

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ, ОСНОВАННОЕ НА ТЕОРИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ИГР

Володченкова Л.А.

доцент, канд. биол. наук
Омский государственный университет
им. Ф. М. Достоевского,
Россия, Омск

Гуц А.К.

профессор, докт. физ.-мат. наук
Омский государственный университет
им. Ф. М. Достоевского,
Россия, Омск

Предлагается запланированные мероприятия по поддержанию и защите леса от заболеваний и вредителей, пожаров и подтоплений предварительно апробировать на модели, созданной в рамках математической теории стохастических игр.

Ключевые слова: лесные экосистемы, управление лесозащитными мероприятиями, теория стохастических игр.

Поддержание и защита лесных экосистем является важной задачей лесных управлений регионов. Мы предлагаем модель принятия решений, относящихся к ведению лесных управлений регионов, основанную на стохастических играх [1].

Стохастическая игра – это многошаговая игра, в которой имеется несколько игровых состояний, и переход от одного состояния к другому совершается с определенной вероятностью. Игроки совершают действия. В начале каждого шага игра находится в некотором состоянии. Игроки выбирают свои действия и получают выигрыши, зависящие от текущего состояния и действий. После этого система переходит случайным образом в другое состояние, распределение вероятности переходов зависит от предшествующего состояния и действий игроков. Эта процедура повторяется в течение конечного или бесконечного числа шагов. При конечном числе игроков, конечных множествах действий и состояний игра с конечным числом повторений всегда имеет равновесия Нэша, которые являются вариантами возможных управленческих решений по сохранению лесов. Окружающая внешняя среда, включающая как

природные условия, так и следствия антропогенной деятельности, рассматривается как игрок **Attacker**, называемый традиционно «Природой». Он противостоит другому игроку – **Workers**, под которым понимаются работники Лесного управления региона, координирующего и направляющего деятельность лесхозов (лесничеств), расположенных на территории региона, и работники лесхозов (лесничеств). Предлагаемая стохастическая игра позволяет заранее проигрывать на компьютерах всевозможные сложные ситуации, имеющие место в практике лесхозов: пожары, затопления, болезни, нашествие вредителей.

В игре территории лесхозов поделены на лесничества, которые в свою очередь поделены на кварталы и выделы. В нашей работе мы ограничились только одним лесничеством, которое следит за своими лесными кварталами и взаимодействует с лесным управлением. Рассматриваем леса региона в виде некоторого графа. Вершины графа являются такими объектами как внешняя окружающая агрессивная среда (вершина E), лесничество, относящееся к данному региону (вершина L), лесное управление (вершина U), квартал (вершина K). Ребра графа представляют пути непосредственного взаимодействия между рассматриваемыми объектами. Например, внешняя среда (узел E) имеет прямое воздействие l_{EL} на леса лесничество.

Состояния игры. Это множество

$P \subset \{ \text{Антиболезни, Антивредители, Антипожар, Мониторинг _ заболеваний} \\ \text{вредных _ организмов, Борьба _ вытравыванием _ растений _ животными,} \\ \dots, process \},$

состоящее их перечня профинансированных запланированных лесозащитных мероприятий, данных под условными наименованиями. Буквами s, v, f, h, \dots помечать будем «Антиболезни», «Антивредители», «Антипожар» и пр. (*process* – это тип, проводимых лесничеством лесозащитных работ);

1) $a \in \{u, c\}$ – переменная, представляющая состояние леса, отраженной в записи в «Карточки лесопатологической таксации», заведенной для каждого

квартала, входящего в лесничество; выбирается u , если в строке «Причины ослабления насаждения» нет кода, говорящего о неблагоприятном состоянии леса, и выбирается c , если есть код, говорящий о неблагоприятии;

2) $d \in \{c, i\}$ – переменная, представляющая состояние данных в вершине графа; c – полная деградация леса, i – нет признаков деградации леса,

Вводим состояния системы «Среда-Управление-лесничество-квартал» $S = \{n_L, n_U, n_K, t\}$, где

$$n_X = (P, a, d), \quad X \in \{L, U, K, E\},$$

и t – состояние взаимодействий в системе.

Следовательно, если $n_L = (\{ \text{Антиболезни, Антивредители, Анти...} \}, c, i)$, то это говорит, что в лесничестве получены средства под программы *Антиболезни*, *Антивредители*, *Анти...*, состояние леса в некоторых кварталах находятся под угрозой, но отсутствуют кварталы с полностью деградированным лесом.

Скорость, с которой передаются воздействия от одного элемента системы к другому (traffic) для системы в целом, представляется состоянием взаимодействия $t = \langle \{l_{XY}\} \rangle$, где X и Y – вершины графа сети кварталом и $l_{XY} \in \{0, 1/3, 2/3, 1\}$ указывает на качество осуществляемого взаимодействия данному каналу. Цифра 1 говорит о задействовании максимума возможностей, 0 – отсутствие воздействия. Для взаимодействия между вершинами графа сети, характеризуемого как *нормальное*, берем $t = \langle 1/3, 1/3, 1/3, 1/3 \rangle$.

