

## Интегральная математическая модель оценки эколого-экономического ущерба лесных экосистем от пожаров с учетом уровня развития транспортной сети

Р.Н. Ковалев<sup>1a</sup>, И.М. Еналеева-Бандура<sup>2b</sup>, А.Н. Баранов<sup>2c</sup>, В.А. Иванов<sup>3d</sup>, С.А. Чжан<sup>3e</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва, пр. «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> rkv@usfeu.ru, <sup>b</sup> melnikov1978@inbox.ru, <sup>c</sup> aleksandr-baranov-55@mail.ru, <sup>d</sup> ivanovva55@mail.ru, <sup>e</sup> schzan@rambler.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8928-8765>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1333-6235>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8163-0730>

Статья поступила 03.11.2020, принята 20.11.2020

*В условиях современной экономики среди первостепенных задач, стоящих перед лесной отраслью, одной из приоритетных является задача сохранения лесных экосистем от негативного воздействия пожаров. Данная задача обусловливается прежде всего поиском действенных в практическом применении способов определения эффективности лесохозяйственных и противопожарных мероприятий, призванных обеспечить снижение величины эколого-экономического ущерба от пожаров, при этом уровень развития транспортных сетей имеет решающее значение. Ввиду отсутствия в научной литературе подхода к определению величины общего эколого-экономического ущерба от лесных пожаров, учитывающего многостороннее назначение лесных благ и зависимость достижения эффективности лесохозяйственных и противопожарных мероприятий от уровня развития транспортной сети, можно утверждать, что разработка интегральной математической модели оценки эколого-экономического ущерба от пожаров с учетом планирования создания и развития транспортной сети является актуальным научным направлением. В этой связи в статье обозначена сопряженность показателя величины общего эколого-экономического ущерба лесных экосистем от пожаров с уровнем развития транспортной сети, поскольку транспортные сети представляют собой средство достижения очагов возгорания наземным путем. В свою очередь, эффективность противопожарных мероприятий рассматривается в статье как отношение суммарной величины предотвращенного ущерба землям лесного фонда к капиталовложениям в транспортную сеть. С учетом отмеченных зависимостей в статье приведена разработанная авторами математическая модель и обозначена область ее применения. В основу методологической разработки положены инструментарий экономико-математического моделирования, элементы комбинаторики и комплексный подход.*

**Ключевые слова:** эколого-социально-экономический ущерб; транспортная система; земли лесного фонда; лесная дорожная сеть; лесные пожары.

## An integrated mathematical model for assessing the ecological and economic damage to forest ecosystems from fires, taking into account the level of transportation network development

R.N. Kovalev<sup>1a</sup>, I.M. Enaleeva-Bandura<sup>2b</sup>, A.N. Baranov<sup>2c</sup>, V.A. Ivanov<sup>3d</sup>, S.A. Chzhan<sup>3e</sup>

<sup>1</sup> Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Tract St., Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> rkv@usfeu.ru, <sup>b</sup> melnikov1978@inbox.ru, <sup>c</sup> aleksandr-baranov-55@mail.ru, <sup>d</sup> ivanovva55@mail.ru, <sup>e</sup> schzan@rambler.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8928-8765>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7032-9512>,

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1333-6235>, <sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

<sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8163-0730>

Received 03.11.2020, accepted 20.11.2020

*In the conditions of the modern economy, among the primary tasks facing the forest industry, one of the priorities is the task of preserving forest ecosystems from the negative effects of fires. This task is primarily due to the search for effective in practical application ways to determine the effectiveness of forestry and fire-fighting measures designed to reduce the amount of environmental and economic damage from fires, while the level of development of transport networks is of decisive importance. Because of the absence in the scientific literature of an approach to determining the value of the total ecological and economic damage from forest fires, taking into account the multifaceted purpose of forest benefits and the dependence of achieving the effectiveness of forestry and firefighting measures on the level of development*

of the transport network, it can be argued that the development of an integral mathematical model of assessment environmental and economic damage from fires, considering the planning of the creation and development of the transport network, is an urgent scientific direction. In this regard, the article indicates the conjugation of the indicator of the value of the total ecological and economic damage to forest ecosystems from fires with the level of development of the transport network, since transport networks are a means of reaching the foci of fire by land. In turn, the effectiveness of fire-prevention measures is considered in the article as the ratio of the total amount of prevented damage to the lands of the forest fund to investment in the transport network. Taking into account the noted dependencies, the article presents the mathematical model developed by the authors and indicates the area of its application. The methodological development is based on the tools of economic and mathematical modeling, elements of combinatorics and an integrated approach.

