

## МЕХАНИЗМЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАПОВЕДНИКА

Губко Г. В.

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

*Рассматриваются вопросы оценки уровня экологической безопасности заповедника, формулируются математические модели надежности и эффективности управления. Описывается методика оценки уровня экологической безопасности заповедника и приводятся результаты ее применения в Ильменском государственном заповеднике.*

Ключевые слова: экологическая безопасность, оценка риска, заповедник, надежность, эффективность управления.

### **Введение**

Одной из важнейших проблем управления заповедником является определение внешних воздействий на природный комплекс, их интенсивности и силы, прогноз развития этих воздействий в постоянные угрозы. Определение перечня воздействий и угроз, наряду с их анализом, позволяет выработать стратегию управляющих воздействий на потенциально опасных направлениях и организовать контроль по параметрам состояния природного комплекса, на который оказываются воздействия. Важной задачей при этом является оценка уровня экологической безопасности и надежности управления с точки зрения достижения целей управления.

### **1. Задача управления заповедником**

Особо охраняемую природную территорию (ООПТ) со статусом заповедника можно считать метасистемой, состоящей из

организационной системы и природного комплекса. Организационная система выступает в роли субъекта управления (центра), а природный комплекс – в роли объекта управления.

Целью деятельности Заповедника является сохранение разнообразия элементов природного комплекса и обеспечение естественного хода природных процессов. Характеристикой состояния природного комплекса является совокупность показателей и параметров его элементов, которые могут служить для субъекта управления индикаторами, позволяющими принимать решения по корректировке управляющих воздействий. Обозначим состояние природного комплекса через  $y \in A$ .

Управление Заповедником производится посредством выбора управляющего воздействия  $\sigma$  из некоторого набора  $M$ . Примером такого воздействия может быть решение об увеличении численности инспекторов охраны в пожароопасный период, что ведет к повышению экологической безопасности заповедника (но, при этом, ухудшает значение комплексного показателя эффективности управления за счет увеличения затрат).

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. Обозначим вектор внешних воздействий через  $\theta \in \Omega$ .

Аналогично подходу, описанному в [6], предположим, что центру известна модель поведения природной системы в виде отображения  $P$ , ставящего в соответствие паре  $\sigma, \theta$  множество состояний природной системы  $P(\sigma, \theta) \subseteq A$ , возможных при управлении  $\sigma$  и векторе случайных факторов  $\theta$ . Предположим также, что центру известна плотность  $p(\theta)$  распределения вероятностей проявления случайных факторов.

Введем на множестве  $A \times M$  скалярный функционал  $f(\sigma, y): A \times M \rightarrow \mathfrak{R}^1$  – критерий эффективности функционирования системы, отражающий интересы управляющего органа.

Обычно (см., например, [3]) задачу синтеза оптимального управляющего воздействия формулируют так: выбрать  $\sigma^* \in M$ , на котором достигается максимум *эффективности управления*<sup>1</sup>

$$\mathcal{E}(\sigma) := E_{\theta} \left[ \min_{y \in P(\sigma, \theta)} f(\sigma, y) \right].$$

Однако в таком подходе в явном виде не фигурируют соображения надежности, играющие очень важную роль в задачах управления безопасностью [2], к которым, по сути, относится задача управления ООПТ<sup>2</sup>.

Предположим, что задано множество  $B \subseteq A$  приемлемых состояний природного комплекса<sup>3</sup>. Тогда для любого управления  $\sigma \in M$  можно рассчитать *риск*

$$(1) \quad r(\sigma) := \text{Prob} \{P(\sigma, y) \cap (A \setminus B) \neq \emptyset\},$$

как числовую характеристику надежности управления, определяемую вероятностью появления *неблагоприятного события* – внешнего воздействия, которое приводит к выходу существенных параметров системы из допустимого множества [4].

Таким образом, для заданного управления  $\sigma \in M$  существуют две характеристики: его эффективность  $\mathcal{E}(\sigma)$  и надежность (точнее, риск)  $r(\sigma)$ . Задачу (двухкритериальную) синтеза управлений можно сформулировать либо как задачу синтеза управления, имеющего максимальную эффективность при заданном уровне риска:

$$(2) \quad \begin{cases} \mathcal{E}(\sigma) \rightarrow \max_{\sigma \in M}, \\ r(\sigma) \leq r_0, \end{cases}$$

<sup>1</sup> Здесь через  $E_{\theta}$  обозначена операция математического ожидания по распределению случайных факторов.

