

DOI 10.31509/2658-607x-202142-11

УДК 574/577

## ПОЖАРЫ КАК ФАКТОР УТРАТЫ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ФУНКЦИЙ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

© 2021 г. А. П. Гераськина\*, Д. Н. Тебенькова, Д. В. Ершов, Е. В. Ручинская,  
Н. В. Сибирцева, Н. В. Лукина

*ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии  
наук Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14*

\*E-mail: [angersgma@gmail.com](mailto:angersgma@gmail.com)

Поступила в редакцию: 07.07.2021

После рецензирования: 12.08.2021

Принята к печати: 18.08.2021

В связи с возрастающим антропогенным воздействием и глобальными климатическими изменениями, частота и интенсивность пожаров возрастают по всему миру. Пирогенный фактор становится всё более острой проблемой для лесных стран, требующей незамедлительных решений, так как происходят катастрофические сокращения площади лесных экосистем, невосполнимая утрата биоразнообразия — провайдера экосистемных функций и услуг лесов. Многие биологи рассматривают пожары как губительный для биоты фактор, приводящий к безвозвратной утере части видов и групп живых организмов, а если после действия пожаров восстановление и возможно, для этого требуется продолжительный период времени. Однако в настоящее время появляется время всё больше научных работ, авторы которых утверждают, что пожары не только не сокращают, но и повышают биоразнообразие лесных экосистем, а также способствуют сохранению видов и устойчивому функционированию лесов.

Данная статья направлена на анализ результатов исследований влияния пожаров на основные компоненты лесных экосистем, их биоразнообразие и функции. Авторы дают ответ на вопрос, почему пожар как очевидно деструктивный фактор иногда рассматривается как фактор повышения биоразнообразия. Большинство «положительных» эффектов пожаров на биоразнообразие сводится к возникновению мозаичности, прорывов в пологе леса после пожара. Однако проведенный анализ литературы показывает, что устойчивое мнение в ряде работ о необходимости определенной периодичности пожаров для поддержания лесных сообществ связано с игнорированием или недопониманием роли биотических факторов в функционировании лесов. В современных лесных экосистемах утрачены или сильно сокращены популяции ключевых видов крупных млекопитающих, а следовательно, отсутствуют и формируемые ими микросайты, включая большие прорывы в пологе леса (окна, поляны), обеспечивающие возможности поддержания светолюбивой флоры, насекомых-опылителей и в целом поддержания условий для развития разновозрастных полидоминантных лесных экосистем с высоким биологическим разнообразием. В практике ведения лесного хозяйства известны подходы по поддержанию мозаичности (специальные виды рубок, поддержание популяций ключевых видов животных и др.), которые существенно менее

катастрофичны в сравнении с пирогенным фактором и биологически обоснованы. Даны рекомендации по сохранению и поддержанию биоразнообразия и экосистемных функций лесов в современных лесах.

**Ключевые слова:** лес, пожары, растительность, животные, ключевые виды, парниковые газы, почва, климат, углерод, экосистемные услуги, эмиссии

Лесные пожары — не только современный глобальный фактор, определяющий состояние и функционирование лесных экосистем, оказывающий мощное влияние на биогеохимический цикл углерода, гидрологический режим и изменения климата, но и исторический фактор их формирования. Взаимодействие человека и природы уже с середины плейстоцена (500 тыс. л. н.) тесно связано с огнем: загонная охота, подсечно-огневое земледелие, огневая расчистка для лугов и пастбищ (Gowlett, 2006; Bowman et al., 2009; Бобровский, 2010; Tang, Yap, 2020; MacDonald et al., 2021). Поэтому оценивая биоразнообразие современных лесов, эффективность выполнения ими экосистемных функций необходимо учитывать и антропогенную историю, в которой пожары на многих территориях были важнейшим фактором их формирования (Whitlock et al., 2010; Алейников и др., 2015). В настоящее время, несмотря на принципиально иные технологии в хозяйственной деятельности, пирогенный фактор остается острой проблемой для лесных стран, которая требует решений как в связи с глобальными климатическими изменениями, так и с рядом экономических вопросов — потеря экосистемных услуг, предоставляемых лесами, утраты лесов как важной составляющей в условиях декарбонизации экономики. Многие биологи рассматривают пожары как губительный для биоты фактор, после воздействия которого требуется длительное восстановление. Если во время пожара сохраняются фрагментарные «рефугиумы», в которых выживают отдельные особи разных видов, это не означает, что

выживают популяции (Гонгальский, 2014). Как следствие: (i) разрушаются длительно складывавшиеся согласованные функциональные взаимосвязи, основанные на биоразнообразии; (ii) угнетается состояние растительных эдификаторов и сокращаются популяции ключевых видов животных надземной и подземной биоты; (iii) экосистема отбрасывается на исторически более ранние этапы развития и запускается виток пирогенной демулационной сукцессии, а при высокой частоте пожаров это приводит к стойкой дигрессии и формированию пирогенных диапорических субкликмаксов с ограниченным видовым разнообразием. В то же время и в биологии, и в лесном хозяйстве существуют представления о том, что пирогенный фактор необходим, например, для прорастания семян ряда видов растений (Bell et al., 1993; Keeley, Fotheringham, 2000), поддержания сосновых и дубовых насаждений (Цветков, 2013) и т. д. В настоящее время появляются исследования, авторы которых на основе полученных результатов утверждают, что пожары не только не сокращают, но и повышают биоразнообразие лесных экосистем, а тушение больших пожаров в целом экономически нецелесообразно (Stephens et al., 2018; Kharuk et al., 2021). Одним из аргументов служит тот факт, что пожары возникали и до начала глобальных влияний человека на природу, поэтому необходимы как фактор формирования лесных экосистем и даже эволюции биоты (He et al., 2019). Однако следует учитывать, что в настоящее время частота, интенсивность и масштабы пожаров, девяносто процентов которых, по оценке экспертов, даже на самых

удаленных территориях возникает по вине человека, значительно возросли, и это усугубляется влиянием изменения климата. Тип эволюции лесных экосистем под влиянием пожаров можно определить, как «стирающая эволюция», по определению Л. Г. Богатырева (2004), предложенному для путей развития лесных подстилок.

Цель данной статьи — дать анализ результатов исследований влияния пожаров на основные компоненты лесных экосистем, их биоразнообразие и функции и ответить на вопрос, почему пожар как очевидно деструктивный фактор иногда рассматривается как фактор повышения биоразнообразия.

### **МАСШТАБЫ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И ПИРОГЕННЫЕ ЭМИССИИ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ**

#### *Масштабы лесных пожаров*

По данным официальной статистики, на территории лесного фонда РФ за период с 1992 по 2012 гг. зарегистрировано 569.912 очагов лесных пожаров, что в среднем составило 26.805 очагов в год (ЕМИСС, 2021a). За период с 2009 по 2020 гг. площадь земель лесного фонда, пройденная лесными пожарами, составила 43.945 млн гектаров (в среднем 3.662 млн га в год) (ЕМИСС, 2021b). Ущерб от лесных пожаров в 2019 году, по данным официальной статистики, составил 13.5 млрд руб. (ЕМИСС, 2021c). При этом, по разным оценкам, доля крупных лесных пожаров (более 200 га) в России составляет около 5% от общего количества, но по площади их вклад составляет около 95%. Наиболее часто в лесах России возникают и распространяются низовые пожары, до 98% от общего числа возгораний и более 88% пройденной огнем площади, тогда как на верховые пожары приходится 1-2% и 12%, соответственно (Исаев и др., 1995).

Данные спутникового мониторинга площадей лесных пожаров, которые приводятся различными российскими

и зарубежными экспертами, значительно отличаются от данных официальной статистики. Так, А. З. Швиденко и Д. Г. Щепаченко, исследуя влияние климата на пожарную обстановку в России за период с 1998 по 2010 гг., приводят данные из разных источников. В среднем, по их оценкам, площадь пожаров за указанный период составляла 8.5 млн. га в год (Швиденко, Щепаченко, 2013). При этом периодически регистрируются годы с аномальной горимостью лесов на площади до 16-18 млн. га. Другие авторы (Лупян и др., 2017) сообщают, что в период с 2001 по 2016 гг. ежегодно в России регистрируется по спутниковым данным от 5 до 20 тыс. лесных пожаров, которые повреждают леса на площади от 5 до 20 млн. га. Аналогичные оценки приводятся в публикациях других российских исследователей (Пономарев, Швецов, 2015; Бондур и др., 2016).

#### *Виды пожарных эмиссий и их оценки наземными методами*

Существенный вклад в эмиссии парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) и газов с косвенным парниковым эффектом ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , летучие неметановые органические соединения) и других соединений вносят лесные пожары, ежегодно возникающие в лесах России на обширных территориях и нередко принимающие характер стихийных бедствий. Воздействие лесных пожаров на углеродный баланс определяется двумя основными процессами: физико-химическим процессом «быстрого» выделения соединений углерода, образующихся при неполном сгорании органического вещества («пожарные» эмиссии) и биологическим процессом «медленного» высвобождения соединений углерода в результате деструкции и гниения погибших от огня, но не сгоревших растений («послепожарные» эмиссии). Пожарные эмиссии возникают непосредственно во время действия пожаров и могут по продолжительности достигать

от нескольких часов до нескольких дней или недель. Послепожарные эмиссии начинаются с момента отмирания древесных растений и продолжаются на протяжении нескольких лет или десятилетий.