**Keywords:** environmental, social and economic damage; transport system; forest lands; forest road network; forest fires.

**Введение.** Лесные пожары можно охарактеризовать как одну из наиболее опасных экологических катастроф, от возникновения и распространения которых страдают не только лесная флора и фауна, почва, атмосфера, но и прилегающие к лесным землям территории населенных пунктов. В связи с обозначенным обстоятельством тушение лесных пожаров необходимо, но высокзатратно. Высокая затратность тушения возгораний на лесных землях обуславливается прежде всего отсутствием транспортной сети, наличие которой способствовало бы не только тушению пожаров и проведению необходимого комплекса лесовосстановительных работ в послепожарный период с наименьшими затратами, но и обеспечивало бы оперативное проведение противопожарных мероприятий. Следовательно, ущерб лесам от пожаров можно в основном отнести к потерям в лесном хозяйстве от бездорожья. В данном контексте необходимо отметить, что осуществлять оценку эффективности противопожарных мероприятий невозможно без учета уровня развития транспортной сети на территориях лесного фонда (ТСЛФ), поскольку именно транспортная доступность обеспечивает качество проведения указанных мероприятий.

Таким образом, разработка интегральной математической модели оценивания эколого-экономического ущерба лесным экосистемам с учетом уровня развития транспортной сети на основе комплексного подхода к данной оценке является актуальным научным направлением. Тем не менее, до настоящего времени в научных трудах отсутствуют надежные и универсальные модели определения эколого-экономического ущерба от лесных пожаров на основе комплексного подхода, учитывающие влияние данного фактора.

**Объекты и методы исследования.** С точки зрения экономики ущерб лесным экосистемам от пожаров представляет собой интегральную величину суммарных издержек от проведения противопожарных лесовосстановительных мероприятий в послепожарный период и общей экономической стоимости потерянных лесных благ с учетом динамической составляющей.

Динамика величины ущерба лесным экосистемам в Российской Федерации приведена в табл. [7].

Динамика величины ущерба лесных экосистем в Российской Федерации

Величина ущерба лесных экосистем в год, млрд р.	Годы
≈ 20,0	2019
16,9	2018
25,2	2017

23,7	2016
56,4	2015
23,8	2014

Анализируя данные источников [10–14 др.] и таблицы, несложно прийти к следующим выводам:

– потери древесного сырья в рамках совокупного ущерба лесным экосистемам составляют около 17,86 % от отмеченного ущерба;

– потери лесного хозяйства, связанные с противопожарными и лесовозобновительными мероприятиями, составляют 82,14 % от величины совокупного ущерба.

Следует отметить, что затраты на создание и эксплуатацию объектов противопожарного назначения составляют 15 % относительно величины потерь лесного хозяйства.

Учитывая вышеизложенное, очевидно, что разработка мероприятий по снижению величины ущерба лесным экосистемам можно определить как актуальную научную задачу. Таким образом, обуславливается необходимость разработки метода оценки данного ущерба с учетом наличия ТСЛФ, так как, согласно источнику [10], при наличии дорожной сети увеличивается количество возгораний, но снижаются площадь распространения лесных пожаров, а также размер причиненного ими ущерба.

В связи с актуальностью обозначенной научной задачи проблеме оценки ущерба от пожаров лесным экосистемам посвящено большое количество научных исследований [1–8; 10–25 и др.]. В основном в данных научных трудах предлагается оценивать последствия лесного пожара с экономической либо экологической точки зрения. В качестве экономической оценки выступают такие показатели, как величина снижения кадастровой стоимости лесоучастков либо величины совокупных затрат на ликвидацию очага возгорания, лесовосстановительные, противопожарные мероприятия и т. п. В рамках экологического критерия оценивания последствий лесных пожаров используются показатели, учитывающие сокращение полезных функций леса с позиции экологии, таких как средоформирующие, почвозащитные, социальные и т. п. Среди рассматриваемых научных трудов имеются работы, в которых рассмотрение ущерба от пожаров лесным экосистемам основано на базе эколого-экономического критерия [8; 9 и др.]. Но следует отметить, что в данной научной литературе отсутствуют исследования по теме сопряженности лесной экосистемы и лесотранспортной сети, которая, кстати, и позволяет провести весь комплекс лесохозяйственных мероприятий после лесных пожаров. В данной литературе также отсутствуют исследо-

вания в аспекте влияния наличия ТСЛФ на сокращение величины эколого-экономического ущерба, причиненного пожаром лесным экосистемам; ускорения процесса лесовосстановления; эффективность лесопользования и кадастровую стоимость лесных земель. Таким образом, возникает необходимость дальнейшего исследования по рассматриваемой проблеме.

