

## ИСПЫТАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЯ И БОРА ДЛЯ БОРЬБЫ С НИЗОВЫМИ ПОЖАРАМИ

аспирант **О.А. Ивченко**

кандидат химических наук, доцент **К.Е. Панкин**

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»,  
г. Саратов, Российская Федерация

Борьба с низовыми лесными пожарами включает в себя три мероприятия: 1) профилактика возникновения; 2) ограничение распространения и, наконец, если не помогли первые два, 3) тушение кромки пожара. Полностью устранить факторы, способствующие возникновению и развитию пожаров на этих территориях, невозможно, поэтому наиболее эффективными будут меры по недопущению свободного распространения пожара. В работе предложен способ предотвращения и ограничения распространения низового пожара путем создания огнезащитных полос – участков, покрытых травяным покровом и растительными остатками, обработанных (опрыскиванием) водными растворами гидрогелей алюминия. Эффективность огнепреграждающих свойств таких полос исследована экспериментально в ходе полевых экспериментов. Показано, что явные признаки огнезащитного действия гидрогеля алюминия начинают проявляться при его концентрации от 7 г/л, при расходе 1 л раствора на 1 м<sup>2</sup> площади обрабатываемого участка. В этом случае низовой пожар теряет свою устойчивость и его скорость снижается в 2-3 раза. Обработка участков растворами гидрогеля с концентрацией 14 г/л и более полностью предотвращала распространение пламени по участку травяного покрова, кроме этого, попытки принудительно поджечь участок (28 г/л) оказались безуспешными. Водорастворимое соединение бора – *бура* – с концентрациями 3,5-28 г/л не обладает достаточным огнезащитным действием для остановки распространения низового пожара.

**Ключевые слова:** лесные пожары, низовые пожары, предотвращение роста и распространения низового пожара, гидрогель алюминия

## FIRE PROTECTION TEST OF ALUMINIUM AND BORON COMPOUNDS FOR STRUGGLE AGAINST GROUND FIRES

post-graduate student **O.A. Ivchenko**

PhD (Chemistry), Associate Professor **K.E. Pankin**

FSBEI HE "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov", Saratov, Russian Federation

### Abstract

The fight against ground forest fires includes three measures: (1) preventing the occurrence, (2) limiting the spread, and finally, if the first two did not help, (3) extinguishing the edge of the fire. It is impossible to completely eliminate the factors contributing to the onset and development of fires in these territories. Therefore, measures to prevent the free spread of fire will be the most effective ones. A method is proposed to prevent and limit the spread of ground fire by creating fire-retardant strips. These are areas covered with grass and plant debris, treated (by spraying) with aqueous solutions of aluminium hydrogels. The efficiency of the flame retardant properties of such strips has been studied during field experiments. It has shown that obvious signs of fire-retardant effect of aluminium hydrogel begin to appear at a concentration of 7 g/l, with a flow rate of 1 liter of solution per 1 m<sup>2</sup> of the treated area. In this case, ground fire loses its stability and its speed decreases 2-3 times. The treatment of the plots with hydrogel solutions with a concentration of 14 g/l or more completely prevented the spread of the flame over the grass cover.

In addition, attempts to force the site to burn (28 g/l) were unsuccessful. A water-soluble compound of boron – sodium tetraborate – with concentrations of 3.5-28 g/l does not have sufficient fire retardant action to stop the spread of ground fire.

**Keywords:** forest fires, ground fires, preventing growth and spread of ground fires, aluminium hydrogel

### Введение

Защита природных ландшафтов от пожаров решает сразу несколько важных народно-хозяйственных задач, а именно позволяет сохранять: леса как объекты хозяйственной деятельности (для получения древесных и недревесных продуктов леса), экологическую и агролесомелиоративную функции лесного массива, видовое разнообразие сложившихся биоценозов, качество почвенного покрова и т. п. Эффективная борьба с лесными пожарами может осуществляться только в комплексе и только при надлежащем выполнении всех требований к выполнению организационных и технических мероприятий. Полностью предотвратить лесной пожар невозможно, тем не менее, места наиболее вероятного возникновения природных пожаров хорошо известны – это пространства (10-20 метров), непосредственно прилегающие к авто- и железнодорожным магистралям, населенным пунктам, промышленным зонам, линиям электропередач и т. п., т. е. местам интенсивной хозяйственной деятельности человека.

Лесным пожарам свойственны рост и распространение. Начавшись однажды в одном месте, кромка лесного пожара может распространиться на десятки километров, выжигая все на своем пути, оставляя после себя десятки, сотни и тысячи (гектар или км<sup>2</sup>) безжизненных горельников, т. к. лесной пожар не только уничтожает представителей флоры и фауны, но и наносит повреждение почвенному покрову [1]. Таким образом, если невозможно предотвратить возникновение пожара, то необходимо сосредоточиться на мероприятиях по ограничению его распространения, уменьшая тем самым прямой и косвенный ущерб. Наибольший ущерб лесные пожары наносят уникальным природным территориям, населенным реликтовыми растениями. Потеря такой территории в конечном итоге приводит к потере уникального природного ландшафта, восстановить который будет уже невозможно.

