

Проблемная статья

УДК 681.518.25

doi: 10.34655/bgsha.2024.75.2.014

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОПОРНЫХ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПУНКТОВ

**Соловьев Дмитрий Александрович, Козаченко Максим Анатольевич,
Чумакова Светлана Валентиновна**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Козаченко Максим Анатольевич,

lesfak-saratov@mail.ru

Аннотация. Осуществление качественных противопожарных мероприятий является залогом пожарной безопасности лесных массивов. Их организация является прямой необходимостью как для снижения количества случаев возникновения лесных пожаров, так и для повышения эффективности противопожарных мероприятий при тушении уже возникших лесных пожаров, что, в частности, включает в себя сокращение времени на их устранение, влияющее, в свою очередь, на сокращение площади, поврежденной огнем. Одним из способов повышения подобной эффективности является размещение пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря. Под пунктом сосредоточения противопожарного инвентаря подразумевается склад, помещение, приспособленное для хранения оборудования, снаряжения, инвентаря, химических реагентов (смачиватели, пенообразователи и т.д.), предназначенных для тушения лесных пожаров. Эти средства тушения используются штатными силами пожаротушения и для оперативного обеспечения средствами тушения при наращивании группировки за счёт сил пожарной охраны, министерства обороны и других, привлекаемых на тушение лесов, но не обладающих профильным лесопожарным оборудованием. В лесничествах, как правило, имеется система подобных пунктов, предназначенных именно для борьбы с лесными пожарами. Одним из условий достижения высокоэффективных показателей противопожарных мероприятий в лесах является наличие необходимого числа пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря и их эффективное расположение. Не всегда существующее количество пунктов соответствует необходимому, о чём свидетельствует повышенная горимость для некоторых территорий. Целью работы является получение способа учёта фактической горимости при проектировании противопожарных мероприятий в части определения количества и расположения пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря с помощью математического моделирования. Метод расчета количества пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря основан на элементах логики, теории множеств и алгебры. Также полученные формулы позволяют использовать географию местности и техническое оснащение. Работа направлена на разработку рекомендаций для региональных органов управления лесами по совершенствованию противопожарных мероприятий.

Ключевые слова: пожарная безопасность в лесах, пункт сосредоточения противопожарного инвентаря, оптимизация, расположение, количество, математическая модель, множество, элементы множества.

Problem article

A THEORETICAL MODEL FOR DETERMINING OF THE OPTIMAL NUMBER AND LOCATION OF FIRE CONTROL SITES

Dmitry A. Solovyov, Maxim A. Kozachenko, Svetlana V. Chumakova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Corresponding author: Maxim A. Kozachenko, lesfak-saratov@mail.ru

Abstract. The implementation of high-quality fire-fighting measures is the key to the fire safety of forests. Their organization is a necessity, both to reduce the number of cases of forest fires, and to increase the effectiveness of fire-fighting measures in extinguishing existing forest fires, which, in particular, includes reducing the time to eliminate forest fires, and this in its turn affects the reduction of the area damaged by fire. One of the ways to increase such efficiency is to place fire-fighting equipment concentration sites. A fire-fighting equipment concentration site means a warehouse, a unit adapted for storing equipment, inventory, chemical reagents (wetting agents, foaming agents, etc.) necessary for extinguishing forest fires. These extinguishing tools are used by regular firefighting forces and for quick provision with extinguishing tools members of groups at the expense of fire protection forces, the Ministry of Defense and others involved in extinguishing forests fires, but not possessing specialized forest fire equipment. In forestries, as a rule, there is a system of similar sites designed specifically to combat forest fires. One of the factors for achieving efficient indicators of fire-fighting measures in forests is the availability of the necessary number of fire-fighting equipment concentration sites and their well-thought location. The existing number of sites does not always correspond to their required number, as evidenced by the increased amount of fire frequency for some territories. The aim of the work is to obtain a method for taking into account the actual fire frequency during the design of fire-fighting measures in terms of determining the number and location of fire-fighting equipment concentration sites using mathematical modeling. The method of calculating of the number of fire-fighting equipment concentration sites is based on elements of logistics, set theory and algebra. Also, the obtained formulas make it possible to use the geography of the area and technical equipment. The work is aimed at developing recommendations for regional forest management bodies to improve fire prevention measures.