Учитывая вышеизложенное, можно заключить, что разработка эффективного методологического аппарата определения эколого-экономического ущерба от лесных пожаров с учетом влияния уровня развитости лесной транспортной сети является актуальной научной задачей, для решения которой необходима выработка понятной и четкой постановки целевого функционала, а также грамотное определение области распределения величины отмеченного функционала в целях правильности введения в модель показателей системы ограничений методической разработки.

**Результаты и их обсуждение.** В предложенной нами математической модели величина эколого-экономического ущерба ( $Y_{\text{сум}}^{\text{общ}}$ ) от пожаров с учетом уровня развития транспортной сети и пространственно-временной динамики в лесных экосистемах определяется следующим выражением:

$$Y_{\text{сум}}^{\text{общ}} = \sum_{k=0}^K Y_k^{\text{общ}} \cdot S_k^{\text{выг}}$$

$$Y_k^{\text{общ}} = Z_{\text{т}} + \sum_{t=0}^T l_t^{\text{общ}} (Z_l^{\text{общ}} + P^{\text{с}} + Y^{\text{с}}) \cdot K_l^{\text{т}} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$S_k^{\text{выг}} = \vartheta_k \cdot t_{\text{л}} \cdot \prod_{g=1}^b g_b$$

$$t_{\text{л}} = t_{\text{об}} + t_{\text{оп}} + t_{\text{mob}} + t_{\text{д}} + t_{\text{п}} + t_{\text{т}} + t_{\text{к}} \rightarrow \min$$

где  $Y_k^{\text{общ}}$  — величина совокупного ущерба лесным экосистемам на 1 га лесных земель, пройденных  $k$ -м пожаром в рамках эколого-экономического критерия,  $p./\text{га}$ ,  $k \in (0, \dots, K)$ ;  $S_k^{\text{выг}}$  — площадь лесоучастка с  $l$ -м лесным ресурсом, пройденная  $k$ -м пожаром,  $\text{га}$ ;  $Z_{\text{т}}$  — совокупные затраты, связанные с тушением  $k$ -х пожаров на 1 га лесных земель,  $p./\text{га}$ ;  $Z_l^{\text{общ}}$  — совокупные издержки на восстановление  $l$ -го лесного ресурса,  $p./\text{га}$ ;  $P^{\text{с}}$  — совокупные потери валовой выручки по всем видам использования лесных ресурсов за полный период лесовозобновления,  $p./\text{га}$ ;  $Y^{\text{с}}$  — суммарный ущерб (прямой и косвенный) от повреждения ресурсов,  $p./\text{га}$ ;  $\prod_{g=1}^b g_b$  — рассматривается нами как произведение влияния различных факторов на интенсивность распространения  $k$ -го пожара по территории лесного фонда, таких как природно-климатические и географические условия, возможные временные потери при тушении  $k$ -го пожара и т. д.,  $g \in (1, \dots, b)$ ;  $\vartheta_k$  — скорость распространения  $k$ -го пожара по территории лесного фонда;  $t_{\text{л}}$  — общее время на ликвидацию  $k$ -го пожара на территории лесного фонда;  $t_{\text{об}}$  — время обнаружения  $k$ -го пожара;  $t_{\text{оп}}$  — время на оповещение о наличии  $k$ -го пожара;  $t_{\text{mob}}$  — время, затраченное на сборы и подготовку пожарных бригад;  $t_{\text{д}}$  — время доставки спецтехники и пожарных бригад к очагу возгорания, рассчитывается согласно уровню развития транспортной сети и зависит от наличия данной сети, скорости движения спецтехники, которая напрямую зависит от рельефа местности. Нормативное время доставки людей и спецтехники, состояние транспортной сети, качество содержания дороги и др. до подключения воздуш-

ных сил составляет 3 ч. Привлечение воздушных сил существенно повышает затраты на тушение  $k$ -го пожара на территории лесного фонда [13; 17];  $t_{\text{п}}$  — время подготовки к тушению  $k$ -го пожара на территории лесного фонда;  $t_{\text{т}}$  — время тушения  $k$ -го пожара на территории лесного фонда;  $t_{\text{к}}$  — время окарауливания, т. е. время на обнаружение и тушение скрытых очагов горения при  $k$ -м пожаре на территории лесного фонда;  $K_l^{\text{т}}$  — коэффициент временной коррекции восстановления  $l$ -го лесного ресурса (поправка на географическое положение, климатические условия и т. п.). Ввод в модель данного коэффициента обусловлен тем, что восстановление леса во многом зависит от климата — так, на севере сосне или лиственнице, чтобы вырасти во взрослое дерево, потребуется около 100 лет, а на юге — около 60–70 лет.

