



Прогнозная модель послепожарного лесовосстановления в Иркутской области

Ольга И. Григорьева¹✉, grigoreva_o@list.ru, 0000-0001-5937-0813

Олег И. Гринько², goi2@yandex.ru, 0000-0003-1011-0329

Игорь В. Григорьев³, silver73@inbox.ru, 0000-0002-5574-1725

Евгений Г. Калита⁴, 007203@pnu.edu.ru, 0000-0001-6279-2742

Евгений А. Тихонов⁵, tihonov@petrsu.ru, 0000-0003-2136-3268

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Братский государственный университет» г. Братск, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», г. Якутск, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», г. Хабаровск, Российская Федерация

⁵ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск, Российская Федерация

Лесные пожары являются одной из наиболее острых проблем лесного комплекса Российской Федерации. С одной стороны, большая часть естественных хвойных лесов бореальной зоны имеют пирогенное происхождение, а лесные пожары являются естественной составляющей сукцессий хвойных лесов. С другой стороны, лесные пожары наносят большой ущерб, заключающийся в затратах на их тушение, сгоревших материальных ценностей, включая поврежденный древостой на корню, а также экологический ущерб – загрязнение воздушного бассейна на больших площадях, загрязнение стока в водоемы, и т.д. Различные древесные породы, в различных лесорастительных условиях, по-разному реагируют на пирогенное воздействие различной интенсивности. Ярким примером являются лиственничные леса Республики Саха (Якутия), произрастающие на вечной мерзлоте, и очень хорошо приспособившиеся к достаточно частым природным пожарам. Принятие управленческих решений по видам и способам лесовосстановительных работ после лесных пожаров различной интенсивности должно опираться на прогнозные модели хода естественного лесовосстановления. Для составления такой модели для лесов Иркутской области были проведены натурные экспериментальные исследования, заключающиеся в обследовании гарей разных лет, после лесных пожаров различной интенсивности. В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных были составлены математические зависимости развития многокомпонентной лесной экосистемы, включающей в себя хвойные и лиственные деревья младшей, средней и старшей возрастной группы, представленные в данной статье. Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» Арктического государственного агротехнологического университета.

Ключевые слова: *послепожарная динамика, лесные пожары, естественное лесовосстановление, математическое моделирование*

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прогнозная модель послепожарного лесовосстановления в Иркутской области / О. И. Григорьева, О. И. Гринько, И. В. Григорьев, Е. Г. Калита, Е. А. Тихонов // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 1 (49). – С. 85–98. – Библиогр.: с. 94–98 (24 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/6>.

Поступила 27.01.2023. *Пересмотрена* 08.04.2023. *Принята* 10.04.2023. *Опубликована онлайн* 15.05.2023.

Predictive model of post-fire reforestation in the Irkutsk region

Olga I. Grigoreva¹✉ grigoreva_o@list.ru,  0000-0001-5937-0813

Oleg I. Grinko² goi2@yandex.ru,  0000-0003-1011-0329

Igor V. Grigorev³ silver73@inbox.ru,  0000-0002-5574-1725

Evgeny G. Kalita⁴ 007203@pnu.edu.ru,  0000-0001-6279-2742

Evgeny A. Tikhonov⁵ tikhonov@petrsu.ru,  0000-0003-2136-3268

¹FSBEI HE "St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov", St. Petersburg, Russian Federation

²FSBEI HE "Bratsk State University" Bratsk, Russian Federation

³FSBEI HE "Arctic State Agrotechnological University" Yakutsk, Russian Federation

⁴FSBEI HE "Pacific State University", Khabarovsk, Russian Federation

⁵FSBEI HE "Petrozavodsk State University", Petrozavodsk, Russian Federation

Abstract

Forest fires are one of the most acute problems of the forest complex of the Russian Federation. On the one hand, most of the natural coniferous forests of the boreal zone have pyrogenic origin, and forest fires are a natural component of the successions of coniferous forests. On the other hand, forest fires cause great damage, consisting in the costs of extinguishing them, burnt material values, including damaged stands on the root, as well as environmental damage - pollution of the air basin over large areas, pollution of runoff into reservoirs, etc. Different tree species, in different forest growing conditions, react differently to the pyrogenic effects of different intensities. A striking example is the larch forests of the Republic of Sakha (Yakutia), growing on permafrost, and very well adapted to fairly frequent wildfires. The adoption of management decisions on the types and methods of reforestation after forest fires of various intensity should be based on predictive models of the course of natural reforestation. To compile such a model for the forests of the Irkutsk region, full-scale experimental studies were carried out, consisting in the examination of hares of different years, after forest fires of varying intensity. As a result of statistical processing of the experimental data obtained, mathematical dependences of the development of a multicomponent forest ecosystem, including coniferous and deciduous trees of the younger, middle and older age groups, presented in this article, were compiled. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry" of the Arctic State Agrotechnological University.

Keywords: post-fire dynamics, forest fires, natural reforestation, mathematical modeling.

Funding: The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00009, <https://rscf.ru/project/22-26-00009/>.

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Predictive model of post-fire reforestation in the Irkutsk region / O. I. Grigoreva, O. I. Grinko, I. V. Grigorev, E. G. Kalita, E. A. Tikhonov. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 1 (49), pp. 85-98 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/6>.

Received 27.01.2023. *Revised* 08.04.2023. *Accepted* 10.04.2023. *Published online:* 15.05.2023.

Введение

Федеральный закон от 19.07.2018 г. № 212-ФЗ «О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения», известный также как «Закон о компенсационном лесовосстановлении» предусматривает выделение в фонд лесовосстановления субъектов Российской Федерации земель лесного фонда, не находящихся в аренде. В том числе и гарей прошлых лет. При этом, согласно Правилам лесовосстановления, значительный упор делается на искусственное лесовосстановление, в том числе с использованием посадочного материала (сеянцев, саженцев) с закрытой корневой системой. Целесообразность такого способа лесовосстановления, в том числе по экономической эффективности, и по лесорастительной эффективности, до сих пор вызывает большие споры, особенно в ряде регионов Сибири и Дальнего Востока, и особенно для условий лесов криолитозоны. С учетом существенной специфики лесных экосистем на вечной мерзлоте следует выбирать оптимальные для данных условий не только варианты лесовосстановительных, но и лесосечных работ [1-4].