Keywords: fire safety in forests, fire-fighting equipment concentration site, optimization, location, quantity, mathematical model, set, elements of the set.

Введение. Оптимизация системы противопожарной безопасности лесов в современных условиях приобретает всё большее значение. Организация разработки и выполнения противопожарных мероприятий по охране лесов возложена на органы государственной власти в субъектах Российской Федерации, которые обеспечивают их выполнение через органы управления лесным хозяйством¹. Охрана лесов от пожаров является одной из основных составляющих устойчивого управления лесами [1]. Проблемы, свя-

занные с обеспечением надлежащей охраны лесов от пожаров, с каждым годом становятся всё более комплексными и сложными [2]. Длительное отсутствие устойчивого развития лесопромышленного комплекса негативно влияет на использование, охрану, защиту и воспроизводство лесов [3]. В настоящее время возникают задачи по совершенствованию практики пожарной безопасности в лесах, причем отмечено, что увеличение эффективности борьбы с лесными пожарами в значительной мере определяется сроками и

¹ Лесной кодекс РФ (Федеральный закон от 4 декабря 2006 года N 200-ФЗ) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Информационно-правовой портал. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902017047> (дата обращения 02.04.2024 г.).

качеством проведения противопожарных мероприятий. Успех системы противопожарной безопасности в лесах зависит от эффективного анализа ситуации на момент её разработки, который начинается с изучения состояния лесного фонда по материалам последнего лесоустройства [4]. Мероприятия по противопожарному устройству лесов проводятся на основе планов, составленных при лесоустройстве или специальных планов противопожарного устройства лесной территории региона. При составлении указанных планов виды противопожарных мероприятий и объемы выполняемых работ по каждому лесхозу должны основываться на данных об уровне развития экономики района, степени хозяйственного освоения лесов, интенсивности лесного хозяйства, фактической горимости лесов².

Целью работы является получение способа учёта фактической горимости при проектировании противопожарных мероприятий в части определения количества и расположения пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря с помощью математического моделирования.

Под пунктом сосредоточения противопожарного инвентаря подразумевается склад, помещение, приспособленное для хранения оборудования, снаряжения, инвентаря, химических реагентов (смачиватели, пенообразователи и т.д.), предназначенных для тушения лесных пожаров. Эти средства тушения используются штатными силами пожаротушения в лесничестве. Также при необходимости наращивания группировки за счёт пожарной охраны, министерства обороны и других для оперативного обеспечения средствами тушения сил, привлекаемых на тушение лесов, но не обладающих профильным лесопожарным оборудованием. При недо-

статочном количестве пунктов снижается оперативность снабжения группировки средствами тушения, возникает их дефицит, снижается эффективность работ.

В соответствии с действующим законодательством пункты сосредоточения противопожарного инвентаря организуются с учетом возможности доставки ресурсов пожаротушения не позднее трех часов с момента обнаружения пожара³. Однако для некоторых условий такое время позволит лесному пожару распространиться на значительную площадь. При исследовании сложных систем часто приходится сталкиваться с необходимостью построения математических моделей на основе систем дифференциальных уравнений как обыкновенных, так и в частных производных. Такая задача имеет не только теоретическое, но и практическое значение [5]. Пожарная безопасность в лесонасаждениях зависит от нескольких факторов, учитывающих как состав и состояние непосредственно самого исследуемого лесного массива, так и степень его защищенности с точки зрения возможности и качества осуществления противопожарных мероприятий, направленных на сохранность зеленых насаждений. Поэтому в основу предупреждения и борьбы с природными пожарами должен быть положен принцип всестороннего изучения механизмов их возникновения и поведения, поиска скрытых закономерностей и подбора аналитических моделей, адекватно отражающих процессы возникновения пожаров [6]. В данной работе авторы предлагают математическую модель, в основу которой легли математический анализ, алгебра и элементы теории множеств, что позволило показать зависимость площади лесного пожара от времени начала его ликвидации и получить чис-

² Указания по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб (приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 29 октября 1993 г. N 289) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов Информационно-правовой портал. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9014259> (дата обращения 02.04.2024 г.).