Совокупные затраты, связанные с тушением  $k$ -х пожаров, а также совокупные издержки на восстановление  $l$ -го лесного ресурса включают в себя расходы, предусмотренные действующим законодательством [18].

Формула определения величины совокупных потерь валовой выручки в результате возникновения  $k$ -го пожара по видам лесопользования за полный период лесовозобновления имеет вид:

$$P^{\text{с}} = \sum_{t=0}^T \frac{(P_{\text{г}} t + P_{\text{под}} t + P_{\text{поб}} t + P_{\text{пф}} t)}{(1+e)^T} \rightarrow \min$$

$$P_{\text{г}} t = \sum_{t=0}^T \sum_{l=1}^L C_l^{\text{с}} t \cdot Q_l^{\text{с}} t + C_l^{\text{м}} t \cdot Q_l^{\text{м}} t$$

$$P_{\text{под}} t = C^{\text{род}} \cdot K_{\text{р}}^{\text{об}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{поб}} t = 100 C_{\text{в}}^{\text{род}}$$

$$P_{\text{пф}} t = \sum_{t=0}^T (Q_{ij}^{\text{с}} t \cdot K_{ij}^{\text{пор}} t) \cdot C^{\text{в}}$$

$$T = \sum_{t=0}^T t$$

где  $P_{\text{г}} t$  — потери валовой выручки от реализации лесного сырья на 1 га лесных земель,  $p./\text{га}$ , на временной интервал  $t$ ;  $P_{\text{под}} t$  — потери от подсочки,  $p./\text{га}$ , на временной интервал  $t$ ;  $P_{\text{поб}} t$  — от побочного (разрешенного) лесопользования рассчитывается согласно источнику [9],  $p./\text{га}$ , на временной интервал  $t$ ;  $P_{\text{пф}} t$  — потери валовой выручки, получаемой посредством реализации углерододепонирующей функции лесов на 1 га леса,  $p./\text{га}$ , на временной интервал  $t$ ;  $C_l^{\text{с}} t$  — цена за потерянный  $l$ -й лесной ресурс на  $i$ -м гектаре  $l \in 1, \dots, L$ ,  $p./\text{га}$ , на временной интервал  $t$ ;  $C_l^{\text{м}} t$  — цена за потерянные вследствие пожара молодняки естественного и искусственного происхождения,  $p./\text{га}$ , на момент времени  $t$ ;  $Q_l^{\text{с}} t$  — объем потерянных лесных ресурсов,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $C^{\text{род}}$  — ставка податей за подсочку насаждений, на 1 га в год;  $K_{\text{р}}^{\text{об}}$  — коэффициент оборота рубки, принимается согласно источнику [9];  $C_{\text{в}}^{\text{род}}$  — коэффициент оборота рубки, принимается согласно источнику [9];  $K_{ij}^{\text{пор}} t$  — коэффициент поглощения  $\text{CO}_2$  лесами  $l$ -породы породы  $i$ -го гектара на временной интервал  $t$ ;  $Q_{ij}^{\text{с}} t$  — объем потерянных запасов лесов  $l$ -породы породы на  $i$ -м гектаре на временной интервал  $t$ ;  $C^{\text{в}}$  — цена функции поглощения  $\text{CO}_2$  на временной интервал  $t$ ,  $p./\text{га}$ ;  $e$  — коэффициент дисконтирования финансовых потоков;  $T$  — период восстановления лесных земель, лет;  $t$  — временной интервал восстановления  $l$ -го лесного ресурса,  $t \in 0, \dots, T$ , лет.

Формула определения величины совокупного ущерба, нанесенного  $k$ -м лесным пожаром, по видам ущерба за весь период восстановления лесных земель имеет вид:

$$y^c = \sum_{t=0}^T \frac{y_a + y_b + y_r + y_y + y_{ог}}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) \rightarrow \min \quad (3)$$

где  $Y_a$  — ущерб от экологических функций леса,  $p./\text{га}$ ;  $Y_b$  — ущерб от загрязнения атмосферы [9; 10 и др.],  $p./\text{га}$ ;  $Y_r$  — ущерб от гибели флоры и фауны (принимается согласно источнику [11]),  $p./\text{га}$ ;  $Y_y$  — ущерб, причиненный второстепенным лесным ресурсам,  $p./\text{га}$ ;  $Y_{ог}$  — стоимость сгоревших объектов и готовой продукции в лесу,  $p./\text{га}$ .