В разное время проблемами восстановления леса после пожаров занимались видные российские ученые Курбатский Н.П., Мелехов И.С., Буряк Л.В., Жила С.В. и др. Различным аспектам этой проблемы также посвящены публикации зарубежных коллег [5-10].

Для обоснованного выбора способа лесовосстановления после лесных пожаров различной ин-

тенсивности, в различных природно-производственных условиях, необходимо иметь прогнозную модель хода естественного лесовосстановления, основанную на натуральных наблюдениях [11-14].

Материалы и методы.

При подготовке материала статьи использовались данные натурального обследования гарей разных лет [15], после пожаров различной интенсивности, на территории Илимского лесничества Иркутской области, которое включает четыре участков лесничества: Воробьевское, Невонское, Седановское, Усть-Илимское. Характеристики обследуемых площадей приведены в таблице 1. В таблице 2 приведены результаты по количеству подроста хвойных и лиственных пород, которые были собраны на пробных площадках. В каждом выделе закладывалось по 30 учетных площадок. По условиям моделирования количество подроста (младшая возрастная группа) не переводилось на 1 га [16-19]. В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных были составлены математические зависимости развития многокомпонентной лесной экосистемы, включающей в себя хвойные и лиственные деревья младшей, средней и старшей возрастной группы.

Полученные зависимости позволяют дать оценку перспективности лесовосстановительных сукцессий, необходимости использования искусственного или комбинированного лесовосстановления [20, 21], создания целевых лесных насаждений [22, 23].

Природопользование

Таблица 1

Характеристика насаждений до пожара

Table 1

Characteristics of plantations before the fire

№ п/п	Лесничество, № квартала/выдела	Площадь, га	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние показатели		Бонитет/Полнота	Тип леса/ТУМ	Запас, м ³ /га	Вид пожара, год пожара
					Н, м	D, см				
1.	Илимское 116/26	9,5	Гарь	-	-	-	3/-	БРЗМ/В ₃	-	Верховой пожар, 2001 г.
2.	Илимское 240/21	20,1	Гарь, свежий сухой, 10С	100	18	20	3/-	РТ/С ₂	-	Низовой, устойчивый, средней интенсивности, 2002
3.	Илимское 74/24	9,2	гарь	-	-	-	4/-	БР/В ₂	-	Низовой пожар, сильный, 2006 г.
4.	Илимское 202/1	31,6	6Б4Ос	10	3	4	4/0,9	РТ/В ₃	10	Низовой пожар, сильный, 2006 г
5.	Илимское, 300/30,3 1	6,7	6С2Л 3Е2Б	160	19	20	4/0,7	БАГ/В ₃	260	Низовой, беглый, 2008
6..	Илимское, 45/49	23,9	3С1Л 4Ос2 Б	25	7	8	3/0,8	БРРТ/В ₂	90	Низовой, беглый, 2008 г.
7.	Илимское, 243/34	17,1	8С1Л 1Б	75	16,0	19,3	3/0,5	БР/В ₂	140	Низовой устойчивый 2011 г.
8.	Илимское, 120/20	56	7Л1С 2Б+Е +ОсГ арь, свежий сухой	150	23	27	3	РТЗМ/С ₃	80	Низовой устойчивый 2011 г.
9.	Илимское 26/6	28,5	9С1Б +Л	10	3,5	2	0,7/3	БРРТ/В ₃	20	Вырубка, пройденная пожаром, пожар 2011 г.

Природопользование

№ п/п	Лесничество, № квартала/выдела	Площадь, га	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние показатели		Бонитет/Полнота	Тип леса/ТУМ	Запас, м ³ /га	Вид пожара, год пожара
					Н, м	D, см				
10.	Илимское, 255/4	17,1	7С1Л 1П1К	240	26	21	3/0,8	ОЛЬХ/ В ₃	350	Низовой устойчивый, сильный 2014 г.
11.	Илимское 125/9	5,6	гарь	-	-	-	3/-	БРРТ/ С ₂	-	Низовой, сильный, 2014 г.
12.	Илимское 327/14	6,5	7С3Б	85	18	20	0,8/3	РТ/В ₃	260	Низовой, 2016 г.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 2

Количество младшей возрастной группы на обследуемых гарях

Table 2

Number of viable undergrowth on the surveyed fire sites

№	Пожар	Место, год	Кол-во деревьев младшей возрастной группы 3-20 лет, шт.	
			Лиственные (береза, осина)	Хвойные (сосна, лиственница)
1	Верховой	Кеульская дача, квартал 116, выдел 26, 2001	82	76
2	Верховой	Воробьевская дача, квартал 240, выдел 21, 2002	341	919
3	Верховой	Невонская дача, квартал 202, выдел 1, 2006	256	87
4	Верховой	Воробьевское участковое лесничество, квартал 300, выдел 31, 2008	222	626
5	Низовой устойчивый	Невонская дача, квартал 120, выдел 20, 2011	714	136
6	Низовой устойчивый	Невонская дача, квартал 125, выдел 9, 2014	0	157
7	Низовой беглый	Невонское участковое лесничество, квартал 327, выдел 14, 2016	89	200
8	Низовой беглый	Невонская дача, квартал 26, выдел 6, 2011	122	111
9	Низовой сильный	Кеульская дача квартал 74, выдел 24, 2006	4	590
10	Низовой сильный	Воробьевское участковое лесничество, квартал 45, выдел 49, 2008	182	217
11	Низовой сильный	Невонская дача, квартал 243, выдел 34, 2011	66	971
12	Низовой сильный	Невонская дача, квартал 255, выдел 4, 2014	869	128

