

## ЗАЩИТА ЛЕСА КАК СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ИГРА

**А.К. Гуц, Л.А. Володченкова**

Предлагается планирование мероприятий по защите леса рассматривать как стратегическую игру с «природой» в рамках математической теории игр.

Защита лесных насаждений является важной задачей лесных управлений регионов. Любое лесозащитное мероприятие требует финансовых вложений, и, естественно, соответствующие денежные инвестиции должны быть эффективно потрачены.

Лесозащитные мероприятия — это обширный перечень работ, которые должны быть проведены в определённые периоды времени года работниками региональных Лесных управлений в соответствии с разработанными и утверждёнными Лесными планами.

Природа может приносить неожиданные сюрпризы, которые сводят на нет некоторые проведённые лесозащитные мероприятия, что следует рассматривать как напрасно потраченные деньги, т.е. следует рассматривать как убытки, понесённые лесным управлением региона.

Если взглянуть на отношения Природы и Лесного управления с точки зрения теории игр, то убытки лесного управления — это выигрыш игрока, именуемого «природа». Сама игра с «природой» проходит в условиях неопределённости, т.е. отсутствия полной информации о стратегиях игрока «природа» [1].

В игре «природы» и Лесного управления, у каждого из этих игроков можно перечислить разные стратегии поведения, в соответствии с которыми они делают свои ходы, которые означают выигрыш Лесного управления, когда лесозащитное мероприятие было своевременным и деньги потрачены не зря, либо проигрыш, если «природа», «выбрав» свою стратегию, сделала ход, который нанёс убыток Лесному управлению. Игру можно рассматривать как игру с нулевой суммой, когда выигрыш одного игрока равен проигрышу другого.

Для проведения игры с «природой» надо знать набор стратегий Лесного управления  $LZ_1, \dots, LZ_m$ , набор стратегий (ходов) «природы» —  $L_1, \dots, L_n$ , результаты игры  $a_{ij}$  при каждой паре стратегий  $LZ_i, L_j$ , которые являются убытками ( $a_{ij} < 0$ ) Лесного управления по реализации лесозащитных мероприятий, если «природа» выбрала ход  $L_i$  и для которого стратегия защиты  $LZ_j$  была

провальной, или выигрышем ( $a_{ij} > 0$ ), если лесозащитные мероприятия обеспечили удачную защиту леса.

Впрочем, можно рассматривать биматричную игру, если проигрыш одной стороны не является, в общем, выигрышем другой.

Если Лесное управление обладает вероятностями стратегий «природы» —  $p(L_j)$ , то наилучшей стратегией защиты леса будет такая стратегия  $LZ_i$ , при которой будут минимальны средние потери, т.е. будет минимальна сумма:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot p(L_j).$$

Можно надеяться, что вероятности  $p(L_j)$  могут быть определены по результатам многолетних статистических исследований, но на то «природа» и является непредсказуемым игроком, что она всегда может преподнести людям неприятный сюрприз.

Теоретически мы можем выбрать оптимальную стратегию поведения, сводящую убытки к минимуму, и без знания вероятностей  $p(L_j)$ , если построим игровую матрицу  $(a_{ij})$ , в которой результатами игры являются материальные потери от сюрпризов «природы».

Таблица 1. Платёжная матрица и вероятности

	$L_1$	$L_2$	...	$L_m$
	$p(L_1)$	$p(L_2)$	...	$p(L_m)$
$LZ_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1m}$
$LZ_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2m}$
...	...	...	...	...
$LZ_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nm}$

Для этого необходимо воспользоваться той или иной рекомендацией теории игр, сводящейся к уточнению, что мы понимаем под оптимальной стратегией, и какую стратегию имеем в виду — чистую или смешанную.

## 1. Стратегии «природы»

Неприятным сюрпризом для благополучного развития леса могут быть следующие ходы (стратегии) «природы»:

**Стратегия  $L_{\text{пожары}}$**  — лесные пожары как следствие небрежности людей или засухи.

**Стратегия  $L_{\text{неблаг.пог.усл.}}$**  — неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы (малоснежная зима, засуха, ураганные ветры, изменение уровня грунтовых вод (переувлажнения почвы), заморозки и другие).