Важнейшим показателем, определяющим эффективность затрат, связанных с лесовосстановительными и противопожарными мероприятиями с учетом ТСЛФ, является величина предотвращенного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам. Отмеченный показатель находится в прямой зависимости от обозначенных затрат. Эти затраты снижают величину эколого-экономической оценки сохраненной от воздействия пожаров территории лесного фонда (предотвращенного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам), так как вышеуказанные денежные средства были затрачены в целях получения обозначенного эффекта. Учитывая вышеизложенное, взаимосвязь эколого-экономического ущерба лесным экосистемам посредством пожаров и эффективности затрат на охрану лесов от пожаров и борьбы с пожарами определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} y_{\text{сум}}^{\text{общ}} &= y_{\text{пр}}^{\text{общ}} - y_{\text{сум}}^{\text{пред}} \\ y_{\text{пр}}^{\text{общ}} &= \sum_{k=0}^K y_k^{\text{общ}} \cdot S_k^{\text{пр}} \\ S^{\text{сохр}} &= S_k^{\text{пр}} - S_k^{\text{выг}} \\ y_{\text{сум}}^{\text{пред}} &= S^{\text{сохр}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{сохр}} - \sum_{t=0}^T Z_{\text{стр}} + Z_{\text{охр}} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $Z_{\text{стр}}$  — совокупные затраты, связанные со строительством и эксплуатацией ТСЛФ по периодам времени  $t$  плюс необходимость создания дополнительной дорожной сети,  $p./\text{га}$ ;  $Z_{\text{охр}}$  — суммарные затраты, связанные с патрулированием лесной территории, пропагандой, содержанием штата лесной охраны и другими противопожарными мероприятиями,  $p./\text{га}$ ;  $C_{\text{общ}}^{\text{сохр}}$  — общая экономическая стоимость сохраненных лесных ресурсов, данная величина определяется показателями, обозначенными в выражении (2),  $p./\text{га}$ ;  $S_k^{\text{пр}}$  — прогнозируемая площадь участка леса с  $l$ -м лесным ресурсом, пройденная  $k$ -м пожаром (данную площадь нами предлагается определять посредством метода экспертных оценок специалистов отрасли. Согласно обозначенному методу  $S_k^{\text{выг}}$  принимается как фактическая площадь, пройденная  $k$ -м пожаром, которая определена уровнем развития транспортной сети,  $S_k^{\text{пр}}$  — возможная площадь распространения пожара по территории лесного фонда без учета ТСЛФ),  $\text{га}$ ;  $S^{\text{сохр}}$  — сохраненная площадь участка леса с  $l$ -м лесным ресурсом от воздействия  $k$ -го пожара (определяется как разность между прогнозируемой и фактической площадью выгорания территорий лесного фонда),  $\text{га}$ ;  $y_{\text{пр}}^{\text{общ}}$  — прогнозируемая величина эколого-экономического ущерба лесным

экосистемам посредством воздействия  $k$ -х пожаров,  $p.$ ;  $y_{\text{сум}}^{\text{пред}}$  — величина предотвращенного эколого-экономического ущерба лесным экосистемам посредством воздействия  $k$ -х пожаров,  $p.$

В аспекте оценивания эколого-экономического ущерба от пожаров лесным экосистемам также следует коснуться определения показателя эффективности противопожарных мероприятий, в том числе охраны и защиты лесов, поскольку данный показатель является результативным и определяет рентабельность капиталовложений инвестирующего предприятия в проект создания и развития ТСЛФ. Учитывая обозначенное обстоятельство, нами предлагается эффективность противопожарных мероприятий ( $\Phi_{\text{п}}^{\text{пр}}$ ) определять согласно выражению (5):

$$\Phi_{\text{п}}^{\text{пр}} = \frac{y_{\text{сум}}^{\text{пред}}}{Z_{\text{стр}}} \times 100\% \quad (5)$$

Предложенная нами интегральная математическая модель оценки эколого-экономического ущерба лесным экосистемам с учетом уровня развития транспортной сети на основе комплексного подхода к оцениванию имеет следующие ограничения:

1. Окупаемость капитальных затрат:

$$y_{\text{пр}}^{\text{общ}} > y_{\text{сум}}^{\text{общ}} \quad (6)$$

2. Сбалансированность финансовых потоков предприятия:

$$\sum_{t=0}^T Z_{\text{стр}}^{\text{общ}} \leq P_{\text{max}} \quad (7)$$

где  $\sum_{t=0}^T Z_{\text{стр}}^{\text{общ}}$  — совокупные затраты на создание и эксплуатацию ТСЛФ за полный период освоения лесных земель,  $p.$ ;  $P_{\text{max}}$  — пороговое значение величины инвестиций в проект ТСЛФ,  $p.$

3. Эффективность плеча доставки рабочих бригад и спецтехники до  $i$ -го лесного участка от  $j$ -го пункта отправления не должна превышать доступное с экономической точки зрения расстояние доставки [9]:

$$L_{ij} \leq L_{\text{дост}} \quad (8)$$

где  $L_{ij}$  — расстояние между  $i$ -м лесным участком и  $j$ -м пунктом отправления рабочих бригад и спецтехники,  $\text{км}$ .

**Вывод.** Подводя итоги, можно сделать вывод, что предлагаемая в данной статье интегральная математическая модель оценки эколого-экономического ущерба лесным экосистемам с учетом фактора планирования транспортной сети и динамики лесных земель на основе комплексного подхода позволяет более объективно выполнять расчет суммарной величины обозначенного ущерба; размера предотвращенного ущерба от пожаров; эффективности противопожарных мероприятий посредством наличия ТСЛФ. Данная модель позволяет в рамках оценивания эффективности противопожарных мероприятий определить показатель капиталотдачи от проекта создания и развития транспортных сетей.

Следует подчеркнуть, что подобный подход к оцениванию обозначенного показателя обеспечивает целесообразность и рациональность инвестиций в проект планирования ТСЛФ, что обуславливает сохранение финансовой устойчивости предприятия. Также данную модель комплексной оценки эколого-экономического ущерба лесным экосистемам можно использовать в целях планирования затрат на охрану и защиту лесов

от пожаров и борьбы с пожарами.