Природный низовой пожар распространяется по горючим материалам, находящимся на поверхности почвы, – травянистым и древовидным растениям (живой напочвенный покров, мелкий подрост и кора в нижней части древесных стволов) и растительным остаткам (лесной опад, состоящий из мелких ветвей, коры, хвои, листьев, лесная подстилка, валеж), что, в совокупности, составляет лесные горючие материалы (ЛГМ). Все указанные материалы обладают большим запасом углерода, доступного для горения [2]. Скорость распространения кромки низового пожара зависит от массы горючих материалов на единицу площади, вида ЛГМ, влажности, направления и скорости ветра, наличие уклонов местности и т. п. Низовой пожар может быть устойчивым (полностью выжигающим ЛГМ на поверхности почвы) и беглым (движущимся по наиболее сухим участкам, покрытым ЛГМ) [3, 4]. Оба вида распространения пожара могут в зависимости от условий взаимнопереходить друг в друга. Кроме этого, при определенных условиях местности может наблюдаться полная остановка распространения низового пожара и прекращение горения, что предполагает наличие на местности непреодолимого барьера: отрицательного уклона местности, участков почвы, по каким-либо причинам лишенных растительности, повышенной влажности почвы и растительного покрова в оврагах и низинах, наличия водной преграды и т. п. В качестве противопожарных преград могут выступать также многие искусственные объекты, среди которых, как это ни странно, выступают те же авто- и железнодорожные магистрали и т. д.

С учетом особенностей распространения природных пожаров, лесной массив обязан быть подвергнут специальному противопожарному обустройству – делению массива на лесохозяйственные кварталы и построению между ними противопожарных разрывов [5]. При правильном учете всех особенностей лесного массива и местности наличие

таких противопожарных разрывов позволяет вести успешную борьбу с распространением верховых пожаров. В случае же низовых пожаров процесс распространения пожара осуществляется по слою ЛГМ, расположенному на поверхности почвенного покрова, который остается даже при удалении «лишних» древовидных растений. В этом случае борьба с распространением пожаров осуществляется минерализацией почвенного покрова – удалением ЛГМ с его поверхности, разрывая тем самым цепочку процесса распространения горения: сушка ЛГМ – воспламенение – горение. Для этого используют приемы минерализации почвы путем: 1) подрезки и переворота верхнего почвенного слоя с помощью специального плуга серии ПКЛ [6]; 2) контролируемого отжига ЛГМ. Первый способ наиболее распространен, но требует значительных трудовых и энергетических затрат, второй прост технологически, но опасен в реализации, т. к. сам может быть причиной пожара.

Несмотря на вышеизложенное, в последнее десятилетие как на территории России, так и на территориях других стран, богатых лесами, наблюдается устойчивый рост силы проявления пожаров [7] – они становятся масштабными, приносят значительный ущерб, а их организованное тушение затруднено, чаще всего, из-за недостатка сил и средств, привлекаемых к их тушению, и индивидуального характера развития каждого природного пожара. Причины этого заключаются в следующем: если отбросить намеренные действия человека (поджоги лесных массивов), то остаются либо недостаточность, либо неэффективность проводимых заградительных мероприятий. Недостаточность проводимых заградительных мероприятий лежит целиком и полностью на совести исполнителей и не является научно-технической задачей. Неэффективность же требует подробного рассмотрения и выработки предложений по совершенствованию проводимых мероприятий.

Причина распространения кромки низового пожара по территории, подвергшейся противопожарному обустройству, заключается в формировании таких условий распространения пожара, которые позволяют преодолевать искусственные противопожарные барьеры. Если, в свою очередь, от-

бросить в качестве причины некачественное построение минерализованных полос, то остается только фактическая преодолимость минерализованной полосы путем переноса ветром (в сочетании с вертикальными конвективными потоками) горящих фрагментов ЛГМ над ее поверхностью [3, 4]. В этом случае свой отрицательный эффект проявляет недостаточная ширина полосы, не способная (подобно фильтру) задержать перенос горящих фрагментов. Согласно регламенту [5], минерализованные полосы строятся шириной 1,5-9,0 м, хотя на практике такие полосы могут быть обустроены с шириной 0,5-0,7 м. Причиной этому являются значительные трудо-, энерго- и финансовые затраты при построении минерализованной полосы, которые, кроме этого, требуют еще и периодического обновления. Применять контролируемый отжиг, несмотря на его простоту, в большинстве случаев либо невозможно технически или технологически, либо просто опасно.

Существует ли иной способ обустройства противопожарного барьера, сочетающий простоту контролируемого отжига с безопасностью минерализации почвы? Ответ на этот вопрос, по-видимому, лежит в области обеспечения пожарной безопасности бытовой и производственной сферы. Для снижения пожароопасных свойств горючих строительных материалов (строительная древесина, пластические массы, композиты и т. п.) их обрабатывают (или добавляют в них) специальными веществами – антипиренами [8–17]. Такая модификация горючих материалов приводит к их превращению в сгораемые, а в отдельных случаях – в негорючие. Согласно литературным данным, наиболее высокую огнезащитную способность проявляют соединения алюминия и бора [8, 9, 17]. К тому же оба эти элемента играют важную функцию в создании условий для роста и развития растения: алюминий является компонентом минерального скелета почвы – алюмосиликатов, бор, совместно с кальцием, влияет на формирование стенок клеток.