**Стратегия  $L_{\text{лесопат.}}$**  — лесопатологические факторы, размножение вредных организмов и болезни леса.

**Стратегия**  $L_{\text{антропоген}}$ . – антропогенные воздействия на лес. Хотя этот фактор порождён людьми, а не Природой, мы относим его игроку «природа», поскольку антропогенные воздействия человека на леса складываются из промышленных выбросов, вырубки лесов, распашки полей, истребления или переселения животных и растений, загрязнения воды, почвы и атмосферы, которые на момент их задействования никаким образом, как правило, не учитывали их будущего отрицательного проявления в окружающих лесах.

Промышленные выбросы наносят большой вред растениям, вызывая общее угнетение их роста и развития в результате нарушения деятельности устьиц, разрушения протоплазмы, подавления процессов деления клеток, фотосинтеза, нарушение водообмена.

**Стратегия**  $L_{\text{непат}}$ . – непатогенные факторы, которые вызывают ослабление состояния деревьев, но не приводят насаждения к гибели. В эту группу факторов отнесены: межвидовая и внутривидовая конкуренция, затенения, охлест, ошмыг и другие. Процесс воздействия непатогенных факторов на естественное отмирание деревьев с возрастом леса имеет характерную особенность: вначале отмирание идёт очень быстрыми темпами, а затем все более и более замедляется. [2, с. 113];

**Стратегия**  $L_{\text{жив}}$ . – повреждение (вытаптывание) растений животными.

## 2. Стратегии Лесного управления

Стратегии Лесного управления сведём к следующим мероприятиям:

**Стратегия**  $LZ_{\text{пожар}}$  – противопожарные мероприятия:

– санитарная очистка леса (от усыхающих и сухостойных деревьев и кустарников, буреломов и скоплений сухих веток).

– создание противопожарных барьеров — разделение лесных массивов, препятствующее распространению огня;

– создание противопожарных водоёмов — в местах очень опасных в пожарном отношении.

**Стратегия**  $LZ_{\text{защ.леса}}$  — защита лесов от вредных организмов достигается за счёт:

– лесопатологических обследований, повышения оперативности выявления и качества диагностики неблагоприятных лесопатологических факторов в процессе лесопатологического мониторинга;

– своевременного и качественного проведения санитарно-оздоровительных мероприятий;

– повышения эффективности мероприятий по локализации и ликвидации очагов массового размножения вредных организмов.

**Стратегия**  $LZ_{\text{уход за лесом}}$  – санитарно-оздоровительные мероприятия (сплошные санитарные рубки, выборочные санитарные рубки, уборка от захламлённости).

**Стратегия**  $LZ_{\text{лесовост}}$ . – воспроизводство лесных ресурсов в многолесных районах и лесоразведение, лесовосстановление, повышение до оптимального уровня лесистости в малолесных районах и безлесных районах региона.

**Стратегия**  $LZ_a$  — снижение антропогенных воздействий:

- установка очистительных фильтров, строительство очистительных сооружений,
- совершенствование технологий производства,
- проведение санитарно-оздоровительных мероприятий.

### 3. Пример игры. Белозёрское лесничество

Рассмотрим в качестве примера защиту леса в Белозёрском лесничестве Курганской области.

Рассматриваем биматричную игру, иначе говоря, выигрышные функции для Лесного управления — игрока 1 и «природы» — игрока 2 — различны.

Таблица 2. Платёжная матрица

$1 \setminus 2$	$L_1$	$L_2$	...	$L_m$
$LZ_1$	$[a_{11}, b_{11}]$	$[a_{12}, b_{12}]$	...	$[a_{1m}, b_{1m}]$
$LZ_2$	$[a_{21}, b_{21}]$	$[a_{22}, b_{22}]$	...	$[a_{2m}, b_{2m}]$
...	...	...	...	...
$LZ_n$	$[a_{n1}, b_{n1}]$	$[a_{n2}, b_{n2}]$	...	$[a_{nm}, b_{nm}]$

Выигрыши в смешанных стратегиях  $s = (p_1, \dots, p_n)$  и  $\sigma = (q_1, \dots, q_m)$  игроков 1 (Лесное управление) и 2 («природа») соответственно равны

$$sA\sigma^T \text{ и } sB\sigma^T,$$

где  $A = (a_{ij}), B = (b_{ij})$ .