Исследования наземными методами интенсивности горения и расходов различных проводников горения лесных горючих материалов (ЛГМ) показывают, что масса надземных ЛГМ варьирует в зависимости от породного состава и возраста насаждений, их продуктивности и сомкнутости (полноты), лесорастительной зоны и фенологического состояния растительности. Как правило, она составляет от 4.0 до 12.0 т\*га<sup>-1</sup>, что соответствует запасу хвои, сухих и мелких веток в пологе (кронах) хвойных древостоев, наиболее подверженных верховым пожарам (Молчанов, 1954; Курбатский, 1972; Гришин, 1981). С учетом недожога (не полностью сгоревших, частично обугленных ЛГМ) масса сгорающих при верховых пожарах надземных ЛГМ составляет в среднем около 7.0 т. га<sup>-1</sup>.

Масса наземных ЛГМ, формирующихся из живого напочвенного покрова (мхов, лишайников, кустарничков) и опада (хвоя, листья, мелкие ветви и т. д.), колеблется в широких пределах в зависимости от породного состава, возраста и сомкнутости древостоев, типа леса, питательного и водного режима почв. В большинстве случаев запасы ЛГМ этой группы составляют от 2.0 до 15.0 т\*га<sup>-1</sup> (Вонский, 1957; Конев, 1977). С учетом недожога, масса сгорающих при низовых лесных пожарах наземных ЛГМ составляет 5 т\*га<sup>-1</sup>.

Масса подстилки и органогенных горизонтов почвы, состоящая из отмерших частей растений с различной степенью разложения и гумуса, в лесных экосистемах варьирует, как правило, в пределах от 5.0 до 25.0 т\*га<sup>-1</sup> (Молчанов, 1954; Вонский, 1957). При верховых и низовых лесных пожарах глубина прогорания, как правило,

не превышает половины мощности слоя лесной подстилки, что по запасам соответствует 3.0-12.0 т\*га<sup>-1</sup>. При подземных пожарах, случающихся на болотах и в заболоченных лесах с развитым торфяным горизонтом, масса участвующих в горении органических материалов может достигать 150 т\*га<sup>-1</sup> и более (Арцыбашев, 1974; Шешуков, 1979).

Запас ЛГМ мертвых древесных остатков (валеж, сухостой, пни, сухие ветви) может достигать нескольких десятков тонн на гектар. В процессе горения принимает участие, чаще всего, не более половины наличного запаса мертвых древесных остатков, что соизмеримо по массе с запасом живого напочвенного покрова на лесных площадях.

С учетом приведенных допущений и запасов основных групп ЛГМ, масса сгорающих органических материалов в расчете на 1 га пройденной огнем площади составляет при верховых, низовых и подземных пожарах 30 т\*га<sup>-1</sup>, 12 т\*га<sup>-1</sup> и 120 т\*га<sup>-1</sup>, соответственно.

#### *Дистанционные оценки эмиссий углерода от лесных пожаров*

Количественные оценки прямых пожарных эмиссий соединений углерода и других парниковых газов с использованием спутниковых данных различаются у разных исследователей и связаны с применяемыми методами диагностики пожаров и их последствий, моделей измерения и оценки выбросов парниковых газов, а также вспомогательными данными характеристик лесов России (карты растительности, лесных горючих материалов и др.).

Прямые измерения потоков и концентрации газов (метод «сверху вниз», «top-down» approach) в тропосфере Земли выполняется с помощью спутниковых приборов (Amiro et al., 2001; Liu et al., 2005).

Применяется и традиционный, часто используемый подход «снизу-вверх»

(«bottom-up» approach), который базируется на постобработке спутниковых данных о пожарах (площадь и степень повреждения огнем растительности) и допожарных данных о запасах растительных проводников горения различных типов лесных горючих материалов (Isaev et al., 2002; Kasischke, Bruhwiler, 2003; Soja et al., 2004; Wiedinmyer et al., 2006; Сочилова, Ершов, 2007).

Е. И. Пономарев и соавторы используют радиояркостную температуру в 3-м тепловом канале MODIS (3.93–3.99 мкм) для восстановления интенсивности и типа пожара, а также его связи с размерами расходов ЛГМ для разных древесных остатков, оцененных по литературным источникам (Пономарев и др., 2017). Представленные автором оценки прямых углеродных эмиссий на временном интервале 2002–2016 гг. составляли в среднем  $83 \pm 21$  Мт С год<sup>-1</sup>. При этом диапазон варьирования прямых углеродных эмиссий в различные годы составил 20–227 Мт С год<sup>-1</sup>. А. З. Швиденко и Д. Г. Щепашенко оценивают масштабы выбросов углерода в течение 1998–2010 гг. вследствие природных пожаров в России на уровне  $121 \pm 28$  Мт С год<sup>-1</sup> с годовой изменчивостью от 50 (2000 г.) до 231 (2003 г.) Мт С год<sup>-1</sup> (Швиденко, Щепашенко, 2013). Рассматривая некоторые приблизительные оценки послепожарной эмиссии углерода от пожаров порядка 90–100 Мт С год<sup>-1</sup> (Shvidenko et al., 2010), авторы фиксируют суммарные эмиссии углерода вследствие пожаров в лесах за последние десятилетия на уровне 180–200 Мт С год<sup>-1</sup>.

Наши оценки размеров прямых пожарных эмиссий углерода за период с 2002 по 2018 гг. составили  $34 \pm 19$  Мт С год<sup>-1</sup> в диапазоне от 12 (2009 г.) до 127 (2003 г.) Мт С год<sup>-1</sup> (Ершов, Сочилова, 2020). При этом площади повреждений лесов и интенсивность прямых пирогенных выбросов углерода после 2012 г. увеличились в 1.4 раза. До 2012 г. средняя площадь

повреждений и размеры эмиссий составляли 3.95 млн. га и 29.18 Мт С, а за последние 9 лет — 5.73 млн. га и 41.07 Мт С. Различия в оценках в сравнении с другими авторами связаны с тем, что используются только данные лесных экосистем (покрытых лесом территорий), а также в расчетах отсутствуют данные прямых эмиссий для крупных древесных остатков из-за отсутствия пространственных данных по всей территории России.

Таким образом, масштабы пройденной огнем площади лесов и размеры прямых пирогенных эмиссий свидетельствуют о значительном воздействии лесных пожаров на состояние и биологическое разнообразие лесных экосистем России. Наиболее часто в лесах России возникают и распространяются низовые пожары как от общего числа возгораний, так и от пройденной огнем площади, при этом высокий вклад в эмиссии соединений углерода и других парниковых газов вносят крупные лесные пожары (более 200 га). Помимо пожарных эмиссий, соответствующих длительности горения леса, возникают послепожарные эмиссии, которые продолжаются на протяжении нескольких лет или десятилетий.

#### **ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПОЖАРАХ КАК ФАКТОРЕ, ПОВЫШАЮЩЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ**

Современные лесные экосистемы существенно отличаются от доантропогенных — лесо-луговых систем, существовавших до начала голоцена, когда происходило массовое уничтожение человеком ключевых видов животных в процессе развития присваивающего хозяйства (Smirnova et al., 2021). В современных лесах снижено биологическое разнообразие, включая функциональное и структурное, в сравнении с доисторическими лесами (Vera, 2000; Орлова, 2013; Коротков, 2017;

Лукина и др., 2020). Мозаика микросайтов доантропогенных лесов создавалась как в результате вывалов или сломов деревьев, которые происходили в результате естественной смерти деревьев, так и в результате деятельности крупных позвоночных животных, которые формировали гораздо большие по площади «окна» (прорывы в пологе леса) и поляны, чем вывалы единичных деревьев. Крупные фитофаги оказывали большое влияние на подрост деревьев и кустарников в ходе неравномерного стравливания и вытаптывания. В результате формировался древостой разного состава и разного возраста (Vera, 2000). Возобновление светолюбивой флоры не лимитировалось недостатком света. Млекопитающие и птицы способствовали распространению семян, создавали дополнительные микро-местообитания для сопряженных видов — мелких млекопитающих, насекомых и других беспозвоночных животных. Формировался мозаичный нанорельеф с разной влажностью почвы и составом почвенной фауны (Пучков, 1992).

В настоящее время, в особенности в бореальных лесах, возобновление светолюбивой флоры лимитируется дефицитом света из-за сплошного полога темнохвойных видов деревьев, вероятно, поэтому в ряде работ утверждается, что сохранение современных сосновых, дубовых и лиственных насаждений обеспечивается пожарами (Санников, 1997; Цветков, 2013; Robertson et al., 2019; Матвеева, 2020). Однако существуют исследования, показывающие, что пожары любой интенсивности угнетают в том числе и возобновление сосны (Allen et al., 2002; Макаров и др., 2016). По имеющимся данным, внутрилесные поляны вносят значительный вклад во флористическое разнообразие лесных экосистем (Смирнова и др., 1997; Евстигнеев и др., 1999; Горнов и др., 2020). Сукцессионные смены древесной

растительности происходят в направлении от светолюбивых видов к теневыносливым, и новый демутационный процесс запускается после нарушений — ветровала, пожара, рубки, вспышки массового размножения насекомых. Однако после таких масштабных нарушений вновь будет формироваться одновозрастной древостой с небольшим набором древесных видов, который уязвим к внешним факторам.

Большое значение в современных лесах отводят валежу как широко распространенному микросайту старовозрастных лесов. Валеж поддерживает флористическое разнообразие (Евстигнеев и др., 2012; Евстигнеев, Горнова, 2017; Khanina, Bobrovsky, 2021), служит благоприятным местообитанием для десятков видов позвоночных и сотен видов беспозвоночных животных, а также грибов и бактерий (Гончаров, 2014; Гераськина, 2016; Ashwood et al., 2019; Evstigneev, Solonina, 2020; Jacobsen et al., 2020), что особенно актуально при ускоряющихся темпах потерь биологического разнообразия (Lukina et al., 2021). Несмотря на то, что валеж, в особенности поздних стадий разложения, как правило, характеризуется большей влажностью, чем окружающая почва, в настоящее время его также рассматривают как фактор повышенной пожарной опасности (Paletto et al., 2012). Это свидетельствует о высокой степени нарушенности и уязвимости современных лесов, поскольку в них практически отсутствуют такие ключевые виды, как лоси, зубры, бобры и др., поэтому не создаются естественные преграды распространения огня за счет формирования «окон», троп, разреженного древостоя, внутрилесных водоемов. Рубки отдельных деревьев и формирование «окон» с целью предотвращения распространения огня рекомендованы как один из экологических принципов защиты лесов от пожаров (Allen et al., 2002).