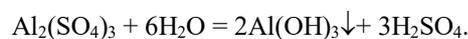
Следует отметить, что подобная модификация возможна и многократно подтверждена на неживых объектах – строительных материалах, но ни теоретических, ни экспериментальных подтверждений тому, будет ли справедливым перенос по-

добной технологии на объекты живой природы, в доступной отечественной и зарубежной научно-технической литературе найти не удалось. В связи с этим целью данной работы является разработка качественно иного способа «минерализации» травяного покрова и ЛГМ путем их обработки огнезащитными составами на основе алюминия и бора и проведение полевых испытаний их горимости, а также экспериментальная проверка огнепреграждающих свойств участков травяного покрова, обработанных огнезащитными составами, – огнезащитных полос.

### Материалы и методы

Полевые эксперименты проводились в августе-сентябре 2019 г. на территории Саратовской области в степной местности на наиболее пожароопасных участках из разнотравья. На открытых участках местности при порывах ветра наблюдалось пылеобразование, что косвенно свидетельствует о крайнем состоянии засушенности верхнего слоя почвы (осадков в виде дождя в данной местности не наблюдалось в течение предшествующих 30 суток). Влажность воздуха составляла 23-26 %, температура воздуха 26-30 °С, давление воздуха близкое к нормальному (760 мм рт. ст.), скорость ветра в зависимости от времени суток варьировалась от полного штиля до 4-6 м/с. Измерение температуры воздуха, его влажности и скорости ветра осуществлялось с помощью прибора Метеоскоп-М (ООО «НТМ-Защита», Россия). Влажность почвы определялась косвенным способом – для этого был выкопан шурф глубиной 0,5 м, и проба почвы, взятая с этой глубины, при растирании между пальцами превращалась в мелкую пыль. Так как низовой пожар способен перемещаться от одного лесного участка к другому по травяному покрову и слою ЛГМ, то в качестве экспериментальных были выбраны участки почвы с равномерным травостоем с высотой 30-40 см (рис. 1). В целях соблюдения правил пожарной безопасности все участки были

опаханы, т. е. по периметру всех участков создавалась минерализованная полоса шириной не менее 1,5 м. Внутри участка были сформированы секторы обработки площадью 1 и 4 м<sup>2</sup> (1×1 м и 2×2 м), для выделения этих зон границы обрабатываемых участков обозначались кольшками, между которыми натягивались капроновые нити (рис. 1). В качестве огнезащитного состава был выбран гидрогель алюминия (ГА), который получали путем растворения навески твердого вещества – сульфата алюминия – в воде (водопродонной). Данный способ отличается простотой применения и требует только двух компонентов: определенной массы сульфата алюминия (легко растворим в воде) и требуемого объема воды. При смешении этих компонентов образование ГА проходит согласно следующей схеме:



Образование кристаллического гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  проходит через стадию образования коллоидного раствора – ГА. Коллоидный раствор неустойчив во времени и постепенно разрушается, формируя кристаллический гидроксид алюминия. Предварительные исследования показали, что время «жизни» при температуре более 20 °С ГА составляет 40-50 минут. Это время учитывали при обработке экспериментальных секторов. Навеску выбирали таким образом, чтобы получить минимальную концентрацию ГА при приемлемой огнетушащей эффективности в определенном ряду от 1,7 до 28 г/л.

Основанием выбора концентрации гидрогеля алюминия являлись результаты работы [18]. В качестве соединения бора была выбрана *бура* – тетраборат натрия ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) – легко растворимое в воде вещество [19], дающее устойчивые во времени водные растворы. Навеску раствора брали таким образом, чтобы получились концентрации 3,5-28 г/л, и растворяли ее также в соответствующем объеме водопродонной воды.



Рис. 1. Экспериментальный участок для исследования огнезащитных свойств разных химических составов для случая фронтального движения пламени (собственные исследования авторов)

Обработка участков осуществлялась с помощью садового опрыскивателя типа «Жук» ОП-209 (рис. 2) с расходом жидкости 0,6-0,8 л/мин [20]. Для удобства обработки экспериментальных участков расход растворов составил 1 л/м<sup>2</sup>. Опрыскивание участков осуществлялось по следующей схеме. Сначала опрыскивали участки с большой концентрацией ГА (28 г/л) и буры (28 г/л), а затем переходили к применению менее концентрированных растворов. Для выявления влияния влажности помимо контрольного участка (не подвергавшегося обработке) один из участков был обработан водопроводной водой без каких-либо добавок с тем же расходом (1 л/м<sup>2</sup>), причем данный участок обрабатывался последним. После обработки экспериментальные участки подвергали сушке в течение 1 часа, а также в течение 12 часов (т. е. до следующего дня).

Поджог участков травяного покрова осуществлялся по направлению ветра с помощью аппарата зажигательного «Ермак» (Россия). Пролив горячей жидкости осуществлялся на участок травяного покрова, не подвергавшегося обработке (сектор розжига) и находящегося перед экспериментальными секторами. По мере разгорания на секторе розжига кромка низового пожара под действием ветра распространялась в экспериментальную зону. В отдельных случаях для усиления горения (имитация высохшего травостоя) на сектор розжига добавлялась сухая солома из расчета 250-300 г/м<sup>2</sup>.