Таблица 3. Расходы на выполнение лесного плана Курганской области в 2012 году

Прогнозируемые расходы на выполнение мероприятий Лесного плана в области охраны, защиты, воспроизводства лесов на территории лесного фонда лесничеств в 2012 году

(тыс. руб.)

№ пл	Мероприятия	Белозерское	Варгашиинское	Глядянское	Далматовское	Каргапольское	Курганское	Куртамышское	Петуховское	Шадринское	Шатровское	Шумихинское	Юргамышское	ИТОГО
1.	Охрана лесов от пожаров	6346,8	8686,0	7652,1	10960,2	17800,4	20647,9	7518,7	6661,8	5304,7	9969,1	8247,1	6176,3	115970,9
2.	Защита лесов	11113,5	35298,5	28887,3	13198,5	21758,5	53020,2	33412,8	22150,3	21269,0	8964,3	45703,5	22847,3	317623,8
3.	Лесовосстановление, всего	22094,8	19111,1	9959,7	25709,1	46838,3	49843,8	36471,3	19794,2	10022,7	25990,5	31401,2	25950,5	323187,4
4.	Уход за лесами, всего, в том числе:	12466,0	4941,7	3023,5	9116,1	13924,9	12339,8	19438,2	14402,5	2067,6	9050,8	12942,9	9946,4	123660,5
5.	Заготовка семян лесных растений, всего	150,0	300,0	240,0	150,0	450,0	1560,0	180,0	150,0	150,0	360,0	450,0	300,0	4440,0
6.	Закладка лесосеменной плантации	-	-	-	-	-	532,0	-	-	-	-	-	-	532,0
7.	Выращивание стандартного посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения, всего	863,2	604,2	690,5	431,6	1961,8	7297,7	863,2	259,0	1255,5	1412,5	941,6	863,2	17443,9
8.	Отвод лесосек	1473,1	1622,2	1028,6	1162,7	1931,3	2759,8	2521,7	866,1	1213,5	1777,0	1566,3	1548,7	17922,3
9.	Лесоустройство	-	9210,0	-	-	-	2100,0	-	6315,0	-	-	6465,0	9885,0	33975,0

Для Лесничества это планируемые расходы по разным статьям (см. табл. 3), а для «природы» — ущерб в тыс.руб, наносимый лесу в случае, когда те или иные природные аномалии оказались неприятным сюрпризом для лесников.

Отдельной стратегией Лесного управления являются расходы на проведение научных исследований по разработке противодействий на случай развития различных природных аномалий.

Рассмотрим следующую матрицу игры:

Стратегии лесного управления	$L_{пожары}$	$L_{лесопат.}$	$L_{непат.}$	$L_{антроп.,жив.}$	$L_{неблаг.пр.усл.}$
$LZ_{пожар}$	[6346,10000]	[0,100]	[0,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{защ.леса}$	[0,10000]	[11113,100]	[0,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{уход за лес}$	[0,10000]	[0,100]	[12466,50]	[0,2000]	[0,500]
$LZ_{лесовосстан.}$	[0,10000]	[0,100]	[0,50]	[22094,2000]	[0,500]
$LZ_{науч.исслед.}$	[200,0]	[100,0]	[100,0]	[50,0]	[1000,0]

Для вычислений результатов игры используем программу Gambit, созданную R.D. McKelvey, F.M. McLennan и T.L. Turocy.

Данная игра имеет 17 равновесий Нэша, которые приведены в табл. 4, рассчитанных по методике, рекомендованной в программе Gambit. Мы видим, что во всех равновесиях все стратегии Лесного управления — чистые  $s = (1 : 1, \dots, 1 : 5)$ , а стратегии «природы», как правило, смешанные —  $\sigma = (2 : 1, \dots, 2 : 5)$ .