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Результаты и обсуждение

Рассмотрим развитие многокомпонентной экосистемы, включающей в себя хвойные и лиственные деревья младшей (0-20 лет хвойные, 0-10 лет лиственные), средней (21-60 – хвойные. 11-40 лиственные) и старшей (старше 60 лет хвойные, старше 40 лет – лиственные) возрастной группы. В качестве основы математической модели примем положения [24], описывающие развитие древесных ценозов:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \rho z - \gamma(y, z)x - fx, \\ \frac{dy}{dt} = fx - qy - py, \\ \frac{dz}{dt} = qy - hz, \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – коэффициент размножения, f – коэффициент перехода деревьев младшей возрастной группы в среднюю, γ – функция прироста деревьев младшей возрастной группы, q – коэффициент перехода деревьев средней возрастной группы в старшую, p – коэффициент прироста средней возрастной группы, h – коэффициент смертности старшей возрастной группы, x, y, z – количество деревьев соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы на площади, занятой древесным ценозом.

Разовьем предложенную математическую модель, и учтем, что деревья средней и старшей возрастной групп начнут появляться лишь спустя определенное время. Кроме того, помимо коэффициентов, будем рассматривать функции смертности деревьев при распаде возрастного древостоя:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \rho z - fx \text{He}(t - T_{xy}) - \{\gamma(y, z) + \xi_u \text{He}(t - T_\xi)\}x, \\ \frac{dy}{dt} = fx \text{He}(t - T_{xy}) - qy \text{He}(t - T_{yz}) - \{p + \xi_v \text{He}(t - T_\xi)\}y, \\ \frac{dz}{dt} = qy \text{He}(t - T_{yz}) - \{h + \xi_w \text{He}(t - T_\xi)\}z, \end{cases} \quad (2)$$

где T_{xy} – время, соответствующее переходу деревьев в среднюю возрастную группу, T_{yz} – время, соответствующее переходу деревьев в старшую возрастную группу, T_ξ – время начала распада древостоя, ξ – коэффициенты смертности деревьев соответствующих возрастным групп при распаде древостоя, $\text{He}(\zeta)$ – единичная функция:

$$\begin{cases} \text{He}(\zeta) = 1, \zeta \geq 0 \\ \text{He}(\zeta) = 0, \zeta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

где ζ – аргумент функции (3).

Значения коэффициентов зависят от принятых предпосылок к исследованию, вкладывае-

мого биологического смысла, и до настоящего времени не установлен. Для определения их порядка используем следующую предпосылку, основанную на биологической модели древостоя: к определенному возрасту распределение деревьев в древостое стремится к нормальному; это состояние будем считать устойчивым. Приблизительно примем, что в устойчивом состоянии количество деревьев в трех возрастных группах равно и рассмотрим более простую модель:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \rho z - fx, \\ \frac{dy}{dt} = fx - qy, \\ \frac{dz}{dt} = qy - hz, \end{cases} \quad (4)$$

при начальных условиях:

$$x(0) = x_0, y(0) = 0, z(0) = 0, \quad (5)$$

причем для устойчивого состояния запишем:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \rho z - fx = 0, \\ \frac{dy}{dt} = fx - qy = 0, \\ \frac{dz}{dt} = qy - hz = 0 \\ x(T) = y(T) = z(T), \end{cases} \quad (6)$$

где T – время, необходимое для формирования зрелого древостоя.

Тогда

$$h = f = q = \rho, \quad (7)$$

в этом случае решение системы (2) имеет вид:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{x_0}{3} + \frac{2x_0 e^{-\frac{3\rho t}{2}} \cos\frac{\rho t \sqrt{3}}{2}}{3} \\ y(t) = \frac{x_0 \left(1 + e^{-\frac{3\rho t}{2}} \sqrt{3} \sin\frac{\rho t \sqrt{3}}{2} - e^{-\frac{3\rho t}{2}} \sqrt{3} \cos\frac{\rho t \sqrt{3}}{2}\right)}{3} \\ z(t) = \frac{x_0 \left(1 - e^{-\frac{3\rho t}{2}} \sqrt{3} \sin\frac{\rho t \sqrt{3}}{2} - e^{-\frac{3\rho t}{2}} \sqrt{3} \cos\frac{\rho t \sqrt{3}}{2}\right)}{3} \end{cases} \quad (8)$$

учтем, что $x(T) = y(T) = z(T)$, тогда «масштабирующий» коэффициент ρ :

$$\rho \approx \frac{1,21}{T}. \quad (9)$$

Величину T будем считать известной приближенно. Исследование численного решения модели (2) при различных отношениях $\rho, h, \gamma(y, z) = \gamma y, q, p$ показало, что характер развития древостоя зависит от того, как упорядочены коэффициенты по величине. Например, при $f > h > q > \rho \approx \frac{1,21}{T} \gg \gamma \geq p$ наблюдается стабильный рост древостоя (вплоть до

Природопользование

начала распада). Конкретные их значения будут зависеть во многом от природных условий.

В табл. 3 приведены оценки коэффициентов системы (2), полученные эмпирическим путем, ис-

пользованные в нашем исследовании. На рис. 1-4 проиллюстрирована динамика послепожарной сукцессии некоторых лесных участков (по табл. 3).