Действия игры. Действия внешней среды и лесного управления заставляют систему переходить из одного состояния в другое с определенной вероятностью. Отдельно взятое действие внешней среды может быть любой частью из его стратегии «нападения», такой как, например, возгорание леса (пожар). Подобные действия природы воспринимаем как **атаку** на лес. Поэтому для воздействий внешней среды закрепим термин **Attacker**. Когда игрок ничего не делает, мы обозначаем это бездействие как \emptyset . Совокупность действий внешней среды

состоит из всех действий, которые он может совершить во всех состояниях:

$$A^{Workers} = \{ \text{Заболевание_леса, Нашествие_вредных_органомов, Начать_пожар, Подтопление, Лес_гибнет, Заболевание_леса_и_нашествие_вредителей, Добавить_источник_загрязнения, Вытаптывание_растений_животными, Засушливая_погода, Деньги_не_дошли_до_лесничества, "Пустой"_бюджет_Лесного_управления, \dots, \emptyset \}.$$

Действия внешней среды в каждом состоянии – это подмножество множества $A^{Attacker}$. Действия для работников лесного управления и лесничества главным образом сводятся к профилактическим или восстановительным мерам. Множество действий работников (workers) таково:

$$A^{Workers} = \{ \text{Уничтожить_вредные_организмы_и_очаг_болезни, Мониторинг_болезней_и_вредителей, Устранить_источник_загрязнений, Восстановить_лесонасаждение, Борьба_с_подтоплением_леса, Борьба_с_вытаптыванием_леса_животными_и_болезнями, \dots, \emptyset \}$$

Квартал с проблемным лесом может быть попавшим в поле внимания Управления (лесничества), а может быть и незамеченным (плохая работа лесничих, отсутствие финансирования). Когда неблагоприятная ситуация незамечена, мы моделируем ситуацию как ситуацию нахождения Управления (лесничество) в состоянии бездействия \emptyset . Мы предполагаем, что Управление не знает, есть ли факт угрозы лесу или нет. Следует учитывать, что внешняя среда может иметь несколько стратегий, о которых не знает Управление. Более того, не все действия внешней среды могут наблюдаться.

Вероятности переходов. Необходимые вероятности следует находить, используя дополнительные исследования и накапливая необходимую статистику.

Платежи, затраты и вознаграждения. Затраты (отрицательные значения) и вознаграждения (положительные значения) связаны с действиями внешней среды и **Workers**. Для действий внешней среды вознаграждения равны оценке понесенного урона, которые нанесен квартальной сети. Серьезность потери важных лесных ресурсов характеризуется очень высоким вознаграждением за действие природы, которое приводит к состоянию, в котором реализуется печальное событие. Например, в нашей игре брали вознаграждение 999.

Стратегии и сценарии «атак». Наша цель – найти пару смешанных стационарных равновесий Нэша $p_*^{Attacker}$, $p_*^{Workers}$, состоящие из действий, которые соответствуют стратегиям игроков «Природа» и **Workers**. Мы рассмотрели два варианта разных сценариев «нападения Природы» на квартальную сеть, первый из которых связан с катастрофическим размножением вредных организмов и болезнью леса [2], а второй – с пожарами и затоплениями.

Результаты моделирования. Применение программы *NLP-1* позволило найти равновесие Нэша для различных сценариев нападения на квартальную сеть. Стратегия игрока состоит из распределения вероятности по набору действия для каждого состояния. Например для состояния «Лес болен»

$$p_*^{Attacker} = [0,33;0,33;0,33], p_*^{Workers} = [1,00;0,00;0,00]$$

и соответствующие вознаграждение и затраты $v_{Attacker}^1 = 106,7$; $v_{Workers}^2 = -106,1$.

Для игрока «Природа» действия таковы: $A_{Лес_болен}^{Attacker} = \{\emptyset, \emptyset, \emptyset\}$. Действия игрока **Workers** – { Уничтожить_вредные_организмы_и_очаг_болезни, \emptyset, \emptyset }.

Исследование показало, что теория стохастических игр достаточно хорошо описывает, например, гибель леса от болезни и вредителей, а также действия людей по восстановлению насаждений после пожаров и подтоплений.

Список литературы

1. Володченкова, Л.А. Защита леса как стохастическая игра [Текст] / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Математические структуры и моделирование. – 2014. – №2 (30). – С. 49-61.
2. Володченкова, Л.А. Защита леса от болезней и вредителей с точки зрения теории игр [Текст] / Л.А. Володченкова, А.К. Гуц // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. – 2016. – №.1. – С. 110-123.