#### Литература

- Сныткин Г.В. Лесные пожары и борьба с ними на Крайнем Северо-Востоке Сибири // дис. ... д-ра с/х наук. М., 2002. 314 с.
- Гаврилова О.И., Пак К.А. Естественное восстановление леса после пожаров в республике Карелия // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 38–44.
- Хильченко Н.В., Потапова Е.В. Оценка эколого-экономического ущерба (методы и практика): препринт. Екатеринбург: УрО РАН Ин-т экономики, 2004. 67 с.
- Васильев Д.В. Анализ естественного и искусственного возобновления на горах 2010 года для выявления оптимальных условий после пожарного лесовосстановления в Юринском лесничестве // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 15. С. 37–42.
- Волокитина А.В. Методические аспекты характеристики лесных участков после пожара // Вестн. Томского гос. ун-та. 2015. №3 (31). С. 84–98.
- Буряк Л.В., Иванов В.А., Зленко Л.В. Лесообразовательный процесс в нарушенных пожарами светлохвойных насаждениях нижнего Приангарья // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. Ч. 8. С. 1709–1714.
- Лесные пожары в России. Статистика и антирекорды // ТАСС-ДОСЬЕ. URL: <https://tass.ru/info/6712527> (дата обращения: 29.07.2019).
- Потапова Е.В. Экономическая оценка ущербов лесам от пожаров с учетом экологических рисков на территории Свердловской области: автореф. дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / Сиб. гос. геодез. акад. Новосибирск, 2006. 22 с.
- Болотов О.В., Ельдештейн Ю.М., Болотова А.С. Основы расчета и планирования устойчивого управления лесопользованием: монография. Красноярск: СибГТУ, 2005. 180 с.
- Болданова Е.В., Богомолова Е.Ю., Давыдова Г.В. Многомерная характеристика влияния плотности лесных дорог на объем лесовосстановления и площадь лесных пожаров // Изв. Байкальского гос. ун-та. 2017. Т. 27. № 3. С. 350–358.
- Апулеев И. Миллиарды за зверя: Минприроды обновило стоимость фауны // Газета.ru. <https://www.gazeta.ru/business/2019/09/20/12663211.shtml> (дата обращения: 29.09.2019).
- Burke C.P., Jones D.L. On the polarity and continuing current in unusually large lightning flashes deduced from ELF events // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 1996. V. 58. P. 531–548.
- Момот А.В. Проектирование противопожарных лесных дорог по критерию времени доставки сил и средств пожаротушения // Лесотехнический журнал. 2016. № 1. С. 116–122.
- Carrasco L.R., Nghiem T.P.L., Sunderland T., Koh L.P. Economic Valuation of Ecosystem Services Fails to Capture Biodiversity Value of Tropical Forests. Biological Conservation. 2014. V. 178. P. 163–170. URL: 10.1016/j.biocon.2014.08.007
- McHugh C.W., Kolb T.E. Ponderosa Pine Mortality Following Fire in Northern Arizona // International Journal of Wildland Fire. 2003. P. 7–22.
- North M.P., Stephens S.L., Collins B.M., Agee J.K., Franklin J.F. Environmental Science // Reform forest fire management. Insights. USA. 2015. P. 1280–1281.
- Cortner H.J. Humans, Fires, and Forests: Social science applied to fire management. Ecological Restoration Institute Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona. et.al., 2003.
- Лесной кодекс Рос. Федерации: от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 28.07.2012) // Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
- Conard S.G., Sukhinin A.I., Stocks B.J., Cahoon D.R., Davidenko E.P., Ivanova G.A. Determining Effects of Area Burned and Fire Severity on Carbon Cycling and Emissions in Siberia. Climatic Change. 2002. V. 55. iss. 1–2. P. 197–211. URL: 10.1023/A:1020207710195
- Bouchard M., Pothier D. Long-Term Influence of Fire and Harvesting on Boreal Forest Age Structure and Forest Composition in Eastern Québec // Forest Ecology and Management. 2011. V. 261. iss. 4. P. 811–820. URL: 10.1016/j.foreco.2010.11.020
- Hansen A.J., Spies T.A., Swanson F.J., Ohmann J.L. Conserving Biodiversity in Managed Forests: Lessons from Natural Forests // BioScience. 1991. V. 41. iss. 6. P. 382–392. URL: 10.2307/1311745
- Martinez-Harms M.J., Bryan B.A., Balvanera P., Law E.A., Rhodes J.R., Possingham H.P., Wilson K.A. Making Decisions for Managing Ecosystem Services. Biological Conservation. 2015. V. 184. P. 229–238. URL: 10.1016/j.biocon.2015.01.024
- Schaich H., Milad M. Forest Biodiversity in a Changing Climate: Which Logic for Conservation Strategies? // Biodiversity and Conservation. 2013. V. 22. iss. 5. P. 1107–1114. URL: 10.1007/s10531-013-0491-7
- Soriano L.R., De Pablo F., Tomas C. Ten-year study of cloud-to-ground lightning activity in the Iberian Peninsula // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2005. V. 67. № 16. P.1632–1639.
- Venier L.A., Thompson I.D., Fleming R., Malcolm J., Aubin I., Trofymow J.A., Langor D., Sturrock R., Patry C., Outerbridge R.O., Holmes S.B., Haeussler S, De Grandpré L., Chen H.Y.H., Bayne E., Arsenault A., Brandt J.P. Effects of Natural Resource Development on the Terrestrial Biodiversity of Canadian Boreal Forests. DOI: 10.1139/er-2013-0075.

#### References

- Snytkin G.V. Forest fires and their control in the Far North-East of Siberia // dis. ... d-ra s/h nauk. M., 2002. 314 p.
- Gavrilova O.I., Pak K.A. Natural forest restoration after fires in the Republic of Karelia // Advances in current natural sciences. 2017. № 12. P. 38–44.
- Hil'chenko N.V., Potapova E.V. Assessment of environmental and economic damage (methods and practices): preprint. Ekaterinburg: UrO RAN In-t ekonomiki, 2004. 67 p.
- Vasil'ev D.V. Analysis of natural and artificial regeneration in 2010 fires to identify optimal conditions after fire reforestation in Yurinsky forestry // World of science and innovation. 2015. V. 15. P. 37–42.
- Volokitina A.V. Methodological aspects of characteristics of forest areas after a fire // Tomsk State University Journal. 2015. № 3 (31). P. 84–98.
- Buryak L.V., Ivanov V.A., Zlenko L.V. Forest formation process in the light coniferous stands of the lower Angara region disturbed by fires // Fundamental research. 2015. № 2. Ch. 8. P. 1709–1714.
- Forest fires in Russia. Statistics and anti-records // TASS-DOSE. URL: <https://tass.ru/info/6712527> (data obrashcheniya: 29.07.2019).
- Potapova E.V. Economic assessment of forest damage from fires taking into account environmental risks in the Sverdlovsk region: avtoref. dis. ... kand. ekonom. nauk: 08.00.05 / Sib. gos. geodez. akad. Novosibirsk, 2006. 22 p.

