

Краткое сообщение

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/13>

УДК 630*432.1



К вопросу о неравномерности уровней почвенно-грунтовых вод на примере Архангельской области в контексте использования установок водопонижения при тушении лесных пожаров

Анатолий С. Лоренц¹ ✉, a.lorents@narfu.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0906-8779>

Алексей В. Прохоров¹, a.prohorov@narfu.ru  <http://orcid.org/0000-0003-0091-3988>

Ольга И. Григорьева², grigoreva_o@list.ru  <http://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

Игорь В. Григорьев³, silver73@inbox.ru  <http://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Георгий А. Калита⁴, g.kalita@mail.ru  <http://orcid.org/0000-0003-3232-6841>

Владимир А. Морковин⁵, morkovin-vladimir@mail.ru  <http://orcid.org/0000-0003-5822-2254>

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, Архангельск, 163002, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский переулок, 5, Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Сергеляхское шоссе, 3 км, д. 3, Якутск, 677007, Российская Федерация

⁴ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, 680035, Российская Федерация

⁵ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, Воронеж, 394087, Российская Федерация

Грунтовые гравитационные воды, находящиеся между поверхностным слоем и слоем водонепроницаемой породы (инфильтрационное происхождение), характеризуются способностью к перемещению с заполнением имеющихся возможных пустот в грунте. Прокладка гидрогеологических створов для изучения уклона уровня залегания почвенно-грунтовых гравитационных вод к месту разгрузки (ручьи, реки, озера, низинные болота) на лесных площадях, подверженных пожарной опасности, не всегда достоверно оценивает равномерность (или неравномерность) их залегания. Для проведения натурного эксперимента, подтверждающего гипотезу неравномерности залегания уровня грунтовых вод по отношению к месту разгрузки (на примере Архангельской области), выбран вариант, основанный на принципе создания исследуемой плоскости методом бурения скважин в двух перпендикулярных направлениях через равные промежутки. Расстояние между скважинами выбирали исходя из принятой площади наблюдения и необходимой точности получаемого результата. Исследование проводили с 1 июня 2022 г. по 28 августа 2022 г. Результаты доказывают неравномерность залегания уровня (минимальный наблюдаемый экстремум – 21 см, максимальный – 100 см, среднее значение колебаний уровня – 27,8 см) грунтовых вод по отношению к месту разгрузки на примере Архангельской области. В будущем результаты возможно использовать для позиционирования установок водопонижения при тушении лесных пожаров.

Ключевые слова: уровень грунтовых вод, Архангельская область, экспериментальное исследование, лес, водопонижение, тушение лесных пожаров

Финансирование: работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Часть материалов исследования получена при выполнении работ по гранту Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: К вопросу о неравномерности уровней почвенно-грунтовых вод на примере Архангельской области в контексте использования установок водопонижения при тушении лесных пожаров / А. С. Лоренц, А. В. Прохоров, О. И. Григорьева, И. В. Григорьев, Г. А. Калита, В. А. Морковин // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 227–238. – *Библиогр.: с. 234–237 (25 назв.).* – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/13>.

Поступила 18.04.2024. *Пересмотрена* 17.05.2024 *Принята* 23.05.2024 *Опубликована онлайн* 17.06.2024

Short communication

On the issue of uneven groundwater levels based on Arkhangelsk region in the context of the dewatering installations used for extinguishing forest fires

Anatoly S. Lorentz¹✉, a.lorents@narfu.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0906-8779>

Alexey V. Prokhorov¹, a.prohorov@narfu.ru  <http://orcid.org/0000-0003-0091-3988>

Olga I. Grigoreva², grigoreva_o@list.ru  <http://orcid.org/0000-0001-5937-0813>

Igor V. Grigorev³, silver73@inbox.ru  <http://orcid.org/0000-0002-5574-1725>

Georgy A. Kalita⁴, g.kalita@mail.ru  <http://orcid.org/0000-0003-3232-6841>

Vladimir A. Morkovin⁵, morkovin-vladimir@mail.ru  <http://orcid.org/0000-0003-5822-2254>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17, Russian Federation

²St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Institutsky Lane, 5, St. Petersburg, 194021, Russian Federation

³Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoe Hw, 3 km., 3, Yakutsk, 677007, Russian Federation

⁴Pacific State University, Pacific str., 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation

⁵Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The ground gravity waters located between the surface layer and the layer of waterproof rock (infiltration origin) are characterized by the ability to move with filling of the available possible voids in the soil. The laying of hydrogeological gates to study the slope of the level of occurrence of soil-groundwater gravity waters to the place of discharge (streams, rivers, lakes, lowland swamps) in forest areas exposed to fire danger does not always reliably assess the uniformity (or unevenness) of their occurrence. To conduct a full-scale experiment confirming the hypothesis of uneven occurrence of the groundwater level in relation to the unloading site (using the example of the Arkhangelsk region), an option based on the principle of creating the plane under study by drilling wells in two perpendicular directions at regular intervals was chosen. The distance between the wells was chosen based on the accepted observation area and the required accuracy of the result obtained. The study was conducted from June 1, 2022 to August 28, 2022. The results prove the uneven occurrence of the level (the minimum observed extreme is 21 cm, the maximum is 100 cm, the average value of level fluctuations is 27.8 cm) of groundwater in relation to the unloading site using the example of the Arkhangelsk region. In the future, the results may be used to position of dewatering installations when extinguishing forest fires.

Keywords: *groundwater level, Arkhangelsk region, experimental research, forest, dewatering, extinguishing forest fires*

Funding: this study was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of logging industry and forestry". Some of the research materials were obtained while performing work under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

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

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

For citation: Lorentz A. S., Prokhorov A. V., Grigoreva O. I., Grigorev I. V., Kalita G. A., Morkovin V. A. (2024). On the issue of uneven groundwater levels based on Arkhangelsk region in the context of the dewatering installations used for extinguishing forest fires. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 227-238 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/13>.

Received 18.04.2024. *Revised* 17.05.2024. *Accepted* 23.05.2024. *Published online* 17.06.2024.

Введение

Ежегодно лесные пожары уничтожают обширные территории таежных лесов Европейской части РФ и Сибири. Только за 2022 год на территории Российской Федерации по данным Рослехоза выгорело около 3,5 млн гектаров лесов [5, 8]. Одной из проблем тушения лесных пожаров являются недостаточность источников воды и трудность с использованием имеющихся водоемов для пожаротушения [1-3]. Одним из перспективных методов тушения лесных пожаров является использование иглофильтрационных установок вакуумного водопонижения, преимущества которых рассмотрены в [18, 19]. Однако, для введения в практику лесного пожаротушения данных установок необходимо изучить специфику распределения почвенно-грунтовых вод под лесными массивами.

Уровень почвенно-грунтовых вод на обширных территориях на данный момент изучается путем прокладки гидрогеологических створов [7]. Такой способ исследования гидрогеологических особенностей лесных территорий не позволяет оценить все факторы, влияющие как на глубину залегания грунтовых вод, так и на неравномерность уклона уровня залегания грунтовых вод к месту разгрузки (низинные болота, ручьи, реки, озера и т.п.).

При сравнительно неглубоком залегании грунтовых вод от дневной поверхности в почвенном профиле выделяются 3 зоны: избытка влаги, опти-

мального увлажнения и недостатка влаги, отличающиеся качественно по водно-воздушному режиму [10, 11, 13]. Для эффективного использования иглофильтрационных водопонижающих установок важно располагать их в зоне оптимального увлажнения и ниже, чтобы поступление влаги к иглофильтрам было постоянным [16, 20].

Целью исследования является построение модели залегания уровня почвенно-грунтовых вод по отношению к месту разгрузки на участке с однородным растительным и почвенным покровом.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является неравномерность уровней почвенно-грунтовых вод в Архангельской области, в контексте их влияния на эффективность использования установок водопонижения при тушении лесных пожаров. Предметом исследования являются методы и технологии водопонижения, а также особенности их применения при тушении лесных пожаров.

Для проведения натурального эксперимента был выбран участок сосняка черничного IV класса бонитета на торфяно-подзолисто-глеевой почве. Участок исследования был выбран на труднодоступной территории с отсутствием водоемов, подходящих для эффективного пожаротушения – о. Линский Прилук в дельте р.Северная Двина. Данная территория является частью городской территории. Разгрузка почвенно-грунтовых вод происходит в исток

реки Муткурьи и верховое болото, располагающееся на северо-востоке от участка исследования (рис. 1).

Сбор и анализ данных

В исследовании использовали метод построения графической модели стока почвенно-грунтовых вод, основанный на принципе создания исследуемой плоскости методом бурения скважин в двух перпендикулярных направлениях через равные промежутки [12, 17]. Расстояние между скважинами было выбрано исходя из площади однородного участка сосняка черничного и необходимой точности получаемого результата. Исходя из таксационной характеристики исследуемого участка лесного массива уровень приема модулем беспроводного сигнала может варьироваться в широком диапазоне значений расстояния. Соответственно максимально возможное расстояние, на которое могут быть установлены микроконтроллеры, должны подбираться эмпирически в зависимости от условий окружающей среды.