Рис. 2. Процесс обработки (опрыскивания) экспериментальных секторов огнезащитными составами на основе алюминия и бора (собственные исследования авторов)

Для выявления способности (или неспособности) обработанных огнезащитными составами участков (огнезащитных полос) противостоять распространению низового пожара были проведены эксперименты двух типов: 1) с фронтальным движением пламени – экспериментальные секторы располагались поперек направления кромки низового пожара (рис. 3) и 2) с фланговым движением пламени, в этом случае экспериментальные участки располагались вдоль направления движения пламени (рис. 5). Такой принцип проведения полевого эксперимента должен был показать наличие влияния огнезащитного состава на скорость распространения кромки низового пожара и наличие принципиальной преодолемости такого огнезащитного барьера при определенных условиях внешней среды. Следует отметить, что при проведении эксперимента второго типа проводили последовательное увеличение концентрации раствора огнезащитного состава, чтобы выявить возможные изменения характера горения по мере движения кромки пожара по необработанным и обработанным участкам, а также возможное место остановки пламени (рис. 5).

### Результаты и обсуждение

Для оценки запасов ЛГМ на экспериментальных участках было проведено исследование природных горючих материалов. Для этого на фрагменте участка (0,8×0,9 м) полностью удалялась растительность и растительные остатки до обнажения минерального слоя почвы. Проведено исследо-

вание видового состава растительности: 80 % – пырей ползучий, 20 % – шалфей, полынь, василек, люцерна и т. п. Для определения массы горючих веществ, расположенных на единице площади экспериментального участка, удаленные растения и растительные остатки взвешивались на весах, и полученная масса пересчитывалась на 1 м<sup>2</sup> площади исследуемого участка. Данные, полученные с нескольких участков, усреднялись. Полученное распределение массы горючих материалов на площади экспериментальных секторов составило, в среднем, 0,7–1,1 кг/м<sup>2</sup>.

Исследования огнезащитных и огнепреграждающих свойств при фронтальном распространении пламени низового пожара показало, что именно огнепреграждающими свойствами обладают экспериментальные секторы, обработанные огнезащитными составами на основе ГА с концентрацией 14–28 г/л при расходе водного раствора ГА 1 л/м<sup>2</sup>. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 3. Размеры участков составили 1×1 м, а ширина сектора розжига также составила 1 метр. Как видно, экспериментальные секторы разбросаны в случайном порядке для исключения действия кумулятивного эффекта огнезащитного материала на распространение кромки низового пожара. Время сушки участков составило 1 час (из-за возможной смены направления ветра в следующий экспериментальный день). Результаты исследований представлены на рис. 4, 5. Если сравнить рис. 1 и рис. 4 и 5, то можно увидеть, как участок выглядел до и после проведения эксперимента.

На представленных фотографиях (рис. 4, 5) видно, что после проведения огневого эксперимента экспериментальные Секторы № 1–3 обработанные ГА с концентрациями 14, 21 и 28 г/л соответ-

ственно, проявили огнезадерживающие свойства (пламя низового пожара не смогло преодолеть их), в то время как остальные секторы оказались неспособными сдержать распространение кромки модельного низового пожара. Осмотр огнеустойчивых секторов показал, что при сложившихся погодных условиях (ветер 4–6 м/с) полосы травяного покрова шириной 1 м хватило для сдерживания распространения кромки низового пожара. Интересно отметить, что огнеустойчивые экспериментальные секторы обгорели только по краям (проникновение пламени в сектор не превышало 0,1 м) и для продолжения своего движения кромка низового пожара была вынуждена обходить огнеустойчивые секторы справа и слева (рис. 4, 5). Выгоревший сектор, располагающийся левее Сектора № 1 (рис. 5), служил для остановки распространения кромки модельного низового пожара и принадлежал следующему экспериментальному участку. Причина повышения огнестойкости экспериментальных секторов заключается в их обработке растворами ГА с соответствующими концентрациями, которые оказались способными понизить пожароопасные свойства ЛГМ до такого уровня, который оказался достаточным для остановки распространения низового пожара. Доказательством этому служит полное выгорание контрольного участка – Сектор № 5 (не обработанный). Влияние влажности участков также можно исключить, т. к. Сектор № 4 (обработанный водой – 1 л/м<sup>2</sup>) также оказался не способен к сдерживанию распространения пламени. К тому же при прочих равных условиях Сектор № 4 был более влажным, т. к. подвергся обработке (опрыскиванию водой) последним из всей серии обработки экспериментальных секторов.

Сектор 1 14 г/л	Сектор 2 21 г/л	Сектор 3 28 г/л	Сектор 4 Вода	Сектор 5 (без обработки)	Сектор 6 7 г/л	Сектор 7 1,7 г/л	Сектор 8 3,5 г/л
↑ Сектор розжига ↑							

Рис. 3. Схема расположения экспериментальных секторов при фронтальном движении низового пожара. Стрелками указано направление движения кромки низового пожара (собственные исследования авторов)

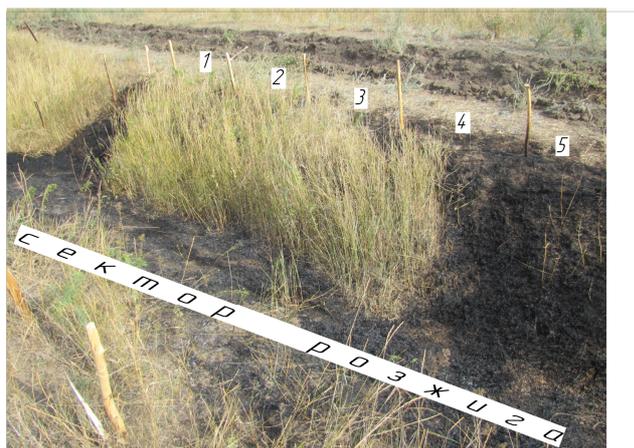


Рис. 4. Результаты исследования огнезадерживающих свойств экспериментальных секторов, обработанных ГА, – фото участка справа (собственные исследования авторов)