³ Правила санитарной безопасности в лесах (приказ министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28 марта 2014 года № 161) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов Информационно-правовой портал. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499089869> (дата обращения 02.04.2024 г.).

ленную оценку количества пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря в привязке к географическим данным лесничеств.

Несвоевременная локализация и подавление источников огня приводит к катастрофическим масштабам пожаров и невозможности их тушения [7]. В нормативах установлены требования к распределению подразделений по территории регионов, а также к структуре и количественным показателям оснащения подразделений каждого типа [8]. Все работы по охране лесов от пожаров должны базироваться на научно обоснованном прогнозировании, которое позволяет достаточно точно предвидеть последствия воздействия огня на лесные экосистемы. Кроме того, необходимы региональные исследования, проведенные с учетом лесорастительных условий, так как по лесным районам характеристики пожаров и их последствия резко отличаются [9].

Основная нагрузка по противопожарной безопасности ложится на организацию и осуществление непосредственно самих противопожарных мероприятий, среди которых выделяются три основные составляющие: предупреждение возникновения лесных пожаров, ограничение распространения лесных пожаров, организационно-технические и другие мероприятия, обеспечивающие пожарную устойчивость лесного фонда, качество которых, в свою очередь, является зависимым от местоположения пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря.

Условия и методы исследования.

Качество противопожарного мероприятия является функцией от времени на его осуществление и доставки людей, а также противопожарного оборудования к месту события. Таким образом, время прибытия людей и оборудования – одна из важнейших величин, характеризующих пожарную безопасность лесного массива, вследствие чего наполняемость и количество пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря в области представляет определенный практический интерес.

Особенно остро встает вопрос опти-

мизации размещения пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря при уже возникшем лесном пожаре, так как от скорости доставки к месту происшествия людей и оборудования непосредственно зависит площадь горения.

Как показывает опыт, в борьбе с лесными пожарами большое значение имеет фактор времени [10]. На начальном этапе борьбы с лесными пожарами важной особенностью является поддержание положительно высоких значений «времени обнаружения пожара» и «времени реакции» подразделений, то есть их возможность прибытия к месту возникновения пожара и начала тушения в максимально быстрые сроки [11]. Однако, в настоящее время обеспечение быстрого и эффективного лесного пожаротушения осложняется недостаточной организованностью и отсутствием необходимой логистической структуры в связи с неравномерным распределением кадровых и технических ресурсов по территории обслуживания и удаленностью персонала от фактического местонахождения зоны возгорания. Данные факторы значительно повышают риски разрастания лесных пожаров, увеличивают их площадь, что ведет к большим природным и экономическим потерям, что становится еще более актуальным в пожароопасные климатические периоды.

Исходя из выше сказанного, становится очевидным, что разработка модели, позволяющей находить оптимальное местоположение опорных противопожарных пунктов, является важной составляющей при тушении уже возникших пожаров и пожарной безопасности в лесах в целом.

Метод расчета количества пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря на единицу площади лесного массива основан на элементах логики, теории множеств и алгебры. Также полученные формулы позволяют использовать географию местности и техническое оснащение.

Результаты исследования и их обсуждение. Любая эффективная программа управления пожарами должна учитывать экологию и историю пожаров дан-

ной местности [12]. Предварительно были обработаны статистические данные по лесным пожарам в Саратовской области за период с 2004 по 2023 год. Эти дан-

ные статистики представляют собой материал для сравнительного анализа и расчёта, содержатся в таблице 1.