Таблица 3

Числовые значения коэффициентов математической модели

Table 3

Numerical values of the mathematical model coefficients

Участок	Хвойные					Лиственные				
	h/ρ	f/ρ	γ	q/ρ	p	h/ρ	f/ρ	γ	q/ρ	p
1	1,05	1,1	-0,035	1,01	-0,01	1,01	0,99	0,01	0,99	0,02
2	1,01	1,01	0,0007	1,01	-0,001	1,01	0,99	0,02	0,99	0,02
3	1,05	1,1	-0,03	1,01	-0,01	0,99	1,01	-0,002	0,99	-0,002
4	1,01	1,01	0,004	1,01	-0,001	0,99	1,01	-0,002	0,99	-0,002
5	1,05	1,1	-0,02	1,01	-0,01	0,99	1,01	0,002	0,99	0,002
6	1,05	1,1	-0,025	1,01	-0,01	-	-	-	-	-
7	1,05	1,1	-0,015	1,01	-0,01	0,99	1,01	-0,003	0,99	-0,003
8	1,05	1,1	-0,025	1,01	-0,01	0,99	1,01	-0,002	0,99	-0,002
9	1,01	1,01	0,003	1,01	-0,001	0,99	1,01	-0,03	0,99	-0,03
10	1,05	1,1	-0,0125	1,01	-0,01	0,99	1,01	-0,001	0,99	-0,001
11	1,01	1,01	0,0085	1,01	-0,001	0,99	1,01	-0,002	0,99	-0,002
12	1,05	1,1	-0,025	1,01	-0,01	0,99	1,01	0,003	0,99	0,003
	$T = 40$ лет, $T_{xy} = 30$ лет, $T_{yz} = 50$ лет, $\zeta = 0,01$, $T_{\zeta} = 120$ лет					$T = 20$ лет, $T_{xy} = 20$ лет, $T_{yz} = 30$ лет, $\zeta = 0,035$, $T_{\zeta} = 80$ лет				

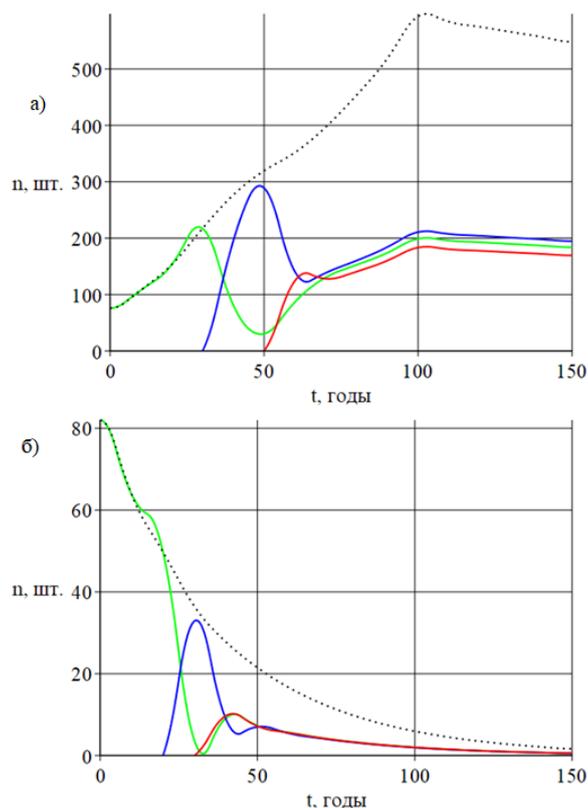


Рисунок 1. Динамика послепожарной сукцессии, построенная по математической модели на участке №1. Кеульская дача, квартал 116, выдел 26, 2001 г. (Верховой пожар):

а) Хвойные деревья; б) Лиственные деревья
 зеленая линия – младшая возрастная группа;
 синяя линия – средняя возрастная группа; красная
 линия – старшая возрастная группа; пунктирная
 линия – оценка общего числа деревьев

Fig. 1. The dynamics of the post-fire succession, built according to a mathematical model on site No. 1. Keulskaya dacha, block 116, allocated 26, 2001. (Top fire):

a) Coniferous trees; b) Deciduous trees.
 green line - juvenile; blue line - middle age group; red line - older age group; dashed line - estimate of total number of trees

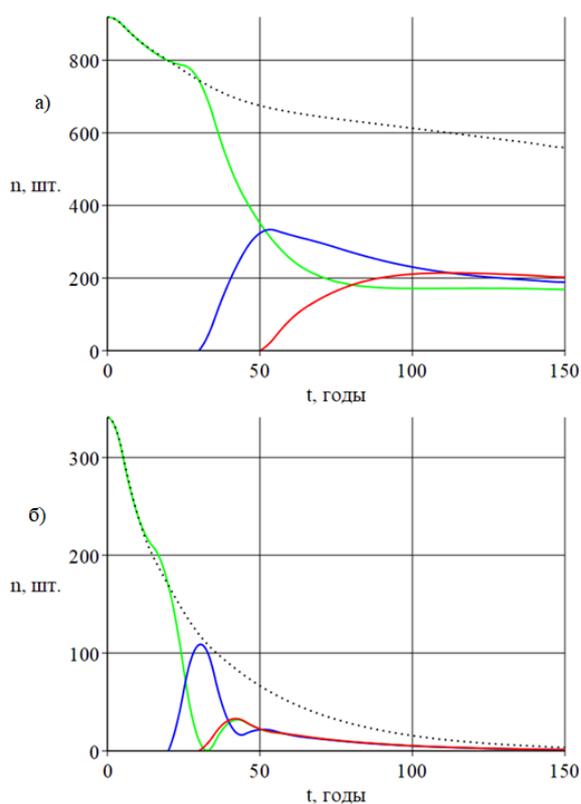


Рисунок 2. Динамика послепожарной сукцессии, построенная по математической модели на участке № 2. Воробьевская дача, квартал 240, выдел 21, 2002 г. (Низовой пожар, устойчивый, средней интенсивности):

а) Хвойные деревья; б) Лиственные деревья
 зеленая линия – младшая возрастная группа;
 синяя линия – средняя возрастная группа; красная
 линия – старшая возрастная группа; пунктирная
 линия – оценка общего числа деревьев