<sup>2</sup> Под *надежностью* механизма управления понимается его способность обеспечивать принадлежность основных параметров природного комплекса заданной области.

<sup>3</sup> В частности, множество  $B$  определяется законодательными требованиями к состоянию природного комплекса ООПТ, имеющей статус заповедника.

либо как задачу синтеза управления, минимизирующего риск при заданном уровне эффективности [4]:

$$(3) \quad \begin{cases} r(\sigma) \rightarrow \min_{\sigma \in M}, \\ \mathcal{E}(\sigma) \geq \mathcal{E}_0. \end{cases}$$

## **2. Оценка уровня экологической безопасности заповедника**

Результат деятельности заповедника часто зависит от случайных и неопределенных факторов (в ООПТ – лесные пожары, накопление загрязнителей, браконьерство и т.д.) и где управление осуществляется через управляющие процедуры, направленные на уменьшение таких негативных воздействий и предотвращение угроз, или рисков (подробнее см. [4, 5]).

На практике непосредственное вычисление риска по формуле (1) затрудняется недостатком статистических данных. В связи с этим актуальной является разработка методики, позволяющей оценивать уровень экологической безопасности заповедника на базе экспертных оценок.

В данном разделе описывается методика оценки уровня экологической безопасности, разработанная для Ильменского государственного заповедника. Методика основана на вычислении интегральной оценки риска путем агрегирования локальных рисков или угроз [2]. Предлагаемая методика построения интегральной оценки основывается на методике быстрой оценки эффективности управления для заповедников [7], разработанной Фондом дикой природы, а также на методологии формирования комплексных оценок [1]. При этом, в продолжение развитого в [4] подхода, в качестве исходных данных используются экспертные оценки воздействий и угроз (рисков) на природный комплекс заповедника.

В методике быстрой оценки эффективности управления для заповедников [7], разработанной Фондом дикой природы и адаптированной к условиям России, рассматриваются следующие виды внешних воздействий: загрязнение, 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). Именно этот список воздействий лег в основу предлагаемой методики оценки уровня экологической безопасности.

При оценках уровня экологической безопасности в Ильменском государственном заповеднике (2001г, 2006г), проводимых 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 в виде балльных оценок: динамика на протяжении последних 10 лет (резкое возрастание, небольшое возрастание, постоянный уровень, слабое снижение, резкое снижение), ареал распространения (повсеместно по территории заповедника – > 50% – 4 балла, широко – от 15% до 50% – 3 балла, разрозненно – от 5% до 15% – 2 балла, локально – < 5% – 1 балл), сила воздействия (критическое – 4 балла, сильное – 3 балла, умеренное – 2 балла, малое – 1 балл), срок воздействия на территорию (постоянно – > 500 лет – 4 балла, длительный от 100 до 500 лет – 3 балла, средний от 10 до 100 лет – 2 балла, краткий – менее 10 лет – 1 балл), вероятность наступления события (очень вероятно – 4 балла, довольно вероятно – 3 балла, относительно маловероятно – 2 балла, возможно редко – 1 балл).

Актуальность риска определяется как произведение вероятности события (измеренной по шкале от единицы до четырех) на его мощность (произведение силы воздействия на ареал влияния) и в дальнейшем считается основной характеристикой риска по данному типу внешних воздействий.

В результате обработки данных экспертизы значения показателей рисков приняты как средние согласованные по группе экспертов. Данные оценки рисков (экспертизы 2001, 2006 гг) для территории Ильменского заповедника приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспертной оценки рисков по данным 2001 и 2006 гг.

	Вид воздействия	Мощность		Актуальность	
		2001г.	2006г.	2001г.	2006г.
	Туризм	5	4	10	8
	Охота	3	3	6	6
	Рубки леса	2	2	6	4
	Сбор дикоросов	3	3	12	9
	Загрязнения	4	3	16	12
	Поселения	2	2	2	3
	Сбор минералов	6	5	12	10
	Лесные пожары	6	4	12	8

Значения актуальности рисков (угроз) разбиваются на интервалы, для которых определены категории, приведенные в таблице 2. В итоге каждый вид внешних воздействий относится к одной из четырех категорий, от минимальной актуальности до критического риска.