Таблица 1 – Данные, применяемые для расчета количества пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря в лесничествах Саратовской области

Наименование лесничества	Площадь лесничества, га	Число пожаров (2004 – 2024)	Суммарная площадь пожаров (2004 – 2024)	Средняя площадь одного пожара (S_{jk}), га
Балтайское	31628	59,0	330,6	5,6
Черкасское	32942	47,0	400,7	8,5
Базарно-Карабулакское	44488	72,0	534,3	7,4
Вольское	54967	112,0	445	4,0
Балаковское	22660	17,0	339,3	20,0
Петровское	18042	22,0	154,3	7,0
Новобураское	29338	23,0	128,3	5,6
Макаровское	29471	32,0	151,6	4,7
Екатериновское	15176	34,0	1577,1	46,4
Пугачевское	27431	12,0	58,5	4,9
Аркадакское	18720	27,0	1520,9	56,3
Аткарское	28263	105,0	1496,3	14,3
Усовское	31981	67,0	372,3	5,6
Вязовское	40572	49,0	201,4	4,1
Саратовское	23892	158,0	1247,4	7,9
Марковское	13967	43,0	125,6	2,9
Романовское	16243	10,0	79,0	7,9
Балашовское	26353	79,0	585,2	7,4
Калининское	15819	91,0	480,8	5,3
Лысогорское	17792	98,0	1936,2	19,8
Широко-Карамышское	34829	112,0	2188,5	19,5
Ершовское	8062	5,0	46,2	9,2
Энгельское	18578	15,0	217,4	14,5
Красноармейское	52138	121,0	2010,7	16,6
Дьяковское	20490	32,0	748,2	23,4
Итого	673842	1442	17375,8	

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет увидеть, что горимость в разных лесничествах отличается. Для Екатериновского, Аркадакского и некоторых других лесничеств отмечают большие площади пожаров по сравнению с другими лесничествами и средней величине площади пожара для области. Для других лесничеств площади пожаров значительно меньше по сравнению с другими лесничествами и средней величине площади пожара для области. При этом распределение пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря не учитывает данные различия. Предлагае-

мые нами расчёты позволят скорректировать распределение пунктов сосредоточения на территории области для размещения большего их количества в районах большей горимости.

Покажем, что площадь одного пожара зависит от времени его продолжительности. Для этого введем обозначения:

$S_{ин}$ – средняя площадь одного пожара, га;

$t_{ин}$ – время продолжительности одного пожара, ч;

$v_{ин}$ – скорость распространения, км/ч.;

$q_{\text{п}}$ – коэффициент, влияющий на скорость и время распространения пожара, включающий в себя различные составляющие, такие, как скорость ветра, влажность, состав лесного массива, расположение лесного массива относительно уровня моря и т.д.

Учитывая введенные обозначения, формула вычисления прогнозируемой площади одного пожара выглядит следующим образом:

$$S_{\text{ин}} = v_{\text{ин}} t_{\text{ин}} q_{\text{п}} \quad (1)$$

Выведенная формула (1) наглядно демонстрирует зависимость площади пожара от времени его продолжительности.

То есть появилась функциональная зависимость (2)

$$S_{\text{ин}} = f(v_{\text{ин}}, t_{\text{ин}}, q_{\text{п}}) \quad (2)$$

В настоящее время актуально включение в коэффициент времени, необходимого для прибытия специализированной противопожарной бригады к месту возгорания. То есть, если обозначить

t_b – время прибытия противопожарной бригады к месту возгорания, ч;

λ – прочие факторы, влияющие на коэффициент, то

$$q_{\text{п}} = g(\lambda, t_b) \quad (3)$$

Значит, площадь пожара зависит, в частности от времени, необходимого для прибытия специализированной противопожарной бригады к месту возгорания и формулы (2) и (3).

Уточненная формула (2) с учетом зависимости (3) будет выглядеть следующим образом:

$$S_{\text{ин}} = f(v_{\text{ин}}, t_{\text{ин}}, q_{\text{п}}(\lambda, t_b)) \quad (4)$$

Время прибытия противопожарной бригады к месту пожара зависит от расположения пункта сосредоточения противопожарного инвентаря, который будем привязывать к близлежащему населенному пункту, исходя из нормативов по предупреждению и тушению лесных пожаров. Таким образом, задача свелась к правильному выбору населенного пункта, в котором будет расположен пункт сосредоточения противопожарного инвентаря.