Fig. 2. The dynamics of the post-fire succession, built according to a mathematical model on site No. 2. Vorobyovskaya dacha, block 240, allocated 21, 2002. (Grassroots fire, steady, medium intensity):

a) Coniferous trees; b) Deciduous trees.
 green line - juvenile; blue line - middle age group; red line - older age group; dashed line - estimate of total number of trees

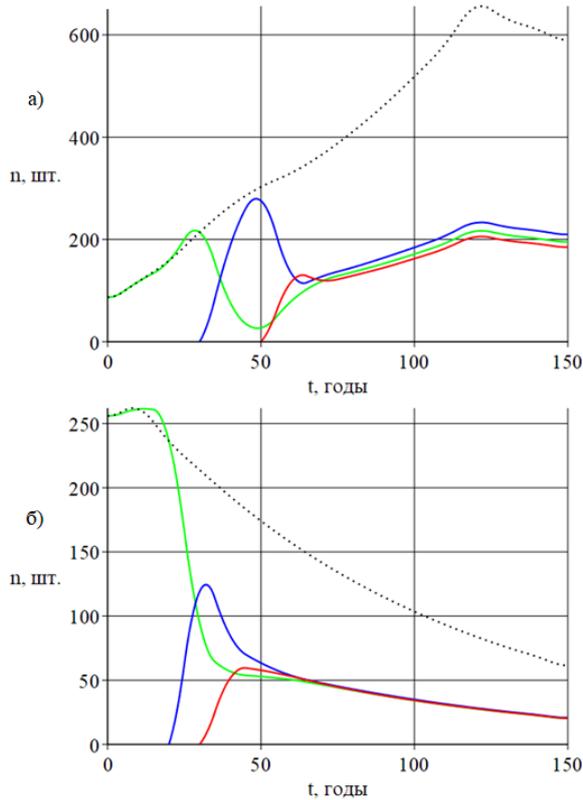


Рисунок 3. Динамика послепожарной сукцессии, построенная по математической модели на участке № 3. Невонская дача, квартал 202, выдел 1, 2006 г. (Низовой пожар, сильный):

а) Хвойные деревья; б) Лиственные деревья
 зеленая линия – младшая возрастная группа;
 синяя линия – средняя возрастная группа; красная
 линия – старшая возрастная группа; пунктирная
 линия – оценка общего числа деревьев

Fig. 3. The dynamics of the post-fire succession, built according to a mathematical model on site No. 3. Novinskaya dacha, block 202, allocated 1, 2006.

(Grassroots fire, strong):

а) Coniferous trees; б) Deciduous trees.
 green line - juvenile; blue line - middle age
 group; red line - older age group; dashed line - estimate
 of total number of trees

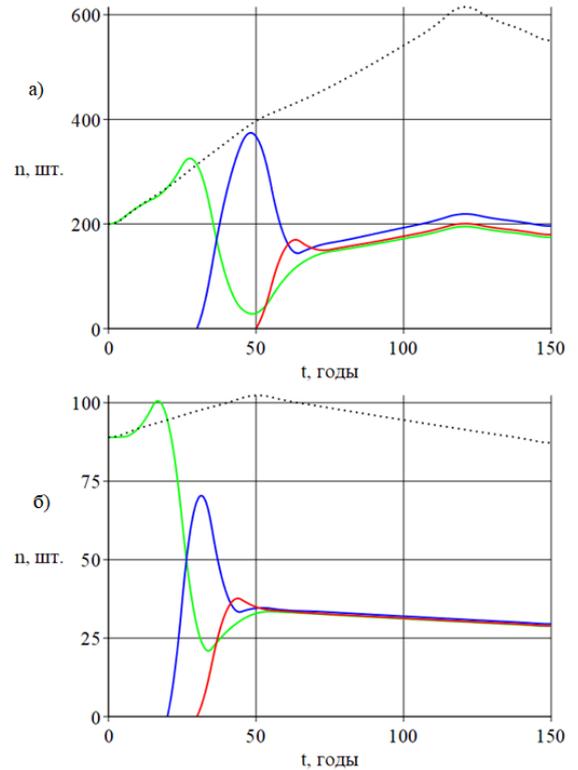


Рисунок 4. Динамика послепожарной сукцессии, построенная по математической модели на участке № 7. Невонское участковое лесничество, квартал 327, выдел 14, 2016 г. (Низовой беглый пожар)

а) Хвойные деревья; б) Лиственные деревья
 зеленая линия – младшая возрастная группа;
 синяя линия – средняя возрастная группа; красная
 линия – старшая возрастная группа; пунктирная
 линия – оценка общего числа деревьев

Fig. 4. The dynamics of post-fire succession, built according to a mathematical model on site No. 7. Nevonskoe district forestry, block 327, allocated 14, 2016. (Lower Runaway Fire)

а) Coniferous trees; б) Deciduous trees.
 green line - juvenile; blue line - middle age
 group; red line - older age group; dashed line - estimate
 of total number of trees

Выводы

Анализ данных табл. 3 и графиков (рис. 1-4) показывает ситуацию, которая складывается после пожаров различной степени интенсивности. После верховых пожаров активно проходит лесовосстановление не только хвойных, но и лиственных по-

род. После верховых пожаров и сильных низовых пожаров увеличивается количество хвойных деревьев и резко уменьшается число лиственных деревьев. Такая тенденция может быть связана с тем, что лиственные породы постепенно создавая лесную среду, создают благоприятные условия для роста хвойных пород.

На площадях, пройденных беглыми пожарами количество лиственных пород также уменьшается, но не так активно.

Процесс лесовосстановления на обследованных гарях можно считать удовлетворительным. После сильных низовых и верховых пожаров идет интенсивное прогорание подстилки, а этот процесс способствует появлению и развитию молодого поколения древостоя.