Предварительное бурение и установка контрольно-измерительного оборудования на территории лесонасаждений Архангельской области показала достаточную точность измеряемых показателей при отдаленности скважин на расстоянии 50 м друг от друга.

На рис. 1 представлена карта местности с нанесенными координатами в количестве 25 точек, обозначенных на отдалении 50 метров друг от друга. Табл. 1 демонстрирует координатную сетку экспериментального исследования.



Рисунок 1. Карта местности проведения эксперимента

Figure 1. Map of the area of the experiment

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Для повышения точности позиционирования измерительных скважин были применены системы глобального позиционирования через спутниковую навигацию. В каждой измерительной скважине установлено измерительное оборудование с программируемым микроконтроллером и присвоен условный номер, включающий в себя порядковые номера ряда и номер скважины. Бурение измерительных скважин проводили при помощи ручного бура «Мобил К БР-150 Комфорт». Первичное разведывательное бурение местности показало, что максимально необходимое заглубление для получения точных показателей может не превышать 150 см. Общий вид участка заложения измерительной скважины приведен на рис. 2.

Таблица 1

Координатная сетка проведения экспериментального исследования

Table 1

Coordinate grid of the experimental study

64°41'08.2"N 40°27'21.7"E	64°41'08.2"N 40°27'25.5"E	64°41'08.2"N 40°27'29.4"E	64°41'08.3"N 40°27'33.3"E	64°41'08.3"N 40°27'37.1"E
64°41'06.5"N 40°27'21.6"E	64°41'06.6"N 40°27'25.5"E	64°41'06.6"N 40°27'29.4"E	64°41'06.6"N 40°27'33.2"E	64°41'06.6"N 40°27'37.1"E
64°41'04.9"N 40°27'21.5"E	64°41'04.9"N 40°27'25.4"E	64°41'04.9"N 40°27'29.3"E	64°41'04.9"N 40°27'33.1"E	64°41'04.8"N 40°27'37.0"E
64°41'03.2"N 40°27'21.6"E	64°41'03.3"N 40°27'25.4"E	64°41'03.2"N 40°27'29.3"E	64°41'03.2"N 40°27'33.2"E	64°41'03.2"N 40°27'37.1"E
64°41'01.5"N 40°27'21.4"E	64°41'01.5"N 40°27'25.3"E	64°41'01.5"N 40°27'29.2"E	64°41'01.4"N 40°27'33.1"E	64°41'01.4"N 40°27'37.0"E

Источник: собственные вычисления авторов / Source: own calculations



Рисунок 2. Бурение лунок по контрольным координатам

Figure 2. Drilling holes on control coordinates

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Также во время проведения эксперимента выявлена необходимость в изолировании скважины на уровне поверхности для исключения попадания внутрь земноводных и мелких млекопитающих, что существенно увеличивает трудоемкость поиска скважин для снятия информации при классическом методе сбора данных. Уменьшение трудоемкости сбора исследуемой информации в представленном

варианте достигается использованием технологий беспроводной передачи данных и их аккумулярование на твердотельном накопителе, подключенному к программируемому микроконтроллеру, с которого информация передается посредством GSM-технологий.

Исследование проводилось с 1 июня 2022 г. по 28 августа 2022 г. С 18 по 30 августа 2022 года из-за аномально сухой и жаркой погоды в Архангельской области установлен особый противопожарный режим, запрещающий нахождение населения в лесополосе. Описанный выше вариант получения экспериментальных данных позволил не прерывать проведение эксперимента и выполнить его в полном объеме.

Результаты

Табл. 2 демонстрирует значения залегания уровня грунтовых вод, структурированные по неделям для уменьшения массива данных.