Поскольку огонь — исторически давний фактор, у ряда растений сформировались адаптации к пожарам: значительное утолщение покровных тканей древесных растений, активизация под действием высоких температур банка семян цветковых растений (Keeley, Fotheringham, 2000; Lamont et al., 2018; Soos et al., 2019), раскрытие шишек голосеменных растений (Санников, 1997; Агапов, 2019). Например, гигантская секвойя (*Sequoiadendron giganteum*) относится практически к пирогеннозависимым растениям, т. к. принято считать, что шишки этого вида раскрываются только под действием огня (Harvey, Shellhammer, 1991). Однако существуют и естественные биотические факторы, обеспечивающие распространение и прорастание семян. Шишки сосны и кедра поедают птицы (кедровки, сойки), мышевидные грызуны и белки, которые высвобождают семена из-под плотных чешуй и сохраняют «запасы» в подстилке и норах, большую часть из которых не находят, и семена прорастают (Реймерс, 2015). Шишки гигантской секвойи потребляет белка Дугласа (*Tamiasciurus douglasi*), основным кормом которой служат зеленые чешуи молодых шишек секвойи, т. к. семена очень мелкие и представляют меньшую пищевую ценность, чем крупные чешуи. Жук-усач (*Phymatodes nitidus*) трофически очень тесно связан с шишками секвойи гигантской: самки жука откладывают на поверхность шишек яйца, из которых развиваются личинки, поедающие чешуйки шишек и высвобождающие семена (Weatherspoon, 1990). Кроме того, подсыхание и растрескивание чешуй шишек и выпадение семян происходит не только под действием огня, но и прямых солнечных лучей, однако под сомкнутым пологом древостоя в связи с отсутствием открытых пространств из-за уничтожения крупных лесных животных

этот механизм часто не реализуется (Harvey et al., 1980).

К аргументам положительного воздействия огня на биоразнообразие лесов также относят:

- ✓ снижение корневой конкуренции между древесными видами (Матвеева, 2020),

- ✓ улучшение прорастания семян, вследствие прогорания лесной подстилки до минерального слоя (Карнель, Забелин, 1978) и снижения численности мелких млекопитающих, повреждающих семена и проросшие растения (Фарбер, 2012);

- ✓ ускорение минерализации органического вещества (Wells et al., 1979);

- ✓ антисептическое воздействие высоких температур на почвы (Соколов, 1973);

- ✓ снижение конкуренции за свет и осадки на сгоревшем ландшафте (Агапов, 2019).

Все приведенные аргументы вполне удовлетворительно обосновываются функциональными потерями в биоразнообразии современных лесов, поскольку указанные эффекты реализуют биотические взаимосвязи между компонентами лесных экосистем: деструкцию подстилки обеспечивают беспозвоночные-сапрофаги и сапротрофные микроорганизмы, которые также завершают ее минерализацию и оказывают «санитарное» воздействие на почвы, регулируя баланс разных групп бактерий (Бызов, 2005), формирование структурного разнообразия и снижение конкуренции между растениями, в том числе и в подземной сфере (корневых системы) обеспечивают зоогенные механизмы в регуляции леса (Пучков, 1992; Vera, 2000; Smirnova et al., 2018).

Таким образом, в условиях функционирования современных лесов, в которых утрачены ключевые виды крупных млекопитающих и, соответственно, формируемые ими микросайты, обеспечивающие возможности формирования

разновозрастных полидоминантных лесных экосистем, пожары часто рассматриваются как важный и необходимый фактор поддержания биоразнообразия. Пожары запускают механизмы положительной обратной связи, в связи с чем некоторые лесные сообщества (например, сосновые леса) стали определяться исследователями как пирогенно-зависимые. Ряд растений выработали адаптационные механизмы к воздействию огня. Однако в функционировании лесных экосистем и поддержании биоразнообразия высока роль биотических факторов, которые необходимо учитывать при рассмотрении подходов к устойчивому управлению лесами и, по возможности, восстанавливать утраченные компоненты экосистем.

### ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА

Огонь влияет на растения прямо, уничтожая их полностью или частично, а также косвенно, за счет изменения условий обитания. На этом основании выделяют краткосрочные и долгосрочные последствия пожаров. К краткосрочным относятся сгорание лесных горючих материалов, включая фитомассу, нагрев почвы, ожоги (огневые раны) или гибель растений, наземных позвоночных и почвенных животных, микроорганизмов (Мелехов, 1948; Wildland..., 2000; Ильина, 2011; Сухомлинов, Сухомлинова, 2011 и др.). Долгосрочные последствия пожаров — пирогенная трансформация почвы, снижение разнообразия почвенной биоты, усыхание и гибель деревьев, накопление фитомассы, послепожарная сукцессия растительности (Кулешова и др., 1996; Мониторинг..., 2002; Tyler, Spoolman, 2011; Горбунова и др., 2014; Иванова и др., 2018 и др.).

Наиболее губительны для лесной растительности верховые пожары, при которых огонь распространяется от почвы до вершин деревьев. Верховые пожары могут быть

беглыми и устойчивыми (Залесов, 2011; Ильина, 2011). Устойчивый пожар — катастрофа для всего растительного сообщества, поскольку он оказывает влияние на все его компоненты. После гибели леса в результате воздействия огня возникают резкие изменения микроклимата, гидрологических и почвенных условий, от чего, в свою очередь, зависит формирование нового сообщества, то есть происходит смена фитоценозов. В некоторых случаях древостой погибает полностью и в короткий срок выпадает, образуя завалы (Несговорова и др., 2015). Иногда растительность начинает восстанавливаться не сразу из-за сильного прогорания почв и отсутствия источников семян.

При низовых пожарах частично или полностью выгорают растения нижних ярусов (мохово-лишайниковый и травяно-кустарниковый ярусы, подрост и подлесок), а также подстилка и гумусовый горизонт. Повреждаются корневые системы, образуются огневые раны на стволах деревьев (Девятова и др., 2014; Richter et al., 2019), частично выгорает валежник, пни и порубочные остатки. Низовые пожары в некоторых условиях могут переходить в верховые. Поврежденные пожаром и ослабленные деревья в большей степени повреждаются насекомыми и грибами (Мелехов, 1948; Попов, 1961; Parker et al., 2006). Однако в некоторых работах отмечается, что пожары низкой интенсивности могут положительно влиять на способности деревьев к защите от насекомых, например, лиственничника восточного (*Dendroctonus simplex*) (Hood et al., 2015). Подрост после низовых пожаров в основном погибает. В работе К. В. Левченко (2017) отмечается, что устойчивость массивов хвойных пород к низовым пожарам очень низкая. В сообществах с подростом и подлеском при наличии склонов низовой пожар может перейти в верховой, при этом все компоненты фитоценоза,



включая напочвенный покров, уничтожаются полностью.

Низовые пожары разной интенсивности влияют на растительность неодинаково (Pourreza et al., 2014; Иванова и др., 2018). Выделяют пожары низкой, средней и высокой интенсивности — они отличаются степенью прогорания подстилки и почвы. После слабого воздействия сохраняется древостой, при этом пожароопасность территории на какое-то время снижается из-за уменьшения запаса горючих материалов. После пожаров низкой интенсивности может увеличиваться численность и разнообразие злаков и разнотравья (Hutchinson et al., 2005). Это связывают с возникновением новых экологических ниш (Rosenzweig, 1995; Горбунова и др., 2014). Пожары средней интенсивности, так же, как и пожары низкой интенсивности, приводят к ослаблению древостоя и выпадению деревьев (Иванова и др., 2018). Пожары высокой интенсивности многократно увеличивают время восстановления послепожарного сообщества (Иванова и др., 2017). Они значительно нарушают ландшафты (Collins, Stephens, 2010) и способствуют выраженной гомогенизации среды обитания, которая существенно снижает биоразнообразие (Hessburg et al., 2016; Shive et al., 2018, Steel et al., 2018). Кроме того, после интенсивных пожаров запасы напочвенных горючих материалов возрастают и могут превышать допожарные в несколько раз, что создает условия для повторного возникновения высокоинтенсивного пожара (Иванова и др., 2017). Иногда после таких пожаров в условиях высокой освещенности возникают массовые всходы древесных растений (Иванова и др., 2018). Однако из-за увеличения температуры почв, недостаточности влаги и зараженности фитопатогенами эти всходы погибают. Подрост восстанавливается через 12-14 лет.

Часто после пожаров в лесных сообществах увеличивается доля светолюбивых растений — боровых и луговых видов (Иванова, Перевозникова, 1996; Бизюкин, 1998), в некоторых случаях — лугово-степных видов (Шпилевская, Каткова, 2011). Кроме того, часто на выгоревшие участки активно внедряются растения, которые называют пирофитами (Восточноевропейские..., 2004; Афанасьева, Березина, 2011), а формирующееся «разнообразие» называют пироразнообразием (He et al., 2019). Полагают, что некоторые растения выработали приспособления для того, чтобы переживать пожары (Kelly, Brotons, 2017). К ним относится, например, строение семян, которое позволяет сохранить зародыш после воздействия огня, а также толстая корка у деревьев, защищающая камбий (Ильина, 2011). Часто к пирофитам относят иван-чай узколистый (*Chamaenerion angustifolium*), который заселяет участки, пройденные огнем и образует сомкнутые растительные группировки (Бизюкин, 1998; Афанасьева, Березина, 2011; Шпилевская, Каткова, 2011). В пирогенные сообщества могут проникать адвентивные и сорные виды (Горяинова, Леонова, 2008; Шпилевская, Каткова, 2011).