Список литературы

1. Рудов С.Е. Теоретические исследования экологической совместимости колесных лесных машин и мерзлотных почвогрунтов лесов криолитозоны / С.Е. Рудов, О.А. Куницкая // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. редактор Н.С. Захаров. - 2020. - С. 323-326.
2. Никитина Е.И. Проект организации лесозаготовок в условиях Алданского лесничества с применением многооперационных лесозаготовительных комплексов / Е.И. Никитина, О.А. Куницкая, Ф.В. Николаева // современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и Международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). - 2020. - С. 138-148.
3. Куницкая О.А. Экологические аспекты выборочных рубок леса /О.А. Куницкая, Е.И. Никитина // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации. сборник статей III Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2020": в 3 томах. Белорусский государственный технологический университет, Представительство федерального агентства по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество) в Республике Беларусь. Минск, - 2021. - С. 286-291.
4. Куницкая О.А. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия /О.А. Куницкая, Е.И. Никитина, Ф.В. Николаева // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, - 2021. - С. 308-313.
5. González de Andrés, E. Interactions between climate and nutrient cycles on forest response to global change: the role of mixed forests // *Forests*. – 2019. – Т. 10. – № 8. – P. 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10080609>.
6. Gong, Y. Characterizing Growing Season Length of Subtropical Coniferous Forests with a Phenological Model / Y. Gong, C.L. Staudhammer, S. Wiesner et al. // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 95. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12010095>.
7. Downing W.M. How do plant communities differ between fire refugia and fire-generated early-seral vegetation? / W.M. Downing, M.A. Krawchuk, G.W. Meigs, C. Tortorelli, J.D. Coop, R.B. Walker, S.L. Haire, E. Whitman, G. Chong, C. Miller // *Journal of Vegetation Science*. 2020. Т. 31. № 1. С. 26-39.
8. Grau-Andrés, R. Responses of bryosphere fauna to drought across a boreal forest chronosequence / R. Grau-Andrés, S. Thieffry, S. Tian et al. // *Oecologia*. – 2022. – Vol. 200. – № 1-2. – P. 231-245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05255-z>.
9. Stephenson, S.L. Assemblages of myxomycetes associated with three different substrates affected by forest wildfires / S.L. Stephenson, N. Payal, G. Kaur, C. Rojas // *Plant Ecology and Evolution*. – 2021. – Vol. 154. – № 1. – P. 15-27. DOI: <https://doi.org/10.5091/plecevo.2021.1762>.

10. Ponce-Calderón, L. Historical fire ecology and its effect on vegetation dynamics of the Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, México / L. Ponce-Calderón, D. Rodríguez-Trejo, J. Villanueva-Díaz et al. // *iForest - Biogeosciences and Forestry*. – 2021. – Vol. 14. – № 6. – P. 548-559. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer3682-014>.
11. João, T. Indicator-based assessment of post-fire recovery dynamics using satellite NDVI time-series / T. João, G. João, M. Bruno, H. João // *Ecological Indicators*. – 2018. – Vol. 89. – P. 199-212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.008>.
12. Жила С.В. Лесовозобновление после пожаров разной интенсивности в сосняках средней Сибири / С.В. Жила, Г.А. Иванова, В.А. Иванов, П.А. Цветков // *Сибирский лесной журнал*. - 2019. - № 6. - С. 53-62.
13. Глушко С.Г. Формирование молодняков после рубок и пожаров в темнохвойных осокново-папоротниковых лесах южного Сихотэ-Алиня / С.Г. Глушко, Т.А. Комарова, Н.Б. Прохоренко // *Лесоведение*. 2022. № 2. С. 144-156.
14. Бибаева А.Ю., Макаров А.А., Ноговицын В.Н. Послепожарное восстановление растительного покрова северной части Приморского хребта / А.Ю. Бибаева., А.А. Макаров., В.Н. Ноговицын // *Географический вестник*. 2022. № 3 (62). С. 6-18. 2. С. 144-156.
15. Габышева Л.П. . Лесовосстановление на гарях Юго-Западной Якутии (на примере Олекминского района) / Л.П. Габышева // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 5-3 (85). С. 335-340.
16. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В., Балтухаев А.К., Дагуров П.Н. Исследование восстановления соснового леса после пожара на основе поляриметрических и оптических данных на тестовом участке Байкальского региона / И.И. Кирбижекова., Т.Н. Чимитдоржиев., А.В. Дмитриев., А.К. Балтухаев., П.Н. Дагуров // В книге: *Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. С. 352. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/mnlfkv>.
17. Литвинцева З.О. Современные преобразования геосистем западного макросклона Баргузинского хребта / З.О. Литвинцева // *Известия Иркутского государственного университета*. Серия: Науки о Земле. - 2021. - Т. 38. - С. 88-99.
18. Соболев С.А., Денисов А.Н., Колчин Е.А. Влияние пирогенного фактора на природные экосистемы / С.А. Соболев., А.Н. Денисов., Е.А. Колчин. // В сборнике: *Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения*. Материалы Международной научно-практической конференции. Составители Н.С. Шуваев, Е.А. Колчин, Д.А. Пензерь. 2019. С. 63-69. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. С. 352.
19. Гынинова А.Б., Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Гынинова Б.Д., Гончиков Б.М.Н., Бадмаев Н.Б., Сымпилова Д.П. Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах Юго-Восточного Прибайкалья / А.Б. Гынинова., Л.Л. Убугунов., А.И. Куликов., Б.Д. Гынинова., Б.М.Н. Гончиков., Н.Б., Бадмаев Д.П. Сымпилова // *Сибирский экологический журнал*. 2020. Т. 27. № 1. С. 13-25.
20. Морковина С.С. Оценка экономических угроз лесных пожаров экспертным методом / С.С. Морковина, В.В. Манмарева // *Стратегии противодействия угрозам экономической безопасности России*. Материалы II Всероссийского форума по экономической безопасности. Выпуск II. - 2019. - С. 245-249.
21. Куницкая О.А. Перспективные направления развития транспортно-технологических систем лесного комплекса России / О.А. Куницкая, Д.И. Степанова, М.Ф. Григорьев // *Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе*. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. - 2018. - С. 109-114.
22. Давтян А.Б. Оценка эффективности создания и эксплуатации энергетических лесных плантаций / А.Б. Давтян, О.А. Куницкая, М.Ф. Григорьев, Д.И. Степанова // *Энергоэффективность и энергосбережение в*

современном производстве и обществе. материалы международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 61-65.