Таблица 2

Полученные экспериментальные данные исследования уровня грунтовых вод

Table 2

Obtained experimental data from the study of the groundwater level

Номер Num- ber	Уровень грунтовых вод, см Groundwater level, cm													Среднее значение, Average value, cm	Среднекв. отклон., см Standard deviation, cm
	05.06	12.06	19.06	26.06	03.07	10.07	17.07	24.07	31.07	07.08	14.08	21.08	28.08		
1	95	94	92	90	89	88	96	87	88	86	90	83	75	88,65	5,57
2	56	56	57	60	64	58	56	46	34	46	54	56	58	53,94	7,75
3	61	61	59	54	65	70	62	64	36	48	62	63	64	59,18	8,77
4	64	65	67	78	70	68	63	63	53	57	60	58	56	63,23	6,70
5	85	86	87	83	95	95	84	100	84	85	95	96	97	90,14	6,18
6	74	75	78	76	75	74	70	77	57	64	70	71	71	69,88	4,97
7	46	48	52	60	60	54	44	36	27	39	53	63	72	50,31	12,15
8	41	42	44	50	50	48	40	40	21	34	42	44	45	41,58	7,59
9	44	46	49	56	48	47	43	41	25	35	47	45	43	43,76	7,40
10	62	63	64	61	70	75	62	68	44,5	53	68	70	71	63,92	8,10
11	75	74	71	69	78	78	77	82	56	62	66	69	72	71,46	7,19
12	70	68	65	66	64	68	71	65	35	52	59	60	60	61,74	9,57
13	73	74	75	74	75	80	72	77	60	69	80	78	76	74,06	5,25
14	77	78	79	81	80	86	77	82	69	73	78	78	77	78,03	4,10

Номер Num- ber	Уровень грунтовых вод, см Groundwater level, cm													Среднее значение, см Average value, cm	Среднекв. отклон., см Standard deviation, cm
	05.06	12.06	19.06	26.06	03.07	10.07	17.07	24.07	31.07	07.08	14.08	21.08	28.08		
15	63	63	62	60	78	80	63	69	48,5	56	64	66	68	64,64	8,26
16	73	73	71	71	78	76	74	75	59	67	69	68	67	70,87	4,97
17	61	62	63	66	73	67	60	61	40	51	63	63	62	60,83	7,95
18	53	53	52	50	69	62	53	53	26	40	54	55	56	51,99	10,19
19	63	62	59	60	72	68	64	66	42	54	53	59	65	60,48	7,65
20	70	70	69	70	78	76	70	75	58	63	68	70	72	69,91	5,22
21	63	63	63	64	68	75	63	69	56	57	62	62	61	63,50	4,96
22	62	63	64	64	73	76	61	70	50	56	68	66	64	64,37	6,80
23	57	57	58	59	69	67	57	59	36	49	57	59	60	57,21	8,00
24	47	48	48	46	60	57	47	49	26	42	52	53	54	48,41	8,30
25	61	61	60	58	65	69	61	68	45	49	61	61	61	59,94	6,61

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Полученные результаты демонстрируют минимальный наблюдаемый экстремум в 21 см. и максимальный, равный 100 см. Среднее значение колебаний уровня 27,8 см. Явно выраженного уклона уровня не выявлено, что доказывает неравномерность залегания грунтовых вод.

Обсуждение

На рис. 3 представлена графическая интерпретация средних значений экспериментального ис-

следования, выраженная в виде сплайнового графика плоскости залегания уровня грунтовых вод от земной поверхности. По оси «х» и «у» представлена плоскость, образуемая установленными измерительными скважинами, по оси «z» указаны средние значения показателей в сантиметрах уровня грунтовых вод от поверхности земли в исследуемый промежуток времени.