Приоритет при этом получают населенные пункты, расположенные вблизи крупных лесных массивов, лесных участков с высокими классами природной пожарной опасности, участков, где фиксировались крупные пожары.

В дальнейшем в построении математической модели будем применять элементы теории множеств. Так, обозначив τ_i – населенные пункты, получим конечное множество Θ :

$$\Theta_M = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{i-1}, \tau_i, \tau_{i+1}, \dots, \tau_M\} \quad (5)$$

Количество элементов множества равно количеству населенных пунктов, в которых возможно размещение пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря некоторой области как территориальной единицы, обозначенной также Θ_M , показано на рисунке 1.

Как правило, каждая область Θ_M , имеющая площадь S_{Θ_M} , подразделяется на несколько лесничеств, каждое из которых обозначим как L_j , а населенные пункты, расположенные на территории этого лесничества, обозначим τ_{ij} . Тогда

$$L_j \subset \Theta_M \quad (6)$$

и

$$L_K = \{\tau_{j1}, \tau_{j2}, \dots, \tau_{ji-1}, \tau_{ji}, \tau_{ji+1}, \dots, \tau_{jK}\} \quad (7)$$

То есть, множество L_K является подмножеством множества Θ_M , причем $K \leq M$ и τ_{ji} – это населенные пункты области Θ_M , находящиеся на территории лесничества L_K , что отражено на рисунке 2.

Вычислим коэффициент $k_{\text{ПО}}$ пожарной опасности для каждого из лесничеств L_K . Для этого найдем соотношение средней площади одного пожара лесничества L_K к средней по области площади одного пожара Θ_M .

При этом, среднюю площадь одного пожара по области определено как среднее арифметическое среди средних площадей одного пожара в лесничествах по формуле:

$$S_{\text{ин}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{ин}}}{K}, \quad (8)$$

где K – число лесничеств в области Θ_M .



Рисунок 1. Демонстрация перехода от реальных территориальных объектов к математической абстракции с использованием элементов теории множеств. Используемые обозначения: Θ_M – область, Γ_{Θ_M} – граница области, $\tau_{i-1}, \tau_i, \tau_{i+1}$ – населенные пункты



Рисунок 2. Демонстрация перехода от реальных территориальных объектов к математической абстракции с использованием элементов теории множеств. Используемые обозначения: Θ_M – область, Γ_{Θ_M} – граница области, Γ_{L_K} – граница лесничества L_K , $\tau_{ji-1}, \tau_{ji}, \tau_{ji+1}$ – населенные пункты, расположенные на территории лесничества L_{Kj} .

$$k_{\text{по}j} = \frac{S_{jK}}{S_{in}} \quad (9)$$

$k_{\text{по}j}$ – коэффициент пожарной опасности в лесах;

S_{jK} – средняя площадь одного пожара лесничества L_K , га (по данным таблицы 1);

S_{in} – средняя площадь одного пожара по области Θ_M , га.

Тогда рекомендуемое количество опорных пожарных пунктов может быть рассчитано по выведенной формуле

$$N_{jK} = \frac{S_L}{S_{\text{ПС}}} k_{\text{по}j}, \quad (10)$$

где N_{jK} – рекомендуемое количество пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря для лесничества, шт.;

S_L – площадь одного лесничества, га;

$S_{\text{ПС}}$ – площадь для обслуживания одним пунктом сосредоточения противопожарного инвентаря по нормативам, га.

Полученную математическую модель применим для расчета рекомендуемого количества пунктов сосредоточения противопожарного оборудования для лесничеств Саратовской области. При общей площади всех лесничеств 673842 га в соответствии с Лесным планом Саратовской области на 2019–2028 гг. [13] для этой территории запланировано 230 пунктов, то есть на 1 пункт приходится 2930 га лесного фонда.