Пожар вызывает изменения состава растительности территорий, то есть послепожарные (пирогенные) сукцессии. Они зависят от состава и состояния исходного сообщества, интенсивности и длительности возникновения пожара (Кулешова и др., 1996; Иванова и др., 2017; Miller et al., 2019). На первых стадиях сообщество заселяется пионерными (реактивными) видами, часто могут распространяться «пирофиты». Источниками диаспор могут выступать почвенный банк семян и растения из неповрежденных участков. В условиях отсутствия взрослых древесных растений заселение выгоревших участков зависит от переноса животными (птицами и мелкими

млекопитающими) (Diaci, 1994). Кроме того, возрастает важность вегетативного размножения растений (Иванова, Перевозникова, 1996; Ковалева и др., 2012).

Несмотря на появление на осветленных участках видов-пиофитов, пожары всегда ведут к снижению видового разнообразия растений (Чибилев, 1998; Ильина, 2011; Richter et al., 2019). После пожаров значительно сокращаются запасы семян в почве (Ильина, 2011; Miller et al., 2013). Редкие представители флоры могут исчезать полностью после пожаров (Крюкова, 2009; Макаров и др., 2019).

Поспирогенное восстановление может занимать от нескольких лет до десятилетий (Телицын, Осташенко, 2008). Современные экосистемы в той или иной степени изменены и подвержены антропогенному воздействию (Richter et al., 2019). Поэтому влияние огня на леса может проявляться в разных формах, в зависимости от состава исходного сообщества и истории пожаров на этой территории (Miller, Safford, 2020). В обзоре Д. А. Дрисколл с соавторами (Driscoll et al., 2021) показано, что пожары и фрагментация сообществ влияют друг на друга в зависимости от условий, в которых происходит взаимодействие и от их масштабов. Так, из-за огня часто ландшафты становятся неоднородными, при этом сообщества, уже перенесшие это воздействие, могут сдерживать распространение огня за счет пройденных огнем участков. Отмечающееся в некоторых случаях кратковременное повышение биоразнообразия происходит, главным образом, за счет краевого эффекта.

Пожары как мощнейший фактор формирования лесных экосистем оказали огромное влияние на современный облик бореальных лесов как Северной Америки (Payette, 1992), так и Евразии (Горшков, 2001; Нешатаев, 2017). Многие исследователи бореальных лесов отмечают, что в современном растительном покрове

таежной зоны большая часть светло- и темнохвойных лесов представляет собой не коренные насаждения, а различные стадии восстановления лесов на пройденных огнем территориях (цит. по Нешатаев, 2017).

Современные дендрохронологические исследования позволяют установить влияние давних (более ста лет назад) крупных лесных пожаров на лесные экосистемы. В частности, влияние крупного лесного пожара 1896 года до сих пор прослеживается на росте деревьев и глубине сезонного таяния вечной мерзлоты в Центральной Сибири. После гибели древостоя и напочвенного покрова произошло уменьшение толщины органического горизонта почвы и увеличение толщи вечной мерзлоты, что предопределило замедленное восстановление леса после пожаров на большей части приполярной бореальной зоны (Kirdyanov et al., 2020).

В условиях изменения климата число лесных пожаров и их частота будет расти (Flannigan et al., 2000, 2006; Camia et al., 2017; Molina et al., 2019). Некоторые послепожарные системы уже могут не восстановить исходный состав растительности из-за изменения почвенных условий и образования зон дефляции, несмотря на уже проведенные лесовосстановительные работы (Гынинова и др., 2020).

Таким образом, пожары любой интенсивности оказывают прямое и косвенное влияние на древостой, подрост и напочвенный покров. Пожары изменяют условия функционирования всех компонентов растительных сообществ и делают их более уязвимыми к другим факторам среды. Ухудшается состояние ценопопуляций растений, преобладавших в допожарных экосистемах. Появление светолюбивых «пиогенных» видов не компенсирует общий уровень падения биоразнообразия после пожаров. Постпи-

рогенное восстановление растительности требует значительного времени, наличия источников и переносчиков диаспор.

### ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

Несмотря на высокую актуальность, исследований влияния пожаров на позвоночных животных не так много, что отмечается в ряде работ (Стратегия..., 2011; Пушкин, 2014; Barlow, Peres, 2006; Pastro et al., 2014; Gertini et al., 2021). Оценка влияния пожаров на популяции животных проводится, в основном, на основании тенденций в динамике их плотности: если на определенной территории плотность популяции растет, часто делается вывод о положительном влиянии пожара, падает — об отрицательном, также анализируется альфа- и бета-разнообразие и пространственное распределение животных (Ревуцкая и др., 2018; Белых и др., 2021; Cleary et al., 2004; Pastro et al., 2011; 2014).

Лесные пожары уничтожают среду обитания и пищевые ресурсы для позвоночных животных и повышают эффективность охоты хищников в постпожарных ландшафтах (Letnic et al., 2005; Green, Sanecki, 2006; Kodandapani et al., 2008). Огонь может оказывать пагубное воздействие на физиологию мелких млекопитающих, например, затрудняя их воспроизводство, как было продемонстрировано в Австралии на некоторых видах сумчатых куниц и мышей. Фактически, изменения среды обитания дестабилизируют животных на таких этапах репродуктивного поведения, как ухаживание, беременность и уход за потомством (Banks et al., 2007). Воздействие огня на отдельные виды животных зависит от интенсивности и масштабов пожаров (Cleary et al., 2004; Pastro et al., 2011).

В дубовых лесах Пенсильвании через 4–12 месяцев после пожара количество мелких млекопитающих в сгоревших лесах было значительно меньше, чем в негоревших, а

два вида грызунов — луговая полевка (*Microtus pennsylvanicus*) и южная красная полевка (*Clethrionomys gapperi*) отсутствовали на местах пожаров (Kirkland et al., 1996). На сгоревшей территории площадью 15 000 га в Аризоне семейство грызунов Cricetidae сократилось из-за вызванного пожарами нарушения травяного покрова и вернулось к уровню, предшествующему пожару, только через 6 лет (Bock et al., 2011). Численность и разнообразие мелких млекопитающих в некоторых частях эвкалиптового леса в Австралии восстановились после пожара не менее чем через 9 лет (Fox, McKay, 1981).

В ряде случаев отмечают «пользу» лесных пожаров для животных, таких как благородный олень (*Cervus elaphus*) и европейский лось (*Alces alces*), кормом которым служат травянистые растения и подрост деревьев, появляющиеся на зарастающих гарях (Kharuk et al., 2021). На первый взгляд, это подтверждается установленной положительной корреляцией между ростом численности травоядных и размером площади территорий, пройденных огнем (Белых, Садовская, 2021). Но, как отмечают сами авторы исследования, такая корреляция может быть обусловлена вынужденной миграцией на выгоревшую территорию животных из районов, где лес всё еще горит, с целью спасения от огня. Это же объяснение справедливо для животных семейств псовых (Canidae), кошачьих (Felidae), медвежьих (Ursidae) и фазановых (Phasianidae) (Белых, Садовская, 2021). В бореальных лесах Северной Америки на гарях чаще встречаются лисы, чем волки, которые, тем не менее, также довольно быстро осваивают эти территории. Динамика численности рыси во многом определяется плотностью популяции зайцев — основной их добычи (Fisher, Wilkinson, 2005).

В некоторых исследованиях авторы отмечают нейтральное влияние пожаров

на животных (Pastro et al., 2014). В частности, Е. П. Липатников и О. П. Виньковская в своей работе (2012) зависимости численности кабана (*Sus scrofa sibiricus*) от размера площадей, пройденных огнем, не выявили. Вместе с тем, сама жизнедеятельность кабанов влияет на пожары: порою кабанов ограничивают распространение низовых пожаров и защищают древесный подрост (Липатников, Виньковская, 2012), выполняя при этом роль защитной минерализованной полосы. В то же время О. Л. Ревуцкая с соавторами (2018) установили, что наибольшая плотность населения кабана, а также изюбря (*Cervus elaphus xanthopigus*), наблюдается на территориях с наименьшей горимостью. Исследования влияния контролируемых выжиганий в сообществах сосны болотной (*Pinus palustris*) на юго-востоке США на мелких млекопитающих и земноводных не выявили значительных различий в количестве видов животных в зависимости от частоты возгорания: интервалы 1–3, 3–5 и более 5 лет (Darracq et al., 2016).

Пожары крайне отрицательно влияют на популяции кабарги (*Moschus moschiferus*) — ее численность на горельниках резко падает вплоть до исчезновения и долго не восстанавливается (Доманов, 2017), малайских медведей (*Helarctos malayanus*) в юго-восточной Азии (Fredriksson et al., 2007), тигров (Joshi et al., 2015), индийских слонов (Joshi et al., 2015), дальневосточного леопарда (Пикунов и др., 2009) и других редких млекопитающих.