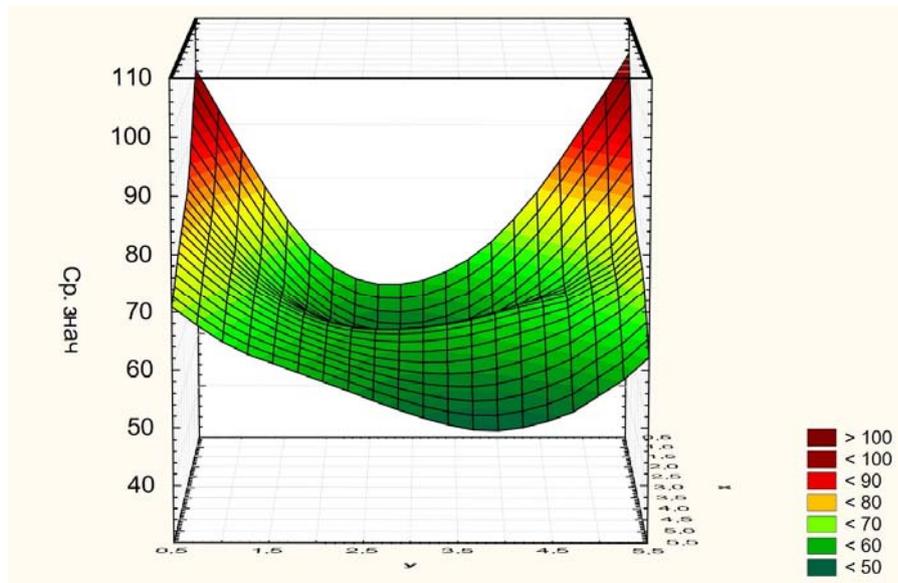


Рисунок 3. График плоскости залегания уровня грунтовых вод от земной поверхности

Figure 3. Graph of the plane of the groundwater level from the earth's surface

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Представленный график плоскости залегания грунтовых вод демонстрирует перепады усредненных значений в 48,5 см при минимальном расстоянии от поверхности в 41,6 см.

Рис. 4 отражает неравномерность залегания средних значений уровня залегания грунтовых вод измерительных скважин с представлением среднеквадратичного отклонения.

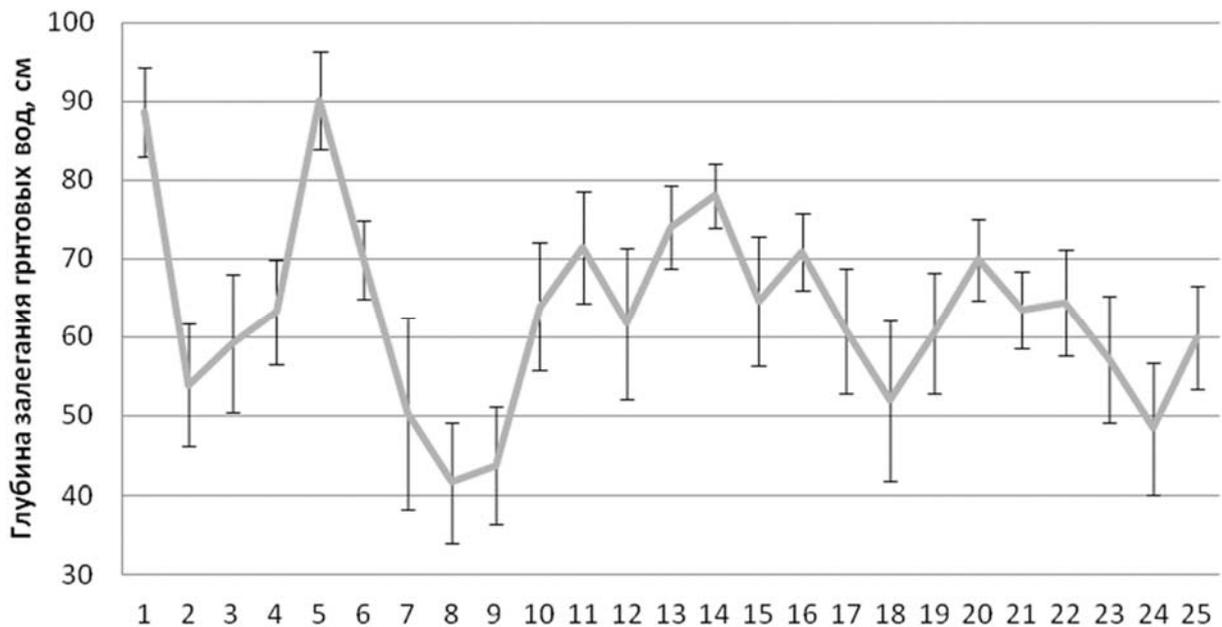


Рисунок 4. График глубины залегания уровня грунтовых вод от земной поверхности

Figure 4. Graph of the depth of the groundwater level from the earth's surface

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Исследование показало неравномерность залегания уровня грунтовых вод по отношению к месту разгрузки на примере северотаежного сосняка черничного. Полученные экспериментальным путем результаты возможно использовать для расчета наиболее эффективного расположения установок водопонижения при тушении лесных пожаров.

Заключение

Таким образом, экспериментальным путем построена графическая модель уровня залегания почвенно-грунтовых вод и установлены сезонные колебания, подтверждающие неравномерность залегания по отношению к местам разгрузки. Однако

для расширения результатов необходимы более глубокие исследования взаимосвязи уровня грунтовых вод в совокупности с природно-климатическими условиями: температура и влажность окружающей среды, влажность поверхностного слоя почвы и т.п., а также с типом лесорастительных условий. Построенная модель глубины залегания почвенно-грунтовых вод дает возможность проведения дальнейшей серии испытаний иглофильтрационных вакуумных установок водопонижения в исследованном типе лесорастительных условий, направленной на исследование возможности применения таких установок при тушении лесных пожаров [4, 6, 9] в совокупности со средствами малой механизации [14, 15].