Таблица 2 Категории рисков

Актуальность риска	0-4	5-8	9-10	11-20
Категория	1	2	3	4
Лингвистическая трактовка	слабый	допустимый	критический	высокий

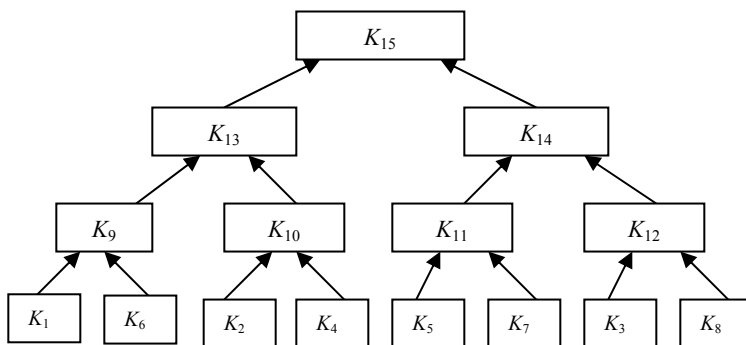


Рис. 1. Бинарное дерево комплексного оценивания

Полученный набор оценок отдельных рисков агрегируется в интегральную оценку уровня экологической безопасности Заповедника с помощью методики комплексного оценивания, основанной на бинарных матричных свертках [1]. Для этого строится бинарное дерево (см. рис. 1), в корне которого находится интегральная оценка, которая затем последовательно декомпозируется на пары частных оценок. На нижнем уровне дерева находятся оценки отдельных показателей рисков, полученные в результате опроса экспертов.

Так, для оценки уровня экологической безопасности Заповедника было построено бинарное дерево, изображенное на рис. 1. В нем интегральная оценка экологического риска (комплексный показатель экологической безопасности)  $K_{15}$  декомпозируется на два показателя – комплексную оценку риска обеднения ресурсов  $K_{13}$  и комплексную оценку риска потери ресурсов  $K_{14}$ . В свою очередь, показатель  $K_{13}$  декомпозируется на комплексную оценку риска нарушения растительности (в результате вытаптывания)  $K_9$  и комплексную оценку риска истощения биологического разнообразия территории  $K_{10}$ . Аналогично показатель  $K_{14}$  декомпозируется на комплексную оценку риска потери минерального фонда  $K_{11}$  и комплексную оценку риска потери лесного фонда  $K_{12}$ .

Комплексная оценка  $K_9$  получается в результате агрегирования частных оценок риска нарушенности растительности за счет туризма ( $K_1$ ) и за счет поселений ( $K_6$ ). Оценка  $K_{10}$  получается агрегированием оценок рисков истощения ресурсов за счет рыбалки и охоты ( $K_2$ ) и нарушенности растительности  $K_4$ ;  $K_{11}$  агрегируется из оценок риска потери ресурсов за счет интегрального загрязнения почв, вод, воздуха ( $K_5$ ) и за счет несанкционированного сбора минералов и горных пород  $K_7$ . Наконец, комплексная оценка риска потери лесного фонда  $K_{12}$  является агрегатом оценок рисков потери лесного фонда за счет несанкционированных рубок ( $K_3$ ) и лесных пожаров ( $K_8$ ).

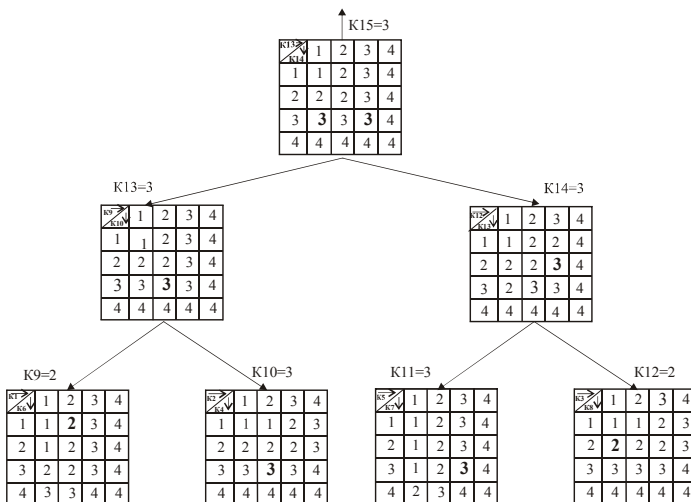


Рис. 2. Матрицы свертки оценки экологического риска для Заповедника за 2006 г.