Таблица 4. Решения биматричной игры (равновесия Нэша)

#	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	2:1	2:2	2:3	2:4	2:5
1	0	0	0	0	1	95649522932875 802591584670231	54619983130750 802591584670231	48691791475375 802591584670231	27473154364625 802591584670231	576157132766606 802591584670231
2	0	0	0	0	1	8606993875 67797498412	0	4381516375 67797498412	2472163625 67797498412	52396824537 67797498412
3	0	0	0	0	1	0	0	1380875 19196944	779125 19196944	1064809 1199809
4	0	0	0	0	1	30691327750 243468304339	17526065500 243468304339	0	8815387250 243468304339	186435524439 243468304339
5	0	0	0	0	1	2781750 20489053	0	0	793250 20489053	16334053 20489053
6	0	0	0	0	1	0	0	0	250 5761	5511 5761
7	0	0	0	0	1	0	5523500 68993143	0	2778250 68993143	60691393 68993143
8	0	0	0	0	1	34633664500 281159441667	19777309000 281159441667	17630774500 281159441667	0	69705897889 93719813889
9	0	0	0	0	1	3116500 23698359	0	1586500 23698359	0	18995359 23698359
10	0	0	0	0	1	0	0	500 6683	0	6193 6683
11	0	0	0	0	1	5556500 42562449	3173000 42562449	0	0	39832949 42562449
12	0	0	0	0	1	500 3573	0	0	0	3073 3573
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	1	0	1000 12013	0	0	11013 12013
15	0	0	0	0	1	0	6233000 79877879	5556500 79877879	0	88088379 79877879
16	0	0	0	0	1	0	17213987750 228828227647	15345663875 228828227647	8658416125 228828227647	187610159897 228828227647
17	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0

То, что все стратегии Лесного управления чистые, можно объяснить тем, что деньги по всем пунктам (по всем стратегиям) не поступали сразу, а пере-

числялись поэтапно, в разные календарные сроки, и после поступления денег лесничество и реализовало соответствующую стратегию.

Природа, напротив, создаёт критические ситуации не поэтапно, а стихийно, и часто это одновременно и вредители, и антропогенные воздействия, и подтопления лесов (или засуха). Отсюда повсеместное задействование смешанных стратегий.

Самая интересная партия — это 17-е равновесие. Природа создаёт условия для пожара, а Лесное управление своевременно подготовилось к борьбе с пожаром.

Выигрыш Лесного управления, а точнее расходы на противопожарные мероприятия в данной партии равны 6346 тыс. руб., а выигрыш «природы», т.е. потенциально наносимый ущерб лесам от пожара — 10 000. Можно думать, что расходы Лесного управления и противопожарные мероприятия на эти деньги были проведены своевременно, и пожар был ликвидирован без большого ущерба. Если же противопожарные мероприятия не были осуществлены из-за отсутствия денег в лесничестве, то ущерб от лесных пожаров составляет 10000 тыс. руб.

Забавно, но в данной игре основная стратегия Лесного управления — это траты на научные исследования. Иначе говоря, работникам научных госучреждений зарплату платят исправно, помнят об угрозе пожаров, а вот на прочие лесозащитные мероприятия денег не хватает.

В 13-й равновесной партии выигрыш «природы» нулевой, но она никаких неприятностей не приносила (ставила на науку :)), Лесное же управление исправно выплатило зарплату учёным в размере 1000 тыс.руб. Ситуация вполне реальная и обыденная.

В 1-й равновесной партии выигрыш «природы», когда она «наступает по всем фронтам», нулевой, а расходы Лесного управления составляет (приблизительно) 775 тыс.руб. Напомним, что планируемые расходы на науку равны 1550 тыс.руб.

#### **4. Заключение**

В статье лишь продемонстрирована возможность применения теории игр к решению важной задачи по защите лесных насаждений. Очевидно, что требуются многочисленные компьютерные эксперименты с реальными данными, находящимися в распоряжении Лесных управлений для того, чтобы получить веские аргументы в пользу использования теории игр в практике региональных лесных управлений.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Луньков А.Д. Теория игр. Саратов : изд-во СГУ, 2008. 70 с.
2. Лесной план Курганской области. Приложение к распоряжению Губернатора Курганской области от 29 декабря 2008 года № 553-р «Об утверждении Лесного плана Курганской области».