Список литературы

1. Станкевич Т. С. Прогнозирование пространственного поведения лесного пожара при неопределенности и нестационарности процесса // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 1 (379). С. 20-34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44729444>.
2. Подрезов Ю. В. Основные направления предупреждения чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 2 (392). С. 172-182. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50793233>.
3. Иванов В. П., Марченко С. И., Нартов Д. И. Противопожарная профилактика лесных объектов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 3 (369). С. 43-54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38239726>.
4. Лоренц А. С., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Рябухин П. Б. Исследование применения иглофильтров в составе вакуумных установок для повышения эффективности борьбы с лесными пожарами // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 124-129. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54940793>.
5. Котельников Р. В., Мартынюк А. А. Математическая оценка достоверности информации о лесных пожарах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 3 (393). С. 21-34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53987617>.
6. Забоев И. А. Водопонижение при помощи иглофильтровых установок // Актуальные проблемы формирования и развития национальных инновационных систем : материалы международной научно-практической конференции. Институт управления и социально-экономического развития, Саратовский государственный технический университет. 2019. С. 46-48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37094132>.
7. Ольгаренко В. И., Ольгаренко И. В., Семенов С. Я., Ольгаренко В. И. Формирование структуры влагообмена зоны аэрации орошаемого поля в условиях присутствия капиллярной каймы в толще грунта // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 3. С. 1-16. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54331607>.
8. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 1 (373). С. 9-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42446368>.
9. Применение иглофильтровых установок в Санкт-Петербурге / Ю. В. Волкова, А. И. Шкваров, Н. Р. Духопельникова, В. М. Рудевский // Неделя науки СПбПУ : Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 года. – Санкт-Петербург: Политех-пресс, 2018. – С. 136-138. URL: <https://elibrary.ru/yteipr>.

10. Обухов П. В., Юдина А. Ф. Виды и способы водопонижения грунтовых вод в строительстве // StudNet. 2022. Т. 5. № 6. С. 21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49131556>.
11. Лоренц А. С., Пономарев К. А. Анализ пожароопасности в лесах архангельской области // Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года. Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения). 2022. С. 713-718. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50144686>.
12. Данилов В. С., Петросов М. Ю. Методы водопонижения котлованов в строительстве. Иглофильтровые установки // Студенческий вестник. 2023. № 47-10 (286). С. 29-31. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59689865>.
13. Бердникова Л. Н. Проблемы борьбы с пожарами в лесах севера // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 164-168. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45845900>.
14. Мясищев Д. Г., Шостенко Д. Н. Обоснование структуры системы самоходного оборудования для тушения лесных пожаров. // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 2 (34). С. 172-177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38472870>.
15. Елисеев А. А., Тарасова В. А. Использование форвардера John Deere для тушения лесных пожаров // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2021. № 2 (88). С. 78-85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46379816>.
16. Математическая модель определения оптимального месторасположения лесных пожарно-химических станций с учётом уровня развития транспортных сетей на территории лесного фонда / Р. Н. Ковалев, И. М. Еналеева-Бандура, А. Н. Баранов, О. И. Григорьева, И. В. Григорьев // Resources and Technology. 2021. Т. 18. № 4. С. 77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47433020>.
17. Комиссаров П. И. Применение аддитивных технологий для мониторинга уровня грунтовых вод в лесных массивах // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2023. Сборник материалов конференции: в 2-х томах. Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2023. С. 339-341. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54212879>.
18. Лоренц А. С., Лоренц А. В. Экологическая безопасность при эксплуатации иглофильтрационной установки для тушения лесных пожаров // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2023. Сборник материалов конференции: в 2-х томах. Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2023. С. 401-403. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54212896>.
19. Полвинен Д. А. Установки водопонижения, иглофильтры (эжекторы, легкие иглофильтры) // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2023. Сборник материалов конференции: в 2-х томах. Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2023. С. 570-574. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54212938>.
20. Лоренц А. С. Влияние бонитета на уровень грунтовых вод в лесном фитоценозе // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2022. С. 103-104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49563469>.
21. Rodríguez Silva F., Martínez J. R. M., Machuca M. Á. H., Leal J. M. R. VISUAL- SEVEIF, a Tool for Integrating the Behavior Simulation and Economic Evaluation of the Impacts of Wildfires. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires. General Technical Report 245. Albany, CA, USDA, 2013, pp. 163-178. DOI: 10.2737/PSW-GTR-245
22. Rothermel R. C. Predicting Behavior and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains. Research Paper INT-438. Ogden, UT, Intermountain Forest Experiment Station, 1991. 46 p. DOI: 10.2737/INT-RP-438
23. Safi Y., Bouroumi A. Prediction of Forest Fires Using Artificial Neural Networks. Applied Mathematical Sciences, 2013, vol. 7, no. 5-8, pp. 271-286. DOI: 10.12988/ams.2013.13025