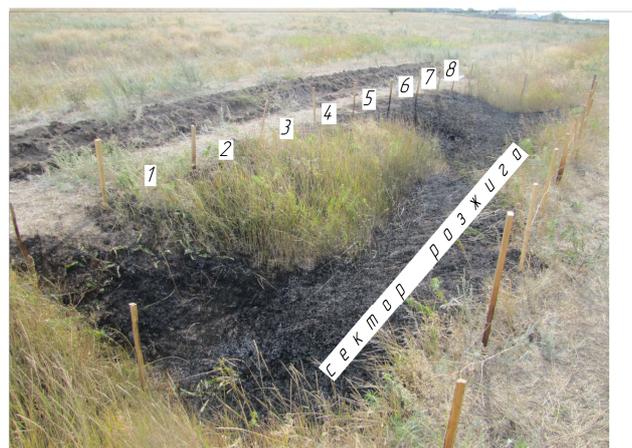


Рис. 5. Результаты исследования огнезадерживающих свойств экспериментальных секторов, обработанных ГА, – фото участка слева (собственные исследования авторов)

Интересно отметить также, что распространение пламени в Секторе № 6 (ГА 7 г/л) приобрело явно выраженный беглый характер – выгоранию подвергся только травяной покров, а отмершие растительные остатки на поверхности почвы подверглись воздействию пламени лишь частично.

Возможность использования соединения бора – *буры* – для создания огнезащитных барьеров в природных ландшафтах ранее в научно-технической литературе не обсуждалась. Поэтому для удобства сравнения огнезащитных свойств *бур* и ГА диапазон концентраций водных растворов *бур* был выбран аналогичным, т. е. 3,5–28 г/л. Время сушки участков, как и в случае обработки ГА, составило один час с момента обработки последнего участка. Последним, как и в предыдущем эксперименте, был обработан водой один из секторов. Результаты исследований огнепреграждающих свойств секторов, обработанных водными растворами *бур*, представлены на рис. 6.

Как видно из представленных результатов, экспериментальные секторы, обработанные водными растворами *бур* в диапазоне концентраций 3,5–28 г/л, не обладают достаточным огнепреграждающим действием, т. к. не смогли удержать фронт распространения низового пожара и травяной покров в экспериментальных секторах выгорел. Тем не менее, осмотр секторов после проведения эксперимента (рис. 4) местами выявил наличие беглого характера распространения кромки низового пожара по сравнению с сектором розжига и контроль-

ными секторами. К сожалению, системности, т. е. зависимости огнестойкости травяного покрова в секторах от концентрации огнезащитного состава, выявить не удалось.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Известно, что травянистые растения в данный период времени находятся в крайнем состоянии высушенности, при этом поверхности их листовых пластинок и стеблей становятся гидрофобными и в недостаточной степени смачиваются водой и водными растворами. Из-за этого, по-видимому, большая часть водного раствора огнезащитного состава просто проливается на расположенные на поверхности почвы отмершие растительные остатки – жидкость проливается с вертикальных поверхностей на горизонтальные. Вполне вероятно, что высокая водорастворимость исследуемых огнезащитных составов не позволяет им в нужном количестве удержаться на листьях и стеблях травянистых растений, и при опрыскивании огнезащитный состав стекает с листьев и стеблей и концентрируется на растительных остатках, не проявляя огнеостанавливающего действия. Это в первую очередь должно быть характерно для *бур*, а также для низких концентраций водных растворов ГА. Подобный эффект неэффективного применения воды при тушении лесных пожаров из-за пониженной смачиваемости водой ЛГМ известен, именно поэтому лесные пожарные применяют в качестве добавок к воде смачиватели – поверхност-

но-активные вещества, улучшающие этот показатель [21, 22].

Для подтверждения полученных результатов огнезащитного действия ГА эксперимент с фронтальным распространением пламени был трансформирован во фланговое распространение кромки низового пожара (кромка пожара распространяется вдоль экспериментальных секторов). Расположение экспериментальных секторов при фланговом распространении пламени представлено на рис. 7 – расположение участков осуществлялось с последовательным увеличением концентрации ГА (21 и 28 г/л), расход водного раствора ГА также составил 1 л/м<sup>2</sup>. Для исключения влияния влажности в этом типе эксперимента сушка участка осуществлялась в течение 12 часов (огневой эксперимент проводился на следующий день). Для усиления горения на участках розжига была добавлена сухая солома в количестве 250-300 г/м<sup>2</sup> (таким образом, плотность травостоя увеличилась на 20-25 %). На рис. 8, 9 представлены результаты экспериментального исследования огнезадерживающих свойств секторов, обработанных ГА с различными концентрациями.

Осмотр экспериментальных участков показал, что, как и в ходе эксперимента с фронтальным

распространением пламени, в данном случае Сектор № 1 (ГА, 21 г/л) удержал распространение пламени низового пожара. Обработанный травяной покров в Секторе № 2 (ГА, 28 г/л) обгорел только по краям из-за продольного движения кромки низового пожара, которая двигалась вдоль экспериментального участка.