23. Kunickaya O. Cultivation of the targeted forest plantations / O. Kunickaya, V. Tanyukevich, D. Khmeleva, A. Kulik, E. Runova, V. Savchenkova, A. Voronova, M. Lavrov // *Journal of Environmental Treatment Techniques*. - 2020. - Т. 8. - № 4. - С. 1385-1393.

24. Кутявин И.Н. Роль лесных пожаров в структурной организации древостоев сосновых лесов Европейского Северо-Востока / И.Н.Кутявин // В сборнике: Актуальные проблемы биологии и экологии. Материалы докладов XXVIII Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы). Отв. редактор С.В. Дегтева. Сыктывкар, 2021. С. 10-13.

References

1. Rudov S.E. Teoreticheskie issledovaniya ekologicheskoy sovместимости kolesnyh lesnyh mashin i merzlotnyh pochvogruntov lesov kriolitozony / S.E. Rudov, O.A. Kunickaya // *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Отв. редактор N.S. Zaharov. - 2020. - С. 323-326.

2. Nikitina E.I. Proekt organizacii lesozagotovok v usloviyah Aldanskogo lesnichestva s primeneniem mnogooperacionnyh lesozagotovitel'nyh kompleksov / E.I. Nikitina, O.A. Kunickaya, F.V. Nikolaeva // *sovremennye problemy i dostizheniya agrarnoy nauki v Arktike. Sbornik nauchnyh statej po materialam Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem v ramkah «Severnogo foruma – 2020» (29–30 sentyabrya 2020 g., YAkutsk) i Mezhdunarodnoj nauchnoj on-lajn letnej shkoly – 2020 (6–20 iyulya 2020 g., YAkutsk)*. - 2020. - С. 138-148.

3. Kunickaya O.A. Ekologicheskie aspekty vyborochnykh rubok lesa / O.A. Kunickaya, E.I. Nikitina // *Ekologo-ekonomicheskie i tekhnologicheskie aspekty ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' i Rossijskoj Federacii. sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Minskie nauchnye chteniya-2020": v 3 tomah. Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, Predstavitel'stvo federal'nogo agentstva po delam SNG, sootchestvennikov, prozhivayushchih za rubezhom, i po mezhdunarodnomu gumanitarnomu sotrudnichestvu (Rossotrudnichestvo) v Respublike Belarus'. Minsk, - 2021. - С. 286-291.*

4. Kunickaya O.A. Osobennosti lesozagotovki v Respublike Saha YAkutiya / O.A. Kunickaya, E.I. Nikitina, F.V. Nikolaeva // *Upravlenie zemelnymi resursami, zemleustrojstvo, kadastr, geodeziya i kartografiya. Problemy i perspektivy razvitiya. Sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 255-letiyu Zemleustrojstvu YAkutii i Godu nauki i tekhnologii. YAkutsk, - 2021. - С. 308-313.*

5. González de Andrés, E. Interactions between climate and nutrient cycles on forest response to global change: the role of mixed forests // *Forests*. – 2019. – Т. 10. – № 8. – P. 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10080609>.

6. Gong, Y. Characterizing Growing Season Length of Subtropical Coniferous Forests with a Phenological Model / Y. Gong, C.L. Staudhammer, S. Wiesner et al. // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 95. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12010095>.

7. Downing W.M. How do plant communities differ between fire refugia and fire-generated early-seral vegetation? / W.M. Downing, M.A. Krawchuk, G.W. Meigs, C. Tortorelli, J.D. Coop, R.B. Walker, S.L. Haire, E. Whiteman, G. Chong, C. Miller // *Journal of Vegetation Science*. 2020. Т. 31. № 1. С. 26-39.

8. Grau-Andrés, R. Responses of bryosphere fauna to drought across a boreal forest chronosequence / R. Grau-Andrés, S. Thieffry, S. Tian et al. // *Oecologia*. 2022. Vol. 200. № 1-2. P. 231-245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-022-05255-z>.

9. Stephenson, S.L. Assemblages of myxomycetes associated with three different substrates affected by forest wildfires / S.L. Stephenson, N. Payal, G. Kaur, C. Rojas // *Plant Ecology and Evolution*. – 2021. – Vol. 154. – № 1. – P. 15-27. DOI: <https://doi.org/10.5091/plecevo.2021.1762>.