Все оценки измеряются по четырехбалльной шкале от единицы до четырех. Оценки  $K_1$ - $K_8$  соответствуют категориям актуальности соответствующих частных рисков (см. табл. 1, 2).

Агрегирование пары частных показателей в комплексный показатель осуществляется с помощью экспертно настраиваемых матриц свертки. Столбцы матрицы соответствуют первому



агрегируемому показателю, строки – второму, а на пересечении столбца и строки находится значение комплексного показателя. Заполнение матриц производится с учетом экспертной оценки актуальности каждого риска. На рис. 2 приведены матрицы свертки для оценки уровня экологической безопасности Заповедника.

В табл. 3 приведены результаты комплексного оценивания уровня экологической безопасности Заповедника в 2001 и 2006 годах.

Таблица 3 Значения комплексных оценок риска за 2001г и 2006г

Показатель	2001г	2006г
$K_1$	3	2
$K_2$	2	2
$K_3$	2	1
$K_4$	4	3
$K_5$	4	3
$K_6$	1	1
$K_7$	4	3
$K_8$	4	2
$K_9$	3	2
$K_{10}$	4	3
$K_{11}$	4	3
$K_{12}$	4	2
$K_{13}$	4	3
$K_{14}$	4	3
$K_{15}$	4	3

Полученная в 2001 году комплексная оценка  $K_{15}$  риска была велика (см. таблицу 3), в связи с чем возникла необходимость в разработке механизмов управления, минимизирующих ресурс, необходимый для достижения заданной оценки безопасности [4]. Данная задача является частным случаем задачи (2), где роль критерия эффективности играют затраты на проведение природоохранных мероприятий, взятые со знаком «минус».

Для расчета самого дешевого варианта получения заданного уровня риска применялись описываемые ниже алгоритмы.

### 3. Механизмы управления безопасностью Заповедника

Обозначим через  $G$  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. Очевидно, чем меньше значение риска, тем больше затраты на его достижение.

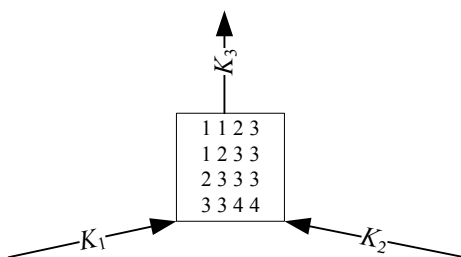


Рис. 3. Свертка критериев  $K_1$  и  $K_2$  в комплексный критерий  $K_3$

Приведем алгоритм решения задачи минимизации затрат на достижение заданного уровня риска. Рассмотрим сначала простейший случай, когда всего два критерия нижнего уровня сворачиваются в общий критерий (см. рис. 3). В этом случае алгоритм очевиден:

**Алгоритм 1.** Фиксируем произвольное значение критерия  $K_3 = K_3^*$  и находим

$$(K_1(K_3^*), K_2(K_3^*)) = \arg \min_{K_1, K_2: K_3(K_1, K_2) = K_3^*} [c_1(K_1) + c_2(K_2)] -$$

значения критериев нижнего уровня, которые позволяют получить значение свернутого критерия  $K_3^*$  с минимальными затратами. Получаем самые дешевые значения критериев  $K_1, K_2$  для

каждого из значений свернутого критерия  $K_3$ . Тогда минимальные затраты по достижению значения  $K_3^*$  этого критерия равны

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

Таким образом, теперь для каждого значения критерия  $K_3$  мы можем сказать, каким образом мы должны распределить ресурс так, чтобы достичь этого значения с минимальными затратами. 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  $c_i(.)$ . После этого использованные критерии нижнего уровня можно просто отбросить. К полученной упрощенной задаче также применяем алгоритм 1 до тех пор, пока не останется один критерий – комплексный критерий оценки экологической безопасности.