На рис. 8 хорошо видно, что кромка низового пожара обошла огнестойкие секторы справа и слева. На рис. 9 хорошо видно, как кромке низового пожара удалось проникнуть в Сектор № 1 на 0,3-0,4 м и угаснуть на нем. Исследование обгоревших участков слева и справа от экспериментальных секторов (не обработанные) показало наличие преимущественно устойчивого горения травяного покрова и растительных остатков (рис. 9). Беглый характер горения сектора розжига объясняется неожиданным порывом ветра в начале проведения огневого эксперимента, тем не менее, добавленная (для усиления горения) на поверхность почвы сухая солома сгорела полностью.



Рис. 6. Результаты исследования огнепреграждающих свойств секторов, обработанных водными растворами *буры* с концентрацией 3,5-28 г/л (собственные исследования авторов)

→	Сектор № 1 (21 г/л)	Сектор № 2 (28 г/л)
Сектор розжига		
→		

Рис. 7. Расположение экспериментальных секторов, обработанных ГА при фланговом распространении низового пожара. Стрелками указано направление распространения пламени.  
(собственные исследования авторов)



Рис. 8. Эксперимент с фланговым распространением пламени – вид со стороны сектора розжига (собственные исследования авторов)



Рис. 9. Эксперимент с фланговым распространением пламени – вид на секторы с правого фланга. (собственные исследования авторов)

Вполне вероятно, что секторы, обработанные ГА, проявили свою огнестойкость по причинам, совсем не связанным с огнезащитным действием ГА! Возможно, какие-либо другие причины, не контролируемые в ходе эксперимента, заставили пламя обойти обработанные ГА участки. Поэтому для проверки огнестойкости участка был проведен дополнительный эксперимент с попыткой принудительного поджога ЛГМ в секторах, проявивших огнестойкость. Для проверки огнестойкости травяной покров и растительные остатки в отдельных зонах экспериментального сектора (28 г/л) были подвергнуты дополнительному поджогу. Было сделано три попытки поджога: 1) травяной покров и растительные остатки поджигались с помощью газовой горелки (пропан-бутановая смесь); 2) и 3) с размещением в месте поджога дополнительного пучка сухой соломы массой 150-200 г для усиления горения. Применение газовой горелки в качестве источника зажигания было необходимо для соблюдения условий естественного распространения природных низовых пожаров, которые проходят без участия горения нефтепродуктов. Результаты поджога представлены на рис. 11.

Осмотр мест принудительного розжига травяного покрова в огнестойком секторе (рис. 11) показал, что принудительный поджог как травяного покрова, так и сухой соломы приводит к их горению. По мере выгорания травы и соломы самопроизвольное горение на участке заканчивается, и

дальнейшее распространение пламени по участку не происходит, несмотря на благоприятные погодные условия и наличие достаточно мощного источника зажигания. Таким образом, в ходе проведенного эксперимента обнаружено еще одно интересное свойство огнезащитной полосы – подавление горения источника зажигания, попавшего в него. Из-за понижения пожароопасных свойств травяного покрова и растительных остатков источник зажигания, попавший в сектор, выгорая, сможет поджечь только тот травяной покров, который непосредственно прилегает к зоне горения, сам же обработанный огнезащитным составом травяной покров в процессе самостоятельного горения не участвует и не способствует распространению кромки низового пожара.

### Выводы

В результате проведенных исследований выявлено:

1. Экспериментально исследованы огнезащитные свойства соединений алюминия и бора, обработке которыми (опрыскиванием) подверглись и объекты живой природы (травяной покров), и растительные остатки. Показано, что огнезащитное действие применяемых составов позволяет создать новый тип противопожарного барьера – огнезащитную полосу, применять которую можно как для профилактических противопожарных мероприятий, так и для обустройства препятствий для ограничения роста и развития низового пожара.



Рис. 10. Процесс поджога травяного покрова на огнестойком секторе – ГА, 28 г/л (собственные исследования авторов)

2. Оказалось, что необходимой противопожарной устойчивостью обладают экспериментальные секторы, обработанные ГА с концентрациями 14-28 г/л при расходе 1 л раствора на 1 м<sup>2</sup>. Серьезных огнезащитных свойств соединений бора (*буры*) в диапазоне концентраций 3,5-28 г/л и при том же расходе обнаружено не было. Огнезащитные свойства проявляются именно из-за присутствия в составе огнезащитного средства соединений алюминия в нужной концентрации, т. к. экспериментально удалось установить, что водные растворы ГА с концентрациями 1,7-7 г/л, а также обработка секторов водой с расходом 1 л/м<sup>2</sup> огнезащитного действия не проявляют. Однако при концентрации ГА 7 г/л проходящая по сектору кромка низового пожара теряет свою устойчивость и переходит в беглый режим.



Рис. 11. Результаты поджога травяного покрова на огнестойком секторе – ГА, 28 г/л (собственные исследования авторов)

3. Предпринятые попытки принудительного поджога огнестойких секторов (с размещением на их территории дополнительной массы горючих материалов – сухой соломы) подтвердили их огнестойкость. Таким образом, было обнаружено еще одно свойство огнезащитной полосы – способность сдерживать распространение горения от источников зажигания, попавших на нее.

4. Анализ огнестойких секторов, а также секторов, на которых реализовался беглый режим низового пожара, показал, что обработка ЛГМ огнезащитными составами на основе ГА способствует снижению выделяемой при пожаре энергии и защите, тем самым, почвенного покрова от разрушающего его теплового воздействия.