Большинство исследователей единодушны в негативной оценке влияния ландшафтных пожаров на представителей семейства куньих (Mustelidae), в частности, соболей (*Martes zibellina*) (Наумов, 2014; Пушкин, Машкин, 2014; Ревуцкая и др., 2018; Федорова и др., 2020; Белых, Садовская, 2021). В работе «Wildfires in the Siberian taiga» (Kharuk, 2021), наоборот, утверждается, что соболей привлекают

зарастающие гари по причине роста численности популяций зайцев и мелких мышевидных млекопитающих, которыми они питаются. Однако в годы максимального количества пожаров отмечается сокращение численности популяций соболя (Федорова и др., 2020; Белых, Садовская, 2021). По всей видимости, это связано с особенностями поведения соболя при пожаре. По данным П. П. Наумова (2014), во время лесного пожара соболь не стремится убежать от надвигающегося огня, а затаивается. Это приводит к его гибели от огня или дыма. При верховом пожаре гибнет до 100% соболей (Наумов, 2014). Огромные пустые пространства, остающиеся на пройденных верховыми пожарами территориях, нарушают целостность популяций соболя, препятствуя тем самым воспроизводству и создавая предпосылки для сокращения его ареала и численности (Наумов, 2014). Ущерб, вызванный разрушением среды обитания соболей в результате пожаров 2019 года на территории Красноярского края, оценивается более чем в 22 млрд рублей (Крейндлин, 2019). Эти расчеты показывают несостоятельность выводов об экономической нецелесообразности тушения лесных пожаров. Отрицательное влияние лесных пожаров установлено также для белки (*Sciurus vulgaris*) (Ревуцкая и др., 2018) и рыси (*Lynx lynx*) (Бекшаев, 2016).

Пожары оказывают негативное влияние на популяции лесных птиц, в особенности, узкоспециализированных видов (Bendel et al., 1974; Gil-Tena et al., 2009). В связи с практикой сжигания порубочных остатков проводятся исследования такого воздействия на птиц, гнездящихся на вырубках. Часто отмечается разрушение гнезд и гибель выводков, а также вынужденное покидание птицами своих гнезд, в том числе и теми, которые гнездились вблизи территории, подвергшейся воздействию огня. Однако, несмотря на полученные

данные, некоторые авторы рекомендует «метод контролируемого выжигания порубочных остатков на вырубках в горных лесах как не вносящий существенные изменения в сообщества животных» (Тимошкина, 2004). Учитывая то, что сжигание порубочных остатков во время пожароопасного периода часто приводит к возникновению крупных лесных пожаров (Ярошенко, 2021), негативный эффект от такого сжигания может значительно возрасти.

Представители герпетофауны (земноводные и рептилии) погибают от огня, дыма и кислородного голодания несмотря на то, что потенциально могут избежать его влияния. Однако даже быстро передвигающиеся змеи и ящерицы получают необратимые травмы, разрушаются их убежища и истощается кормовая база (Pausas, 2019).

Таким образом, открытые пространства с их зеленым кормом, в том числе и те, которые возникают в результате пожаров, действительно, могут привлекать крупных животных-фитофагов и питающихся ими хищников. Но в экологически сбалансированных экосистемах такие пространства возникают и поддерживаются за счет видов-эдификаторов (Восточно-европейские леса..., 2004). Необходимая для поддержания биоразнообразия гетерогенность условий среды создается в результате популяционной жизни животных и растений, деятельность которых не приводит к катастрофическим нарушениям и потерям, неизбежным при действии огня. Кроме того, зачастую в результате крупного лесного пожара формируются огромные по площади гомогенные открытые пространства, что ведет к уничтожению природной гетерогенности живого покрова и, как следствие, к устойчивому снижению биоразнообразия, в том числе и позвоночных животных.

### **ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ**

Пирогенез является одним из ведущих процессов в лесах, влияющим на свойства почв. Пожары приводят к изменениям морфологических и физико-химических свойств, состава органического вещества и механического состава почв (Сапожников, 1976; Трофимов, Бахарева, 2007; Kawahigashi et al., 2011; Дымов и др., 2014). Изменения морфологических свойств почв обусловлены выгоранием органогенных горизонтов, древесного опада, валежа и других растительных остатков и выражаются в формировании пирогенного горизонта, либо в появлении признаков пирогенеза в почвенных горизонтах. Установлено, что морфологические признаки влияния пожара могут проследиваться до глубины 0.3 м (Dymov et al., 2018). Признаки пирогенеза проявляются в виде углистых включений в нижней части подстилки и минеральных горизонтов, пирогенных морфонов. К признакам пирогенеза относится потемнение минеральных горизонтов за счет пирогенного органического вещества, способного к активной миграции. Подзолистый горизонт пропитывается потечным органическим веществом, наблюдается гидрофобизация, переуплотнение верхних минеральных горизонтов.

Пожары приводят к снижению кислотности подстилки и, напротив, повышению кислотности минеральных горизонтов почв, увеличению содержания обменного кальция в минеральных горизонтах почв и их обогащению углеродом и азотом, кратковременному повышению доступности элементов питания, снижению биологической активности почв и доли углерода водорастворимых соединений, сужению отношения C/N в подстилке и других горизонтах, испытавших пиро-

генное влияние (Сапожников, 1976; Сорокин и др., 2000; Certini, 2005; Безкоровая и др., 2007; Цибарт, Геннадиев, 2009; Лукина и др., 2008; Дымов и др., 2014; Ludwig et al., 2018). Снижение кислотности подстилки на гарях связывают с влиянием низкомолекулярных органических соединений, присутствующих в почвенных растворах гарей (Сапожников и др., 2001). Возрастание содержания углерода объясняется поступлением из углистых частиц, увеличение содержания азота, обменного кальция — массовым поступлением большого количества растительных остатков, формирующихся в результате воздействия пожаров на древесные и другие растения.

Недавние оценки влияния длительного использования выжиганий (*prescribing burning*) на почвы юго-западных прибрежных равнинных сосновых лесов в США демонстрируют сходные изменения их физико-химических свойств. С увеличением частоты пожаров возрастает содержание подвижных кальция и марганца, снижается актуальная кислотность, содержание калия и сульфатов в десятисантиметровом слое почв (Coates et al., 2018). Авторы считают, что эти изменения носят временный характер. Однако другие авторы демонстрируют на примере пирогенных сукцессионных рядов в лесах Южной Австралии длительностью несколько сотен лет, что последствия пожаров в почвах наблюдаются после восьмидесяти лет и более, и выражаются в обеднении почв элементами питания, в том числе доступными соединениями фосфора и нитратами (Bowd et al., 2019).

В ходе пожаров в таежных биогеоценозах наблюдается изменение и перераспределение пулов органического вещества между компонентами экосистемы: уменьшение запасов углерода и азота в подстилке при их возрастании в верхних минеральных горизонтах (Dymov et al.,

2018). Однако, необходимо подчеркнуть, что это возрастание запаса углерода в минеральных горизонтах сопровождается его огромными пирогенными эмиссиями в атмосферу (раздел: Масштабы лесных пожаров и пирогенные эмиссии углерода в лесах России).

Пожары приводят к изменению состава органического вещества почв. В результате действия пожара уменьшается содержание гидрофильных органических соединений и увеличивается содержание гидрофобных соединений (Certini, 2005; Дымов и др., 2015a). Возрастание гидрофобности почв приводит к увеличению поверхностного стока и интенсификации процессов эрозии почв. Пожары способствуют увеличению в пирогенных горизонтах содержания и доли полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), обладающих канцерогенными и мутагенными свойствами. Нафталин, содержание которого возросло особенно значительно, диагностирован и в пирогенных морфонах на глубине более полуметра (Дымов и др., 2015b).

Глубина и масштабность изменений свойств почв, вызванных пирогенным фактором, определяются, с одной стороны, характером пожара, его интенсивностью, а с другой стороны, условиями (уровень увлажнения почв, количество осадков и др.), в которых формируются леса, типами лесов.

В условиях меняющегося климата частота и интенсивность пожаров возрастают. Они приводят к высвобождению соединений углерода из захороненного органического вещества почв (*legacy carbon*) бореальных лесов, что вызывает увеличение концентраций парниковых газов и потепление (Merzdorf, 2019). Показано, что для восстановления подстилки в бореальных лесах после пожаров требуется очень длительный период (от 120 до 190 лет) (Горшков и др., 2005).

Таким образом, пожары, частота и интенсивность которых возрастают в современный период климатических изменений, оказывают значительное и негативное влияние на свойства лесных почв. Пожары приводят к увеличению поверхностного стока и интенсификации процессов почвенной эрозии. Как показывают исследования долговременного влияния, пожары вызывают истощение почвенного плодородия, а именно, обеднение почв доступными соединениями фосфора, калия, способствуют высвобождению захороненного в минеральных горизонтах почв углерода, что вызывает дальнейшее повышение концентраций парниковых газов. Пожары вызывают увеличение содержания в почвах токсичных полициклических ароматических углеводородов. Все эти пирогенные изменения в почвах не могут не оказывать губительного действия на почвенную биоту.

#### **ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ПОЧВЕННУЮ БИОТУ**

Пожары оказывают деструктивное влияние на почвенное население (Bowman, 1998; Doamba et al., 2014; Certini et al., 2021). Опасны как верховые, так и низовые пожары, поскольку и те, и другие приводят к ксерофитизации лесных сообществ, что значительно изменяет условия обитания как почвенной фауны, так и микроорганизмов. Обугленная древесина (валеж и поврежденные огнем стволы деревьев) — неблагоприятный субстрат для заселения почвенной биотой. Даже среди грибов известно небольшое число видов, способных обеспечить успешное развитие пионерных стадий пирогенных сукцессий на древесине (Сафонов, 2006). Кроме того, прямое выгорание подстилки и валежа приводит к утрате местообитаний для большинства видов почвенной биоты. В целом пожары снижают биологическую активность почв (Сорокин и др., 2000;

Безкорвайная и др., 2007; Сорокин, 2009; Сорокин, Афанасьева, 2012).