Применяя выведенные ранее в работе формулы (8)–(10), были выбраны

лесничества Балтайское, Лысогорское и Аркадакское и получены следующие результаты:

$S_{in} = 13,1$ – средняя площадь одного пожара по области, га.

Для Балтайского лесничества:

$$k_{\text{по}1} = 0,427; N_1 = 5$$

Для Лысогорского лесничества:

$$k_{\text{по}20} = 1,511; N_{20} = 9$$

Для Аркадакского лесничества:

$$k_{\text{по}11} = 4,297; N_{11} = 28$$

Выводы. Для вычисления числа пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря впервые был применен коэффициент пожарной опасности, обозначенный в работе $k_{\text{по}j}$, который позволил получить более точные данные, так как при его подсчете учитывалась средняя площадь пожара, случившегося за рассматриваемый временной промежуток как на территории лесничества, так и в области. В качестве примера были рассмотрены некоторые лесничества Саратовской области, для которых было получено рекомендуемое количество пунктов сосредоточения противопожарного инвентаря. Расчеты показали, что средняя площадь пожара по лесничеству существенно влияет на число подобных пунктов, а следовательно, применяя предложенную модель, можно уточнять их рекомендуемое количество и более эффективно распределять по территории.

Список источников

1. Почитаева М.В., Иглаев М.Л. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1 (21). С. 42-52. EDN: RXHHGJ
2. Сидорова Е.Ю. Оценка эффективности деятельности органов исполнительной власти в сфере охраны лесов от пожаров: правовой аспект // StudArctic Forum. 2023. Т. 8, № 4. С. 149-157.
3. Саханов В.В., Коротков С.А., Фитчин А.А., Стоноженко Л.В., Попова А.Д. Современное состояние лесопромышленного комплекса Сахалинской области и перспективы его развития // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 3. С. 5-17. EDN: RVQPKE. doi: 10.18698/2542-1468-2023-3-5-17
4. Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И. Противопожарная профилактика лесных объектов // Лесной журнал. 2019. № 3. С. 43.. EDN: DTJMGH. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43
5. Кондратьева С.Д., Семенов М.Г. Моделирование сложных систем: современные математические методы и практические аспекты // Фундаментальные исследования. 2016. № 5-1. С. 43-46; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40247>. EDN: TTYDWY
6. Белоусов Р.Л., Араштаев А.И., Вологдин В.А., Трофлянин В.В. Анализ факторов природной пожарной опасности лесной территории Республики Татарстан // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2018. № 1 (36). С. 69-81. EDN: YVTUQR
7. Казанцев Р.В., Федорченко И.С. Эффективные способы механизированного тушения и профилактики низовых лесных пожаров // Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика

(FireSafety 2020): материалы II Всероссийской научно-практической конференции. Уфа: РИК УГАТУ, 2020. С.57-62. EDN: XEFXBC

8. Справочное пособие по нормативам наличия в региональных лесопожарных учреждениях сил и средств пожаротушения / Составители: Р.В. Котельников, А.В. Брюханов. Пушкино : ВНИИЛМ, 2020. 40 с.

9. Буряк Л.В., Каленская О.П. Влияние пожаров на формирование насаждений Нижнего Приангарья : монография. Пушкино : ВНИИЛМ, 2020. 140 с. EDN: YDYIHX

10. Лесные пожары: классификация, прогнозирование, организация тушения [Электронный ресурс]. Первый лесопромышленный портал. URL: <https://www.wood.ru/ru/lofire.html> (дата обращения 02.04.2024 г.).

11. Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Савченкова В.А. Метод оценки обеспеченности лесопожарных формирований силами пожаротушения // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 71-78. EDN: SMQHQP. doi: 10.12737/article_5b97a160f14ed4.7896130.

12. FAO. 2007. Fire management: principles and strategic actions. Voluntary guidelines for fire management. Fire Management Working Paper 17. Rome (также доступен на сайте www.fao.org/forestry/site/35853/en).