### Библиографический список

1. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почвы / А. А. Дымов, Ю. А. Дубровский, Д. Н. Габов [и др.] // Лесоведение. – 2015. – № 1. – С. 52–62.
2. Честных, О. В. Запасы углерода в подстилках лесов России / О. В. Честных, В. А. Лыжин, А. В. Кокшарова // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 114–121.
3. Вопросы лесной пирологии : сб. статей. – Красноярск, 1970. – 558 с.
4. Матвеев, П. М. Лесная пирология / П. М. Матвеев, А. М. Матвеев. – Красноярск : СибГТУ, 2002. – 287 с.
5. ГОСТ Р 57972-2017 Объекты противопожарного обустройства лесов. Общие требования: введ. 01.06.2018. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200157751>.

6. Плаг ПКЛ-70. – URL: <https://lessnab.com/katalog/lesokhozyaystvennaya-tehnika/orudiya-dlya-podgotovki-pochvy/plug-pkl-70/> (дата обращения: 16.03.2020).
7. Швиденко, А. З. Климатические изменения и лесные пожары в России / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко // Лесоведение. – 2013. – № 5. – С. 50–61.
8. Кодолов, В. И. Замедлители горения полимерных материалов / В. И. Кодолов. – Москва : Химия, 1980. – 274 с.
9. Расев, А. И. Технология и оборудование защитной обработки древесины / А. И. Расев, А. А. Косарин, Л. П. Красухина. – Москва : МГУЛ, 2010. – 171 с.
10. Jimenez, M. Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action / M. Jimenez, S. Duquesne, S. Bourbigot // *Thermochimica Acta*. – 2006. – Vol. 449. – P. 16–26. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.07.008>.
11. Liodakis, S. Testing the retardancy effect of various inorganic chemicals on smoldering combustion of *Pinus halepensis* needles / S. Liodakis, D. Vorisis, I. P. Agiovlasis // *Thermochimica Acta*. – 2006. – Vol. 444. – P. 157–165. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.03.010>.
12. Testing the fire retardancy of Greek minerals hydromagnesite and huntite on WUI forest species *Phillyrea latifolia* L. / S. Liodakis, I. Antonopoulos, I. P. Agiovlasis, T. Kakardakis // *Thermochimica Acta*. – 2008. – Vol. 469. – P. 43–51. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2007.12.010>.
13. Fire retardancy impact of sodium bicarbonate on ligno-cellulosic materials / D. Bakirtzis, M. A. Delichatsios, S. Liodakis, W. Ahmed // *Thermochimica Acta*. – 2009. – Vol. 486. – P. 11–19. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2008.12.012>.
14. Synergistic effect of iron and intumescent flame retardant on shape-stabilized phase change material / P. Zhang, Y. Hu, L. Song [et al.] // *Thermochimica Acta*. – 2009. – Vol. 487. – P. 74–79. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.01.006>.
15. ATR investigation of the mass residue from the pyrolysis of fire retarded lignocellulosic materials / D. Bakirtzis, V. Tsapara, S. Liodakis, M. A. Delichatsios // *Thermochimica Acta*. – 2012. – Vol. 550. – P. 48–52. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.08.010>.
16. Thermal characterization of new fire-insulating materials from industrial inorganic TiO<sub>2</sub> wastes / S. M. Perez-Moreno, M. J. Gazquez, A. G. Barneto, J. P. Bolivar // *Thermochimica Acta*. – 2013. – Vol. 552. – P. 114–122. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.10.021>.
17. Aluminium diethylphosphinate versus ammonium polyphosphate: A comprehensive comparison of the chemical interactions during pyrolysis in flame-retarded polyolefine/poly(phenylene oxide) / A. Sut, S. Greiser, C. Jager, B. Schartel // *Thermochimica Acta*. – 2016. – Vol. 640. – P. 74–84. – DOI: [10.1016/j.tca.2016.08.004](https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.08.004).
18. Ивченко, О. А. Тушение лесных горючих материалов гидрогелями на основе гидроксида алюминия / О. А. Ивченко, К. Е. Панкин // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 33. – № 1. – С. 76–84. – DOI: [10.12737/article\\_5c92016e1314b2.49705560](https://doi.org/10.12737/article_5c92016e1314b2.49705560).
19. Справочник химика / под ред. Б. П. Никольского. – Ленинград : Химия, 1971. – Т. 2. – 1168 с.
20. Опрыскиватель «ЖУК». Паспорт. – URL: <https://poryadok.ru/upload/iblock/628/6286d584b7ca5b055d8701c3071021d3.pdf> (дата обращения: 08.01.2020).
21. Полевой справочник лесного пожарного. – URL: <http://www.forestforum.ru/info/fireman.pdf>.
22. Справочник добровольного лесного пожарного. – URL: <https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf>.

### References

1. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. (et al.) (2015) *Vliyanie pozhara v severotaezhnom el'nike na organicheskoe veshhestvo pochvy* [The effect of wild fire in the northern taiga spruce on the organic matter of the soil]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Sciences], No. 1, pp. 52–62 (in Russian).