24. Satir O., Berberoglu S., Donmez C. Mapping Regional Forest Fire Probability Using Artificial Neural Network Model in a Mediterranean Forest Ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, vol. 7, iss. 5, pp. 1645-1658. DOI: 10.1080/19475705.2015.1084541

25. Flannigan M. D., Krawchuk M. A., de Groot W. J., Wotton B. M., Gowman L. M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire // *International Journal of Wildland Fire*. 2009. Vol. 18, no. 5. Pp. 483-507. DOI: 10.1071/WF08187 EDN: MXZUJP

References

1. Forecasting the spatial behavior of a forest fire under uncertainty and nonstationarity of the process / Stankevich T.S. // *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2021. No. 1 (379). pp. 20-34.

2. Main directions for preventing forest fire emergencies / Podrezov Yu.V. // *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2023. No. 2 (392). pp. 172-182.

3. Fire prevention of forest objects / Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I. // *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2019. No. 3 (369). pp. 43-54.

4. Study of the use of wellpoint filters as part of vacuum installations to increase the efficiency of fighting forest fires / Lorenz A.S., Grigoriev I.V., Grigorieva O.I., Ryabukhin P.B. // *Systems. Methods. Technologies*. 2023. No. 4 (60). pp. 124-129.

5. Mathematical assessment of the reliability of information about forest fires / Kotelnikov R.V., Martynyuk A.A. // *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2023. No. 3 (393). pp. 21-34.

6. Water reduction using wellpoints / Zabojev I.A. // In the collection: *Current problems of the formation and development of national innovation systems. Materials of the international scientific and practical conference*. Institute of Management and Socio-Economic Development, Saratov State Technical University. 2019. pp. 46-48.

7. Formation of the moisture exchange structure of the aeration zone of an irrigated field in the presence of a capillary fringe in the soil / Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Semenenko S.Ya., Olgarenko V.I. // *Land reclamation and hydraulic engineering*. 2023. T. 13. No. 3. P. 1-16.

8. Forecasting the behavior of vegetation fires / Volokitina A.V., Sofronova T.M., Korets M.A. // *News of higher educational institutions. Forest magazine*. 2020. No. 1 (373). pp. 9-25.

9. Application of needle filter installations in St. Petersburg / Yu. V. Volkova, A. I. Shkvarov, N. R. Duhopelnikova, V. M. Rudevsky // *SPbPU Science Week: Materials of a scientific conference with international participation*. Institute of Civil Engineering, St. Petersburg, November 19–24, 2018. – St. Petersburg: Polytech-press, 2018. – P. 136-138.

10. Types and methods of reducing groundwater in construction / Obukhov P.V., Yudina A.F. // *StudNet*. 2022. T. 5. No. 6. P. 21.

11. Analysis of fire hazard in forests of the Arkhangelsk region / Lorenz A.S., Ponomarev K.A. // In the collection: *Strategy and prospects for the development of agricultural technologies and the forestry complex of Yakutia until 2050. Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic and the 85th anniversary of the First President of the Republic of Sakha (Yakutia) M. E. Nikolaev (Nikolaev Readings)*. 2022. pp. 713-718.

12. Methods for reducing water in pits in construction. Wellpoint installations / Danilov V.S., Petrosov M.Yu. // *Student Bulletin*. 2023. No. 47-10 (286). pp. 29-31.

13. Problems of fighting fires in northern forests / Berdnikova L.N. // *Systems. Methods. Technologies*. 2021. No. 2 (50). pp. 164-168.

14. Justification of the structure of the system of self-propelled equipment for extinguishing forest fires. / Myasishchev D.G., Shostenko D.N. // *Forestry Journal*. 2019. T. 9. No. 2 (34). pp. 172-177.