9. Bolotov O.V., El'deshtejn YU.M., Bolotova A.S. Fundamentals of calculation and planning of sustainable forest management: monografiya. Krasnoyarsk: SibGTU, 2005. 180 p.
10. Boldanova E.V., Bogomolova E.YU., Davydova G.V. Multidimensional characteristics of the influence of forest road density on the amount of reforestation and the area of forest fires // *Bulletin of Baikal state university*. 2017. V. № 3. P. 350–358.
11. Apuleev I. Billions for the beast: the Ministry of natural resources updated the cost of fauna // *Gazeta.ru*. <https://www.gazeta.ru/business/2019/09/20/12663211.shtml> (data obrashcheniya: 29.09.2019).
12. Burke C.P., Jones D.L. On the polarity and continuing current in unusually large lightning flashes deduced from ELF events // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 1996. V. 58. P. 531–548.
13. Momot A.V. Design of fire-fighting forest roads based on the time of delivery of fire-fighting forces and equipment // *Forestry Engineering Journal*. 2016. № 1. P. 116–122.
14. Carrasco L.R., Nghiem T.P.L., Sunderland T., Koh L.P. Economic Valuation of Ecosystem Services Fails to Capture Biodiversity Value of Tropical Forests. *Biological Conservation*. 2014. V. 178. P. 163–170. URL: 10.1016/j.biocon.2014.08.007.
15. McHugh C.W., Kolb T.E. Ponderosa Pine Mortality Following Fire in Northern Arizona // *International Journal of Wildland Fire*. 2003. P. 7–22.
16. North M.P., Stephens S.L., Collins B.M., Agee J.K., Franklin J.F. *Environmental Science // Reform forest fire management. Insights. USA*. 2015. P. 1280–1281.
17. Cortner H.J. *Humans, Fires, and Forests: Social science applied to fire management*. Ecological Restoration Institute Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona. et.al., 2003.
18. Forest code of the Russian Federation: ot 04.12.2006 № 200-FZ (red. ot 28.07.2012) // Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
19. Conard S.G., Sukhinin A.I., Stocks B.J., Cahoon D.R., Davidenko E.P., Ivanova G.A. Determining Effects of Area Burned and Fire Severity on Carbon Cycling and Emissions in Siberia. *Climatic Change*. 2002. V. 55. iss. 1–2. P. 197–211. URL: 10.1023/A:1020207710195.
20. Bouchard M., Pothier D. Long-Term Influence of Fire and Harvesting on Boreal Forest Age Structure and Forest Composition in Eastern Québec // *Forest Ecology and Management*. 2011. V. 261. iss. 4. P. 811–820. URL: 10.1016/j.foreco.2010.11.020.
21. Hansen A.J., Spies T.A., Swanson F.J., Ohmann J.L. Conserving Biodiversity in Managed Forests: Lessons from Natural Forests // *BioScience*. 1991. V. 41. iss. 6. P. 382–392. URL: 10.2307/1311745.
22. Martinez-Harms M.J., Bryan B.A., Balvanera P., Law E.A., Rhodes J.R., Possingham H.P., Wilson K.A. Making Decisions for Managing Ecosystem Services. *Biological Conservation*. 2015. V. 184. P. 229–238. URL: 10.1016/j.biocon.2015.01.024.
23. Schaich H., Milad M. Forest Biodiversity in a Changing Climate: Which Logic for Conservation Strategies? // *Biodiversity and Conservation*. 2013. V. 22. iss. 5. P. 1107–1114. URL: 10.1007/s10531-013-0491-7.
24. Soriano L.R., De Pablo F., Tomas C. Ten-year study of cloud-to-ground lightning activity in the Iberian Peninsula // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2005. V. 67. № 16. P.1632–1639.
25. Venier L.A., Thompson I.D., Fleming R., Malcolm J., Aubin I., Trofymow J.A., Langor D., Sturrock R., Patry C., Outerbridge R.O., Holmes S.B., Haeussler S, De Grandpré L., Chen H.Y.H., Bayne E., Arsenault A., Brandt J.P. Effects of Natural Resource Development on the Terrestrial Biodiversity of Canadian Boreal Forests. DOI: 10.1139/er-2013-0075.