2. Chestnyh O.V., Lyzhin V.A., Koksharova A.V. (2007) *Zapasy ugleroda v podstilkakh lesov Rossii* [Carbon reserves in the forest litter of Russia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Sciences], No. 6, pp. 114-121 (in Russian).
3. *Voprosy lesnoj pirologii: sbornik statej* [Questions on forest pyrology]. Krasnoyarsk: 1970, 558 p. (in Russian).
4. Matveev P.M., Matveev A.M. *Lesnaja pirologija* [Forest pyrology]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2002, 287 p. (in Russian).
5. GOST R 57972-2017. *Ob'ekty protivopozharnogo obustrojstva lesov. Obshhie trebovaniya*. [Natural landscape antifire engineering and management. General requirements]. Approval date 01.06.2018 (in Russian).
6. Plow PKL-70. URL: <https://lessnab.com/katalog/lesokhozyaystvennaya-tehnika/orudiya-dlya-podgotovki-pochvy/plug-pkl-70/> (accessed March 16, 2020).
7. Shvidenko A.Z. (2013) *Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii* [Climat change process and forest wild fires in Russia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Sciences], No. 5, pp. 50-61 (in Russian).
8. Kodolov V.I. *Zamedliteli gorenija polimernykh materialov*. Moscow, 1980, 274 p. (in Russian).
9. Rasev A.I., Kosarin A.A., Krasuhina L.P. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitnoj obrabotki drevesiny*. MGUL, 2010. 171 p. (in Russian).
10. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. (2006) Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action. *Thermochimica Acta*, Vol. 449, pp. 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.07.008>.
11. Liodakis S., Vorisis D., Agiovlasis I.P. (2006) Testing the retardancy effect of various inorganic chemicals on smoldering combustion of *Pinus halepensis* needles. *Thermochimica Acta*, Vol. 444, pp. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.03.010>.
12. Liodakis S., Antonopoulos I., Agiovlasis I.P., Kakardakis T. (2008) Testing the fire retardancy of Greek minerals hydromagnesite and huntite on WUI forest species *Phillyrea latifolia* L. *Thermochimica Acta*, Vol. 469, pp. 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2007.12.010>.
13. Bakirtzis D., Delichatsios M.A., Liodakis S., Ahmed W. (2009) Fire retardancy impact of sodium bicarbonate on ligno-cellulosic materials. *Thermochimica Acta*, Vol. 486, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2008.12.012>.
14. Zhang P., Hu Y., Song L. (et al.) (2009) Synergistic effect of iron and intumescent flame retardant on shape-stabilized phase change material. *Thermochimica Acta*, Vol. 487, pp. 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.01.006>.
15. Bakirtzis D., Tsapara V., Liodakis S., Delichatsios M.A. (2012) ATR investigation of the mass residue from the pyrolysis of fire retarded lignocellulosic materials. *Thermochimica Acta*, Vol. 550, pp. 48-52. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.08.010>.
16. Perez-Moreno S.M., Gazquez M.J., Barneto A.G., Bolivar J.P. (2013) Thermal characterization of new fire-insulating materials from industrial inorganic TiO<sub>2</sub> wastes. *Thermochimica Acta*, Vol. 552, pp. 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.10.021>.
17. Sut A., Greiser S., Jager C., Scharfel B. (2016) Aluminium diethylphosphinate versus ammonium polyphosphate: A comprehensive comparison of the chemical interactions during pyrolysis in flame-retarded polyolefine/poly(phenylene oxide). *Thermochimica Acta*, Vol. 640, pp. 74-84. DOI: 10.1016/j.tca.2016.08.004.
18. Ivchenko O.A., Pankin K.E. (2019) *Tushenie lesnyh gorjuchih materialov gidrogeljami na osnove gidroksida aljuminija* [Fire extinguishing of forest flammable materials by hydrogels based on aluminum hydroxide]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 33, No. 1, pp. 76-84 (in Russian). DOI:10.12737/article\_5c92016e1314b2.49705560.
19. *Spravochnik himika* [Chemical directory]: in 7 vol. Vol. 2. Leningrad, 1966, 1168 p.
20. *Opryskivatel' "ZhUK"*. *Pasport* [Agricultural Sprincler "Beetle". Technical certificate]. URL: <https://poryadok.ru/upload/iblock/628/6286d584b7ca5b055d8701c3071021d3.pdf> (accessed 08.01.2020).

21. *Polevoj spravochnik lesnogo pozhnogo* [Wild fireman handbook]. URL: <http://www.forestforum.ru/info/fireman.pdf> (in Russian) (accessed March 01 2020).

22. *Spravochnik dobrovol'nogo lesnogo pozhnogo* [Wild fireman volunteer handbook]. URL: <https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf> (in Russian) (accessed March 01 2020).

### Сведения об авторах

*Ивченко Ольга Александровна* – аспирант факультета инженерии и природообустройства ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Российская Федерация; e-mail: [olgalexan@yandex.ru](mailto:olgalexan@yandex.ru).

*Панкин Кирилл Евгеньевич* – кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Российская Федерация; e-mail: [texmexium@mail.ru](mailto:texmexium@mail.ru).

### Information about authors

*Ivchenko Olga Aleksandrovna* – post-graduate student, Department of Technosphere Safety and Transport-Technology Machines, FSBEI HE "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov", Saratov, Russian Federation; e-mail: [olgalexan@yandex.ru](mailto:olgalexan@yandex.ru).

*Pankin Kirill Evgenyevich* – PhD (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Transport-Technology Machines, FSBEI HE "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov", Saratov, Russian Federation; e-mail: [texmexium@mail.ru](mailto:texmexium@mail.ru).