемы, состоящей из социально-экономической системы с активными элементами (организации) и природной системы (комплекса),
- описание модели природного комплекса в показателях и определение интервалов их допустимых значений,
- описание двухкритериальной задачи синтеза управлений, минимизирующей риск при заданном уровне эффективности управления,
- алгоритмы минимизации затрат на достижение заданной оценки риска для определения оптимального набора управляющих воздействий,
- перечень показателей для экспертной оценки угроз и устранения информационной неопределенности,
- процедуры построения бинарного дерева рисков, с агрегированием вершин методом матричных сверток.

Результат оценки по экспертным данным 2001 г позволяет наметить оптимальный набор управляющих воздействий на природный комплекс и внешнюю среду заповедника, приводящих к повышению уровня экологической безопасности для его территории (снижение интегральной оценки риска).

Для дальнейшего внедрения методики оценки уровня экологической безопасности заповедника и разработки механизмов управления экологической безопасностью, необходимо разработать перечень основных показателей природного комплекса и определить интервалы их допустимых значений. Проводить ежегодные экспертные опросы ведущих специалистов заповедника с целью определения вероятности возникновения, мощности и актуальности внешних воздействий, приводящих к выходу системы за допустимые интервалы значений показателей .

Литература

1. БУРКОВ В.Н., ГРАЦИАНСКИЙ Е.В., ДЗЮБКО С.И., ЩЕПКИН А.В. *Модели и механизмы управления безопасностью*. М.: СИНТЕГ, 2001. С. 55 – 78.
2. ГУБКО Г.В. *Модели и механизмы управления особо охраняемыми природными территориями*. Миасс.: Геотур, 2002. – 121 с.
3. НОВИКОВ Д.А. *Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем*. М.: Фонд “Проблемы управления”, 1999. С. 79 – 90.
4. ХОККИНГС М. *Оценка эффективности: схема оценки менеджмента охраняемых природных территорий*. Руководство по охраняемым территориям. Серия “Лучший опыт”. Выпуск 6. Международный союз охраны природы, 2000. – 75 с.