13. Лесной план Саратовской области на 2019-2028 гг. (постановление губернатора Саратовской области от 29.12.2018 г. № 590) // Официальный сайт министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области. URL: <https://www.minforest.saratov.gov.ru/lesnoe-hozyaistvo/> (дата обращения 03.05.2024 г.).

References

1. Pochitaeva M.V., Iplaev M.L. Efficiency improvement of forest fire control. *Vesting of Volga State University of technology. Series: Forest. Ecology. Nature management.* 2014;1(21):42-52 (In Russ.)

2. Sidorova, E. Y. Evaluating the Effectiveness of Executive Authorities in Forest Fire Protection: A Legal Perspective. *StudArctic Forum.* 2023;8(4):149-157.

3. Sakhanov V.V., Korotkov S.A., Fitchin A.A., Stonozhenko L.V., Popova A.D. Industry current state in Sakhalin region and its development prospects. *Forestry Bulletin*, 2023;V.27.No.3:5-17.

doi: 10.18698/2542-1468-2023-3-5-17

4. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I. Fire prevention measures for Russian Forestry Journal forest sites. *Forest magazine.* 2019;No.3:43. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43

5. Kondrateva S.D., Semenenko M.G. Modelling of complex systems: modern mathematical methods and practical aspects. *Fundamental research.* 2016;5-1:43-46.

6. Belousov R.L., Arashtaev A.I., Vologdin V.A., Troflyanin V.V. Analysis of factors of natural fire hazard of the forest territory of the Republic of Tatarstan. *Scientific and educational problems of civil protection.* 2018;No.1(36):69-81.

7. Kazantsev R.V., Fedorchenko I.S. Effective methods of mechanized extinguishing and prevention of grassroots forest fires. *Modern problems of fire safety: theory and practice (FireSafety 2020): Proc. of the II All-Russian Sci. and Pract. Conf.* Ufa : RIK UGATU, 2020. Pp. 57-62.

8. A reference guide on the standards of the availability of fire extinguishing forces and means in regional forest fire institutions / Compiled by R.V. Kotelnikov, A.V. Bryukhanov. Pushkino : VNIILM, 2020. 40 p.

9. Buryak L.V., Kalenskaya O.P. The influence of fires on the formation of plantations in the Lower Angara region : monograph. Pushkino : VNIILM, 2020. 140 p.

10. Forest fires: classification, forecasting, organization of extinguishing. *The first timber industry portal.* URL: <https://www.wood.ru/ru/lofire.html> (accessed date 04/02/2024).

11. Korshunov N.A., Kotelnikov R.V., Savchenkova V.A. Method of assessment of human resource provision for fire fighting organizations. *Forestry journal.* 2018;Vol.8.No.3(31):71-78.

doi: 10.12737/article_5b97a160f14ed4.7896130.

12. FAO. 2007. Fire management: principles and strategic actions. Voluntary guidelines for fire management. Fire Management Working Paper 17. Rome (also available on the website www.fao.org/forestry/site/35853/en).

13. The forest plan of the Saratov region for 2019-2028 (resolution of the Governor of the Saratov region dated December 29, 2018 No. 590). *Official website of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Saratov region.* URL: <https://www.minforest.saratov.gov.ru/lesnoe-hozyaistvo/> (accessed date 05/03/2024).

Сведения об авторах

Соловьев Дмитрий Александрович – доктор технических наук, ректор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, rector@vavilovsar.ru

Максим Анатольевич Козаченко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство», факультет инженерии и природообустройства, lesfak-saratov@mail.ru

Светлана Валентиновна Чумакова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общественные дисциплины», агрономический факультет, ch-sv@yandex.ru

Information about the authors

Dmitry A. Solovyov – Doctor of Technical Sciences, Rector, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, rector@vavilovsar.ru

Maksim A. Kozachenko – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor of Department of Forestry and Landscaping, Faculty of Engineering and Environmental Engineering, lesfak-saratov@mail.ru

Svetlana V. Chumakova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Education, Faculty of Agronomy, ch-sv@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 17.04.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 21.05.2024.

The article was submitted 17.04.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 21.05.2024.