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.

Полученная по результатам оценивания в 2001 году комплексная оценка риска  $K_{15}$  была равна четырем, что является очень высоким показателем. По результатам оценивания руководством Заповедника было принято решение о необходимости выработки мер по снижению рисков до уровня, соответствующего значению комплексной оценки  $K_{15}$ , равного двум. Анализ затрат на снижение уровня  $K_1$ - $K_8$  локальных рисков позволил определить наиболее экономный вариант снижения рисков за счет уменьшения значений показателей до  $K_1 = 2$ ,  $K_6 = 2$ ,  $K_7 = 2$ ,  $K_8 = 2$ . Для достижения данных значений были приняты меры по улучшению оперативности оповещения инспекторов, эффективности тушения возгораний за счет приобретения современных средств связи, новых транспортных средств, эффективных

средств тушения пожаров и профилактических мер. Данные управляющие воздействия привели к существенному снижению площадей горения. Была изменена кадровая политика, состав инспекторов пополнился молодыми кадрами со специальным образованием, проводилось дополнительное обучение, что позволило сделать режим охраны более строгим.

К сожалению, к 2006 году достичь значения комплексной оценки  $K_{15} = 2$  не удалось, но существенное улучшение значений показателей  $K_1$ - $K_8$  привело к улучшению и комплексной оценки в 2006 году до значения  $K_{15} = 3$ .

Благодаря применению методики комплексной оценки эффективности управления (см. [4]) в сочетании с методикой оценки уровня экологической безопасности заповедника были определены стратегические направления управления, в частности, в вопросах распределения ресурсов и стимулирования сотрудников.

#### **4. Заключение**

Итак, для решения задач управления экологической безопасностью Заповедника был разработан комплекс математических моделей и методик, включающих в себя:

- модель Заповедника, как метасистемы, состоящей из природного комплекса и системы управления,
- постановку двухкритериальной задачи синтеза управлений, минимизирующих риск при заданном уровне эффективности управления,
- перечень показателей для экспертной оценки угроз и расчета мощности и актуальности рисков этих угроз,
- процедуры агрегирования рисков в комплексную оценку с помощью матричных сверток,
- алгоритмы минимизации затрат на достижение заданной оценки риска для определения оптимального набора управляющих воздействий.

Результат оценки позволяет выработать оптимальный набор управляющих воздействий на природный комплекс и внешнюю

среду заповедника, приводящих к повышению уровня экологической безопасности для его территории.

Применение данной методики и планирование уменьшения экологического риска по результатам расчетов 2001 года привело к тому, что принятые управляющие воздействия действительно уменьшили значение комплексного показателя экологической безопасности заповедника на единицу к 2006 году.

Периодический расчет по данным методикам с интервалом в 5 лет позволяет оценить эффективность управления за период и наметить новые стратегические направления управления.

### **Литература**

1. АНДРОННИКОВА Н.Г., БУРКОВ В.Н., ЛЕОНТЬЕВ С.В. *Комплексное оценивание в задачах регионального управления*. М.: ИПУ РАН, 2002. – 54 с.
2. БУРКОВ В.Н., ГРИЦИАНСКИЙ Е.В., ДЗЮБКО С.И., ЩЕПКИН А.В. *Модели и механизмы управления безопасностью*. М.: СИНТЕГ, 2001. С.55 - 78.
3. БУРКОВ В.Н, НОВИКОВ Д.А. *Как управлять организациями*.: СИНТЕГ, 2004. С.296 – 357.
4. ГУБКО Г.В. *Модели и механизмы управления особо охраняемыми природными территориями*. Миасс: Геотур, 2002. – 121 с.
5. ГУБКО Г.В. *Модели и механизмы управления виртуальными организационными системами // Управление большими системами*. Выпуск 19. М.: ИПУ РАН, 2007. С. 154-173.
6. НОВИКОВ Д.А. *Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем*. М.: Фонд “Проблемы управления”, 1999. С. 79 – 90.

7. 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.

*Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии Д.А. Новиковым.*