Влиянию лесных пожаров на микроорганизмы посвящены различные исследования, большая часть из которых непродолжительна и проводилась в первые годы после пожаров (Ahlgren, Ahlgren, 1965; Min, Haiqing, 2002; Mataix-Solera et al., 2009; Silva et al., 2020). Огонь может воздействовать на почвенный микробиом напрямую, через нагревание, и косвенно, изменяя свойства почвы. К наиболее важным факторам относятся интенсивность и продолжительность пожара, а также свойства почвы. В случае интенсивного, длительного пожара верхний слой почвы может пройти полную стерилизацию. Активность почвенных микроорганизмов также снижается из-за изменения качества органического вещества. После истощения легко минерализующихся органических соединений первоначальное увеличение микробного базального дыхания быстро сменяется снижением, поскольку сохранившиеся формы углерода и азота более устойчивы к воздействию микробиоты. Повышение pH (из-за осаждения золы) служит причиной увеличения соотношения бактерии/грибы (Mataix-Solera et al., 2009; Pressler et al., 2019). После пожаров средней и высокой интенсивности может происходить быстрая реколонизация почвы фотоавтотрофными микроорганизмами (водоросли) (Mataix-Solera et al., 2009).

В среднетаежных и южнотаежных сосняках Средней Сибири пожары средней и, особенно, высокой интенсивности в первый год оказали отрицательное влияние на структуру и функциональную активность микробных комплексов песчаных подзолов. Снизилась численность и биомасса микроорганизмов азот-углеродного цикла, стал беднее качественный состав, уменьшилась ферментативная активность и интенсивность микробного дыхания, повысилась

олиготрофность почв в отношении азота (Богородская, 2006). Низовой пожар средней интенсивности привел к снижению метаболической активности микробного сообщества в подстилке соснового леса Новосибирской области в первые два года после воздействия (Наумова, 2008).

Анализ состояния микробного сообщества серо-гумусовых почв сосновых лесов Тольятти после пожаров также показал, что пожары оказывают негативное влияние на структуру и метаболическую активность микробного сообщества постпирогенной почвы. Установлено, что содержание углерода микробной биомассы и скорость микробного дыхания почвы (в верхних органогенных горизонтах) участков после пожара существенно уменьшились по сравнению с фоновыми (в 6.5 и 3.4 раза соответственно). В то же время в почве на глубине 10 см влияния пожара на данные микробиологические показатели пока не выявлено (Максимова и др., 2017).

Пожары приводят к сокращению видового разнообразия микоценоза из-за нарушения количества и качества субстратов (подстилки, древесных остатков), служащих банком спор и мицелия грибов. Прямое воздействие огня на микоценозы приводит к снижению видового разнообразия грибов. Обгоревшая древесина медленно заселяется ксилотрофными грибами. По мере накопления валежа после пожара происходит дальнейшее развитие микоценоза, но оно идет в направлении, отличном от первоначального (Сафонов, 2006). Грибы более чувствительны к пожарам, чем бактерии (Pressler et al., 2019). В случае грибов, образующих арбускулярную микоризу, большинство исследований показали отрицательное влияние (Mataix-Solera et al., 2009).

Метаанализ 1634 полевых и 131 эмпирических исследований влияния пожаров на микроорганизмы и мезофауну показал, что пожары оказывают сильное

негативное воздействие на биомассу, разнообразие, распределение почвенной биоты. Огонь снижает видовое богатство и разнообразие почвенных микроорганизмов и мезофауны на 88 % и даже 99%. Численность нематод после пожаров уменьшается на 88% (Pressler et al., 2019), энхитреид — на 30-65% (Malmström et al., 2009), снижается численность и разнообразие микроартропод (Краснощекова и др., 2008).

Влиянию лесных пожаров на почвенную фауну посвящена монография К. Б. Гонгальского (2014), в которой дан обзор мировой литературы по влиянию пожаров разных масштабов на педобионтов. Приведены результаты полевых экспериментов по искусственному выжиганию лесных участков, которые показали 100% гибель беспозвоночных подстилочного и верхних минеральных почвенных горизонтов (Wikars, Schimmel, 2001); лабораторные эксперименты с прямым воздействием огня на почвенные пробы в течение 1 минуты без последующего тушения показали снижение на 46% общей численности макрофауны, при этом выживаемость пауков составила 49%, жуков-стафилинид — 27%, личинок мягкотелок, щелкунов и хирономид — от 58% до 62%, цикады, гусеницы (Noctuidae и Pyralidae) и моллюски были уничтожены огнем полностью (Gongalsky et al., 2012).

В ходе низовых пожаров погибают обитатели подстилки и минеральных горизонтов почв на глубине 2-3 см ниже зоны горения, гибель происходит как непосредственно от высоких температур в период пожара, так и после пожара в первые несколько суток от интоксикации продуктами горения (Wikars, Schimmel, 2001). В зоне пожара массово гибнут клещи, коллемболы, раковинные амебы, насекомые и дождевые черви, т. е. группы, тесно связанные с органогенными горизонтами почвы. Более устойчивы к пожарам



«мобильные» группы насекомых: летающие зоофаги и фитофаги (Moretti et al., 2006). Но при этом среди насекомых на стадии яйца погибает почти 95%, на стадии личинки и имаго — 60% (Гонгальский, 2014).

Негативное влияние низовые пожары любой интенсивности оказывают на дождевых червей. При полевых исследованиях в европейских лесах после пожаров ожидалось, что больше всего пострадают эпигейные черви, поскольку они тесно связаны с подстилкой, но оказалось, что больше всего подорваны популяции эндогейных червей, популяции которых крайне медленно восстанавливались из-за того, что коконы и ювенильные особи этой группы находятся в самых верхних горизонтах почвы. Отрицательное влияние оказали пожары и на группу норных червей (Certini et al., 2021). В то же время эпигейные черви, как более мобильные, вероятно, находили убежища в валеже и других фрагментах древесных остатков в лесах. В лесах Дальнего Востока России выявлены существенные различия в населении дождевых червей, которые выражаются в снижении численности, биомассы, видового разнообразия и состава морфо-экологических групп в лесах часто подверженным пожарам, в сравнении с менее нарушенными лесами (Geraskina, Kuprin, 2021).

Влиянию пожаров на различные таксономические группы мезо- и макрофауны посвящено большое число работ (Neumann, Tolhurst, 1991; Collett et al., 1993; Saint-Germain, 2005; Sackmann, Farji-Brener, 2006; Trucchi et al., 2009; Pressler et al., 2019; Gertini et al., 2021 и др.). Как правило, авторы указывают на негативные прямые эффекты влияния пожара на плотность и видовое разнообразие педобионтов, подчеркивая их уязвимость и тесную взаимосвязь со средой обитания. Однако при рассмотрении опосредованных эффектов пожаров, таких как

возникновение открытых пространств, кратковременное развитие микроорганизмов на пирогенно минерализованных органических остатках, отсутствие конкуренции в первые несколько лет после пожара и др., ряд авторов указывает на создание более благоприятных трофических и топических ресурсов для отдельных таксономических групп в первые годы после пожара. Так, в ряде российских работ показано повышение разнообразия жуужелиц на горях в ельниках: появление лесо-луговых, луговых и полевых видов при снижении численности лесных видов жуужелиц (Потапова, 1984; Ухова и др., 1999). В то же время в сосняках штата Миннесота (Ahlgren, 1974) и горного массива Шпессарт в Германии (Bauchhenss, 1980) показано снижение разнообразия и численности жуужелиц на горях в первые два года после пожара. Снижение плотности и разнообразия жуужелиц в сосновых лесах и повышение в еловых было отмечено на территории Швеции, что авторы связывают с лучшей сохранностью подстилки в еловых лесах и ее высокой влажностью в сравнении с сосновыми лесами. В более влажной подстилке сохранились личинки насекомых, дождевые черви, коллемболы — пищевые объекты жуужелиц. При этом сохранность разнообразия жуужелиц напрямую зависела от интенсивности пожара в обоих типах леса (Гонгальский, 2014).

На горях в первые годы после пожаров могут наблюдаться всплески численности муравьев, что связывают с наличием большого количества древесных остатков и высокой адаптации муравьев к ксерофильным условиям (Bess et al., 2002; Кругова, 2010). При этом известно, что верховые пожары оказывают негативное влияние на некоторые виды муравьев (Arnan et al., 2006).

Восстановление разнообразия почвенной биоты после пожара происходит очень медленно, особенно у групп животных с

низкими способностями к расселению: дождевых червей, многоножек, моллюсков (Гонгальский, 2014). Восстановление почвенного населения возможно благодаря неоднородности почвенного покрова и сохранению перфугиумов — участков, слабо затронутых огнем, где некоторые беспозвоночные выживают во время пожара. Наряду с обитателями глубоких слоев почвы они первыми заселяют гари (Гонгальский, 2006; 2014). Мобильность беспозвоночных имеет большое значение для последующего восстановления популяций, например, восстановление группировок коллембол, живущих в минеральных горизонтах, происходит гораздо медленнее в сравнении с населением жуужелиц, обитающих в подстилке (Мордкович, Березина, 2009). Показано, что весенние палы более опасны, чем осенние, для коллембол, личинок двукрылых, бабочек, паразитических ос и дождевых червей. После весенних палов большая часть таксонов восстанавливается в течение одного года, популяции дождевых червей — в течение 3 лет после пожара (Neumann, Tolhurst, 1991).

Долгосрочные эффекты пожаров на почвенную фауну исследованы менее детально, чем краткосрочные (Гонгальский, 2014). Для восстановления микро- и мезофауны требуется не менее 10 лет (Pressler et al., 2019). Показано, что, например, на горях в Окском заповеднике не произошло полное восстановление почвенной фауны в течение 20 лет после пожара, в связи с тем, что горизонт подстилки не вернулся к допозжарному состоянию (Потапова, 2002).