15. Using a John Deere forwarder to extinguish forest fires / Eliseev A.A., Tarasova V.A. // Socio-economic and technical systems: research, design, optimization. 2021. No. 2 (88). pp. 78-85.
16. Mathematical model for determining the optimal location of forest fire-chemical stations taking into account the level of development of transport networks on the territory of the forest fund / Kovalev R.N., Enaleeva - Bandura I.M., Baranov A.N., Grigorieva O.I., Grigoriev I.V. // Resources and Technology. 2021. T. 18. No. 4. P. 77
17. Application of additive technologies for monitoring groundwater levels in forests / Komissarov P.I. // Lomonosov scientific readings for students, graduate students and young scientists - 2023. Collection of conference materials: in 2 volumes. North (Arctic) federal University named after M.V. Lomonosov. 2023. pp. 339-341.
18. Environmental safety during the operation of a needle filtration installation for extinguishing forest fires / Lorenz A.S., Lorenz A.V. // In the collection: Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists - 2023. Collection of conference materials: in 2 volumes. North (Arctic) federal University named after M.V. Lomonosov. 2023. pp. 401-403.
19. Water reduction units, wellpoints (ejectors, light wellpoints) / Polvinen D.A. // In the collection: Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists - 2023. Collection of conference materials: in 2 volumes. North (Arctic) federal University named after M.V. Lomonosov. 2023. pp. 570-574.
20. Influence of quality on the groundwater level in a forest phytocenosis / Lorenz A.S. // Increasing the efficiency of the forestry complex. Materials of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation. Petrozavodsk, 2022. pp. 103-104.
21. Rodríguez y Silva F., Martínez J.R.M., Machuca M.Á.H., Leal J.M.R. VISUAL- SEVEIF, a Tool for Integrating the Behavior Simulation and Economic Evaluation of the Impacts of Wildfires. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires. General Technical Report 245. Albany, CA, USDA, 2013, pp. 163-178. DOI: 10.2737/PSW-GTR-245
22. Rothermel R.C. Predicting Behavior and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains. Research Paper INT-438. Ogden, UT, Intermountain Forest Experiment Station, 1991. 46 p. DOI: 10.2737/INT-RP-438
23. Safi Y., Bouroumi A. Prediction of Forest Fires Using Artificial Neural Networks. Applied Mathematical Sciences, 2013, vol. 7, no. 5-8, pp. 271-286. DOI: 10.12988/ams.2013.13025
24. Satir O., Berberoglu S., Donmez C. Mapping Regional Forest Fire Probability Using Artificial Neural Network Model in a Mediterranean Forest Ecosystem. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2016, vol. 7, iss. 5, pp. 1645-1658. DOI: 10.1080/19475705.2015.1084541
25. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire // International Journal of Wildland Fire. 2009. Vol. 18, no. 5. Pp. 483-507. DOI: 10.1071/WF08187 EDN: MXZUJP

Сведения об авторах

✉ *Лоренц Анатолий Сергеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования Высшей инженерной школы, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0906-8779>, e-mail: a.lorents@narfu.ru.

Прохоров Алексей Владимирович – старший преподаватель кафедры инжиниринга транспортно-технологических средств и оборудования Высшей инженерной школы, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0091-3988>, e-mail: a.prohorov@narfu.ru.

Григорьева Ольга Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры Лесоводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Институтский

переулок, 5, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, e-mail: grigoreva_o@list.ru

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

Калита Георгий Александрович – кандидат технических наук, доцент Высшей школы управления природными ресурсами ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», ул. Тихоокеанская, 136, г. Хабаровск, 680035, Российская Федерация, <http://orcid.org/0000-0003-3232-6841>, e-mail: g.kalita@mail.ru.

Морковин Владимир Александрович – кандидат технических наук, доцент, и.о. зав. кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-5822-2254>, e-mail: morkovin-vladimir@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Anatoly S. Lorentz* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering of Transport and Technological Means and Equipment of the Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Northern Dvina embankment, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0906-8779>, e-mail: a.lorents@narfu.ru.

Alexey V. Prokhorov – senior lecturer at the Department of Engineering of Transport and Technological Facilities and Equipment of the Higher School of Engineering, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”, Northern Dvina embankment, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0091-3988>, e-mail: a.prohorov@narfu.ru.

Olga I. Grigoreva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, Institutsky Lane, 5, St. Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, e-mail: grigoreva_o@list.ru.

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

Georgy A. Kalita – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Natural Resources Management, Pacific State University, Pacific str., 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0003-3232-6841>, e-mail: g.kalita@mail.ru.

Vladimir A. Morkovin – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Acting Head of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-5822-2254>, email: morkovin-vladimir@mail.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author