10. Ponce-Calderón, L. Historical fire ecology and its effect on vegetation dynamics of the Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, México / L. Ponce-Calderón, D. Rodríguez-Trejo, J. Villanueva-Díaz et al. // *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2021. Vol. 14. № 6. P. 548-559. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3682-014>.
11. João, T. Indicator-based assessment of post-fire recovery dynamics using satellite NDVI time-series / T. João, G. João, M. Bruno, H. João // *Ecological Indicators*. – 2018. – Vol. 89. – P. 199-212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.008>.
12. Zhila S.V. Lesovozobnovlenie posle pozharov raznoj intensivnosti v sosnyakah srednej Sibiri / S.V. Zhila, G.A. Ivanova, V.A. Ivanov, P.A. Cvetkov // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. - 2019. - № 6. - S. 53-62.
13. Glushko S.G. Formation of young trees after logging and fires in dark coniferous sedge-fern forests of southern Sikhote-Alin / S.G. Glushko, T.A. Komarova, N.B. Prokhorenko // *Forest management*. 2022. No. 2. pp. 144-156.
14. Bikbaeva A.Yu., Makarov A.A., Nagovitsyn V.N. Post-fire restoration of vegetation cover of the northern part / Primorsky ridge / A.Yu. Bibaeva., A.A. Makarov., V.N. Nogovitsyn // *Geographical Bulletin*. 2022. No. 3 (62). pp. 6-18. 2. pp. 144-156.
15. Gabysheva L.P. Reforestation in the burning areas of Southwestern Yakutia (on the example of the Olekminsky district) / L.P. Gabysheva // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018. Vol. 20. No. 5-3 (85). pp. 335-340.
16. Kirbizhekova I.I., Chimitdorzhiev T.N., Dmitriev A.V., Baltukhaev A.K., Dagurov P.N. Investigation of pine forest restoration after a fire based on polarimetric and optical data at a test site of the Baikal region / I.I. Kirbizhekova., T.N. Chimitdorzhiev., A.V. Dmitriev., A.K. Baltukhaev., P.N. Dagurov.// In the book: *Materials of the 19th International Conference "Modern Problems of remote sensing of the Earth from space"*. Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2021. p. 352
17. Litvinceva Z.O. Sovremennyye preobrazovaniya geosistem zapadnogo makrosklona Barguzinskogo hrebta / Z.O. Litvinceva // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2021. T. 38. S. 88-99.
18. Sobolev S.A., Denisov A.N., Kolchin E.A. The influence of the pyrogenic factor on natural ecosystems / S.A. Sobolev., A.N. Denisov., E.A. Kolchin. // In the collection: *Modern research in Earth Sciences: a retrospective, current trends and prospects for implementation. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Compiled by N.S. Shuvaev, E.A. Kolchin, D.A. Penzer. 2019. pp. 63-69. "Modern problems of remote sensing of the Earth from space". Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences. Moscow, 2021. p. 352.
19. Gyninova A.B., Ubugunov L.L., Kulikov A.I., Gyninova B.D., Gonchikov B.M.N., Badmaev N.B., Sampilova D.P. Post-fire evolution of forest ecosystems on sandy terraces of the Southeastern Baikal region. / A.B. Gyninova., L.L. Ubugunov., A.I. Kulikov., B.D. Gyninova., B.M.N. Gonchikova., N.B., Badmaev D.P. Sampilova // *Siberian Ecological Journal*. 2020. Vol. 27. No. 1. pp. 13-25.
20. Morkovina S.S. Ocenka ekonomicheskikh ugroz lesnykh pozharov ekspertnym metodom / S.S. Morkovina, V.V. Manmareva // *Strategii protivodejstviya ugrozam ekonomicheskoy bezopasnosti Rossii. Materialy II Vserossijskogo foruma po ekonomicheskoy bezopasnosti. Vypusk II*. - 2019. - S. 245-249.
21. Kunickaya O.A. Perspektivnye napravleniya razvitiya transportno-tekhnologicheskikh sistem lesnogo kompleksa Rossii / O.A. Kunickaya, D.I. Stepanova, M.F. Grigor'ev // *Energoeffektivnost' i energo-sberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod obshchej redakciej V.A. Gulevskogo*. - 2018. - S. 109-114.
22. Davtyan A.B. Ocenka effektivnosti sozdaniya i ekspluatatsii energeticheskikh lesnykh plantacij / A.B. Davtyan, O.A. Kunickaya, M.F. Grigor'ev, D.I. Stepanova // *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve. materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. - 2019. - S. 61-65.

23. Kunickaya O. Cultivation of the targeted forest plantations / O. Kunickaya, V. Tanyukevich, D. Khmeleva, A. Kulik, E. Runova, V. Savchenkova, A. Voronova, M. Lavrov // Journal of Environmental Treatment Tech-niques. - 2020. - Т. 8. - № 4. - S. 1385-1393.

24. Kutyavin I.N. The role of forest fires in the structural organization of stands of pine forests of the European Northeast / I.N. Kutyavin // In the collection: Actual problems of biology and ecology. Materials of the reports of the XXVIII All-Russian Youth Scientific Conference (with elements of a scientific school). Editor S.V. Degteva. Syktyvkar, 2021. pp. 10-13.

Сведения об авторах

✉ *Григорьева Ольга Ивановна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, e-mail: grigoreva_o@list.ru.

Гринько Олег Иванович – аспирант ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», ул. Макаренко, 40, Братск, 665709, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1011-0329>, e-mail: goi2@yandex.ru

Григорьев Игорь Владиславович – доктор технических наук, профессор кафедры технология и оборудование лесного комплекса ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», шоссе Сергеляхское, 3 км., 3, г. Якутск, Российская федерация, 677007; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, e-mail: silver73@inbox.ru

Калита Евгений Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», ул. Тихоокеанская, 136, г. Хабаровск, Российская Федерация, 680035, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6279-2742>, e-mail: 007203@pnu.edu.ru

Тихонов Евгений Андрьянович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных и технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Российская Федерация, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2136-3268>, e-mail: tihonov@petsu.ru

Information about authors

✉ *Olga I. Grigoreva* – Associate Professor of the Department of Forestry, Saint Petersburg state forest engineering university named after S.M. Kirov, Institutsky lane, 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, e-mail: grigoreva_o@list.ru

Oleg I. Grinko – Postgraduate student of the Bratsk State University, 40 Makarenko str., Bratsk, 665709, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1011-0329>, e-mail: goi2@yandex.ru

Igor V. Grigorev - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of the Forestry Complex, Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe highway, 3, km. 3, Yakutsk, Russian Federation, 677007; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>, e-mail: silver73@inbox.ru

Evgeny G. Kalita – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Resource Use and Life Safety, Pacific State University, 136 Ti-khookeanskaya Str., Khabarovsk, Russian Federation, 680035, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6279-2742>, e-mail: 007203@pnu.edu.ru

Evgeny A. Tikhonov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment, Petrozavodsk State University, ave. Lenin, 33, Petrozavodsk, Russian Federation, 185910, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2136-3268>, e-mail: tihonov@petsu.ru

✉ – Для контактов | Corresponding author