Таким образом, ксерофитизация лесных сообществ после пожара, утрата микроместообитаний, прямое воздействие огня и дыма на почвенную биоту и опосредованное влияние через изменения свойств почвы и разрушение трофических взаимоотношений, оказывает негативное влияние на биотически согласованную

структуру педобионтов. Вспышки численности отдельных видов или повышение разнообразия отдельных групп (жуужелиц, муравьев и других насекомых) носит кратковременный характер, ограничено быстро иссякающими на горях трофическими ресурсами и обусловлено формированием открытых пространств, доступных для заселения видами с высокими миграционными способностями из соседних биотопов.

### **ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ЭКОСИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ И УСЛУГИ ЛЕСОВ**

Рассмотрение вопросов, связанных с пожарами, в контексте связанных социально-экологических систем, которые признают связи между людьми и их естественной средой, весьма актуально в свете увеличения численности населения Земли и, как следствие, увеличения потребности в товарах и услугах лесов. Термины «экосистемные функции» и «экосистемные услуги» являются ключевыми в концепции функционального биоразнообразия. Экосистемные функции — совокупность физических, биологических, химических и иных экосистемных процессов, которые поддерживают целостность и сохранение экосистем (Ansink et al., 2008). Экосистемные услуги — выгоды, которые люди получают от экосистем, включая обеспечивающие услуги (волокна, древесина, пища и др.), регулирующие услуги (регулирование климата, опыление, контроль эрозии почв, и др.), поддерживающие услуги (почвообразование, фотосинтез и др.), культурные услуги (духовные и религиозные, рекреационные, образовательные и др.) (МЕА, 2005). Леса выполняют одновременно все четыре категории лесных экосистемных услуг (ЛЭУ), т. е. им свойственна мульти-функциональность (Byrnes et al., 2014; Manning et al., 2018; Van der Plas et al., 2018; Тебенкова и др., 2019).

Переход к мультифункциональному управлению лесами рассматривается как одно из ключевых направлений достижения устойчивого развития лесного сектора экономики (Большаков и др., 2013). Мультифункциональность лесов рассматривается на двух уровнях: (1) мультифункциональность экосистемных функций, на оценку которых направлены фундаментальные исследования биологических, геохимических и физических процессов, происходящих в экосистемах; (2) мультифункциональность экосистемных услуг, которая определяется как совместное предоставление ряда экосистемных выгод в ответ на запрос общества (Manning et al., 2018; Lukina et al., 2021). Основой мультифункциональности служит биоразнообразие: таксономическое, функциональное, структурное (Lukina et al., 2021). Показано, что для обеспечения мультифункциональности необходимо большее число видов, чем для единичных функций и услуг (Nector, Bagchi, 2007).

Далее кратко рассмотрено влияние пожаров на каждую категорию ЛЭУ.

### 1. Обеспечивающие ЛЭУ

*Обеспечение древесиной.* Из-за пожаров происходит потеря древесной биомассы в результате ее полного или частичного сгорания, обесценивание древесных ресурсов из-за повреждений стволов огнем, а также из-за последующих нарушений в результате действия ветра, грибных болезней, насекомых. При слабом низовом пожаре, когда огонь поражает камбий не по всей окружности ствола, частично сохраняется его жизнедеятельность, начинает образовываться древесина с сильно развитым смолообразующим аппаратом, что является реакцией на повреждение огнем. Во вновь образующейся после повреждения древесине годичного слоя отмечено увеличение числа годичных слоев. При сильном низовом пожаре, при высоте нагара 6-8 м, дерево теряет

жизнеспособность. При этом разрушаются полностью или частично анатомические элементы древесины, в первую очередь смоляные ходы. Смола сильно пропитывает комлевую часть ствола, чем повышает ее плотность. В заболони верхней части ствола вследствие разрушения анатомических элементов происходит незначительное повышение водопоглощения древесины и ее уменьшение в нижней части вследствие засмоления. Это определяет технологию хранения пиломатериалов из поврежденного пожаром леса (Исаенко и др., 2016). Одновременно создаются благоприятные условия для развития грибных болезней. Мелкий и средний круглый лес после сильного пожара имеет низкое качество уже в первые месяцы после пожара и не может быть использован как деловая древесина (Курьянова и др., 2011). После пожаров замедляется прирост деревьев основного полога и повреждается подрост, подлесок (Gardiner et al., 2010). Более того, нарушения отрицательно сказываются на экономических аспектах продажи сырья. Например, из-за увеличения затрат на заготовку древесины и лесовосстановление после нарушения происходит депрессия рынка в результате импульсов в поставках (Prestemon, Holmes, 2004). После пожара меняется видовой состав леса, перераспределяются локации сырьевых баз, что непосредственно приводит к изменениям сырьевых поставок на рынки (Kogler, Rauch, 2019).

*Обеспечение недревесными ЛЭУ.* Поскольку пожар создает открытые пространства, несмотря на его катастрофические эффекты для экосистемы, огонь используется для стимулирования и увеличения производства недревесных лесных продуктов, таких как грибы, спаржа, лекарственные и ароматические травы, лесные ягоды, орехи и т. д. (Skulska et al., 2014). Показано, что действие пожара слабой интенсивности положительно

сказывается на отрастании побегов лещины обыкновенной (*Corylus avellana*), малины обыкновенной (*Rubus idaeus*), рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), шиповника иглистого (*Rosa acicularis*) и др. (Johnston, Woodard, 1985; Панин, Залесов, 2018). Под действием огня увеличивается выход прута ореха калифорнийского (*Corylus cornuta* var. *californica*), используемого для плетения (Marks-Block et al., 2019).

После низовых беглых и устойчивых слабых лесных пожаров обилие брусники достигает допожарного уровня через 2-3 года, голубики — через 3-5 лет, после устойчивых пожаров средней интенсивности — соответственно через 4-6 и 6-8 лет, а при сильной интенсивности — через 10 и 15 лет. Урожай ягод увеличивается в сравнении с допожарным уровнем на 30-60% за счет улучшения освещения, температурного режима и влажности почв. В то же время почвенные и верховые пожары сильной интенсивности приводят почти к полному выпадению ягодных растений из напочвенного покрова лесных фитоценозов (Острошенко, 2012; Duchesne, Wetzel, 2004). На пройденных огнем площадях черника обыкновенная фактически выбывает из хозяйственного использования на длительный срок (Панин, Залесов, 2018; Duchesne, Wetzel, 2004).

Состав грибных сообществ сильно меняется от действия пожара и отражает изменения физических, химических и биохимических свойств почв (Dahlberg et al., 2001). Интенсивность пожара, возраст древостоя, pH почвы, влажность и отношение C:N считаются основными движущими силами этих изменений (Waldrop, Harden, 2008; Reazin et al., 2016; Day et al., 2019). Более того, потеря растительного покрова и изменения в составе растений тесно связаны с грибными сообществами, живущими с ними в симбиотических / сапрофитных отноше-

ниях (Cairney, Bastias, 2007). В ряде случаев после пожаров увеличивается биомасса карботрофов — особой группы грибов, субстратом для которых служит зола и обуглившаяся древесина, а также сапротрофов — грибов, питающихся мертвым органическим веществом, и ксилотрофов — грибов, питающихся древесиной живых и погибших деревьев. Некоторые виды сморчков (сапротрофы) обильно плодоносят в первый год после пожара (Larson et al., 2016). Большая часть товарного урожая в западной части Северной Америки состоит из сморчков, собранных в первый год после лесных пожаров (Pilz et al., 2007). Однако эти эффекты краткосрочные и не всегда выражены. Чаще всего после лесных пожаров наблюдается значительное сокращение количества и биомассы съедобных и съедобно-микоризных видов грибов (Gassibe et al., 2014). Наиболее уязвимы грибные сообщества бореальных лесов. Через год после лесного пожара микоризные плодовые тела в этих лесах не наблюдались (Franco-Manchón et al., 2019). Сокращается также количество видов, ассоциированных с взрослыми деревьями. Восстановление грибов-симбиотов напрямую связано с восстановлением деревьев. Маслята и рыжики растут через несколько лет после пожара там, где был самосев сосен (Smith et al., 2021). Плодовые тела грибов-ксилотрофов, собранные в том числе в местах, пройденных пожарами, используют в медицине. Например, целый ряд трутовиков: серно-желтый, плоский, лакированный, лекарственный, скошенный (Кочунова, 2014).

## 2. Влияние на регулирующие ЛЭУ

*Регулирование циклов углерода.* Лесные пожары приводят к эмиссиям парниковых газов и газов с косвенным парниковым эффектом в атмосферу непосредственно в результате сгорания живой и мертвой древесины, подстилки, а также при

последующем разложении мертвой древесины, минерализации подстилки и органического вещества почвы. В связи с этим пожары играют важную роль в цикле углерода. Именно пожары, по мнению Д. Г. Замолодчикова с соавт. (2013), являются основной причиной межгодовых вариаций углеродного баланса лесов России. В литературе чаще сообщается о негативном воздействии лесных пожаров на депонирование углерода, в основном из-за сокращения наземной биомассы в экосистеме (Bond-Lamberty et al., 2007; Zamolodchikov et al., 2017; Ершов, Сочилова, 2020), реже за счет сжигания органического вещества почвы (Walker et al., 2018, 2019). Установлено, что на запасы всех пулов углерода влияет время, прошедшее с момента нарушения, и интенсивность пожара. Так, в среднем различия в запасах углерода по сравнению с ненарушенными пожарами лесами составляют  $-91.3$  и  $+155.5\%$  в первый год после пожара для живой и мертвой древесины соответственно и увеличиваются на  $0.6\%$  для живой и уменьшаются на  $1.4\%$  для мертвой древесины с каждым годом после нарушения (Thom, Seidl, 2016). Изучение взаимосвязей между фитомассой, потребляемой огнем, и уровнем смертности деревьев в насаждениях смешанных хвойных пород и сосны желтой (*Pinus ponderosa*) показало, что при сжигании до  $13\%$  доступной наземной биомассы отпад составляет  $22\%$ , при сжигании от  $13$  до  $35\%$  —  $54\%$ , более  $35\%$  —  $98\%$  (Meigs et al., 2009). Со временем леса восстанавливают биомассу и, соответственно, запас углерода, который был утерян во время пожара. Этот процесс зависит от интенсивности пожара и сложившихся в его результате экологических условий (почвенных, гидрологических, зарастания светолюбивой растительностью и др.). Например, сьерранский смешанный хвойный лес после поверхностного пожара небольшой силы

восстанавливает потерю углерода менее чем за семь лет, временной промежуток, сопоставимый с историческим интервалом повторных пожаров в таких лесах (Hurteau, North, 2009); сосновые леса национального парка Йеллоустоун восстановили около  $90\%$  углерода в течение  $100$  лет после пожара, при историческом среднем интервале пожаров  $150-300$  лет (Kashian et al., 2013). Это происходит не только за счет активного роста древесных растений, но и за счет снижения почвенного дыхания (Perez-Quezada et al., 2021) из-за изменения структурно-функциональной организации микробоценоза почв на фоне пирогенеза (Медведева и др., 2020). Пожары снижают скорость мобилизации углерода почвенной биотой. Вызванные пожарами сдвиги в почвенных пищевых сетях оказывают значительное краткосрочное воздействие на круговорот углерода в лесной почве, эти эффекты различаются в зависимости от типа леса и географического местоположения (Gongalsky et al., 2021). Таким образом, если частота пожара во временном масштабе, охватывающем восстановление спелого леса, значительно не увеличится, лесные пожары не должны приводить к чистой эмиссии углерода в атмосферу (Campbell et al., 2012). Но из этого также следует, что, если леса не восстановятся после пожара, и, если частота пожаров высока и продолжительность периода, необходимого для восстановления запасов углерода, недостаточна или происходит постоянное изменение структуры леса, приводящее к низким запасам углерода, произойдет чистая потеря углерода с течением времени. Поэтому так важно принимать меры по развитию систем прогнозирования, оперативного обнаружения и тушения пожаров.

Однако полагают, что и защита лесов от пожаров повышает риски возгорания. Демонстрируется, что эффективная система обнаружения и тушения пожаров

способствует значительному накоплению горючего материала в лесах, который обычно сгорает при пожарах низкой и умеренной интенсивности. В сочетании с изменениями климата это может привести к резкому увеличению частоты возникновения пожаров. При такой системе в случае больших мега-пожаров эмиссия может превышать депонирование углерода. В связи с этим, в ряде стран в качестве метода уменьшения горючих материалов в таких лесах для снижения риска возникновения больших катастрофических пожаров используют контролируемые лесные палы (Adams, 2013). При этом очевидно, что компромисс с рисками для экологических активов, таких как биоразнообразие и экосистемные услуги, при такой системе остается непонятным (Moritz et al., 2014; Harper et al., 2018). Постоянные профилактические выжигания приводят к еще большей горимости территории (Ярошенко, 2021).

*Регулирование водного режима.* Во многих частях мира леса обеспечивают людей пресной водой для бытовых, сельскохозяйственных, промышленных и экологических нужд. Лесные экосистемы влияют на количество и качество водного стока, поглощая из раствора катионы и анионы, улучшая бактериологические свойства воды, очищая их от взвешенных твердых частиц и воздействуя на температурный режим водных объектов. Лес снижает пиковые нагрузки поверхностного стока, переводя его в подземный, тем самым уменьшая риск возникновения подтопления (Рыбалова, 2007). Лесные пожары могут иметь разрушительные последствия для водных экосистем и питьевого водоснабжения населения. Они могут влиять на гидрологические процессы (перехват, инфильтрация и эвапотранспирация), которые в свою очередь влияют на время и величину речного стока (базовый сток, пиковый сток и годовое

производство воды) (Shakesby, Doerr, 2006). Показано, что уничтожение лесной растительности огнем снижает испарение за счет перехвата осадков и эвапотранспирации, тем самым увеличивая количество дождя и снега, достигающих земли, и увеличивая влажность почвы, сток и объемы воды, стекающей в водные объекты (Neary et al., 2003). Из-за большего количества солнечной энергии, достигающей снежного покрова на сгоревших участках, наблюдается двукратное увеличение скорости таяния снега (Burles, Boon, 2011). К тому же, мощность снежного покрова на участках, пройденных пожаром, меньше, чем на неповрежденных участках (Maxwell et al., 2019). При повреждении напочвенного покрова огнем может обнажаться естественный водоотталкивающий слой почвы (Doerr et al., 2009), что может уменьшить инфильтрацию осадков в почву во время ливневых дождей или таяния снега, способствуя увеличению поверхностного стока (Huffman et al., 2001). Сообщается о двух-пятикратном увеличении пикового стока за 6-7 лет в результате действия пожара (Moody, Martin, 2001a). Существуют сведения о том, что сочетание пожаров средней и высокой интенсивности в условиях кратковременных интенсивных осадков могут увеличить пиковые значения стока до 870 раз (Neary et al., 2003; Moody, Martin, 2001b).

После пожаров роль лесных насаждений в процессах перехвата осадков и биогенов резко снижается, изменяется качественный состав стока. Следствием этого является увеличение интенсивности водной, ветровой и почвенной эрозии. Количество растворенных веществ, включая соединения фосфора, азота, органического углерода, сульфатов, хлоридов, кальция, магния, натрия и калия, которое выносится с лесного водосбора, резко возрастает, что приводит к повышению их содержания в поверхностных водах (Mikkelsen et al., 2013,

Smith et al., 2011; Emelko et al., 2011). В результате может увеличиться концентрация загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы (Stone, Droppo, 1994), количество наносов, мусора в водоемах, что приводит к заилению (Smith et al., 2011). Например, после пожара Хеймана в Колорадо в 2002 г. в речной воде зафиксировано вдвое больше нитратов, а мутность увеличилась в четыре раза по сравнению с бассейнами, участки которых горели в меньшей степени; эти показатели оставались повышенными в течение 5 лет после пожара (Rhoades et al., 2011). Это, в свою очередь, влияет на биологическое население водоемов, в том числе на ценные промысловые виды рыб. В Австралии численность рыбы снизилась на 95-100% из-за увеличения донных отложений после пожара и последующего снижения уровня растворенного кислорода в речной воде (Lyon, Connor, 2008).

Пожары приводят к ухудшению качества воды (вкуса, запаха, цвета, химического состава), процессов очистки питьевой воды и сокращению срока эксплуатации водозаборной и очистительной системы (Emelko et al., 2011). Это очень важно, поскольку почти две трети муниципалитетов в Соединенных Штатах и около одной трети крупнейших городов мира, включая Токио, Мельбурн, Лос-Анджелес и Рио-де-Жанейро, получают большую часть своей питьевой воды с лесных водосборов (National Research Council, 2008). В результате сильного послепожарного ливня на юго-востоке Австралии, например, в питьевой воде увеличилась концентрация мышьяка, железа, свинца и хрома — до уровней, превышающих рекомендации Всемирной организации здравоохранения (Leak et al., 2003). Аналогичным образом, в течение первых двух лет после пожара в Лост-Крик общие концентрации ртути в питьевой воде во время штормов многократно превышали допустимые

санитарные нормы (Emelko et al., 2011). Повышенные концентрации ртути были обнаружены и в рыбе (Garcia, Carignan, 2005).

Оперативное лесовосстановление может сгладить негативные последствия лесных пожаров на водные экосистемы. В первое десятилетие после крупных лесных пожаров по сравнению со спелыми неповрежденными лесами более, чем в два раза увеличивается водопотребление лесными насаждениями в ходе их восстановления с последующим уменьшением на многие десятилетия (Lane, Feikema, 2010; Buckley et al., 2011; Benyon et al., 2007). Это явление можно объяснить не только увеличением площади листвы в целом («эффект Кучеры», Kuczera, 1987), но и тем, что, во-первых, устьичная проводимость вновь развивающихся и молодых листьев намного выше, чем у листьев взрослых деревьев; во-вторых, как площадь заболони, так и площадь листьев значительно больше в молодых насаждениях; в-третьих, ночная транспирация у молодых деревьев также выше, чем в зрелых насаждениях (Buckley et al., 2011).

*Защита от лавин, селей.* Важной регулирующей функцией лесов, также связанной с водой, является защита людей и инфраструктуры от природных опасностей, таких как наводнения и снежные лавины. Нарушения приводят к ослаблению буферного эффекта лесов на сток воды и увеличивают риск возникновения снежных лавин и их схода (Zurbriggen et al., 2014). Ускоренная эрозия в сочетании с возникновением гидрофобных почв, снижением скорости инфильтрации воды, поверхностным стоком или массовыми разрушениями почвы на склонах холмов также может привести к катастрофическим селевым потокам (Doerr et al., 2009). Подсчитано, что объем наносов от селей после пожаров на 2-3 порядка превышают годовые скорости фоновой эрозии с

участков ненарушенных лесов. Объемы селей со склонов крутизной 18-62 процентов варьируют в пределах от 539 до 33 040 кубометров (Nyman et al., 2015). Существуют модели прогнозирования селеобразования, помогающие принимать управленческие решения, например, RUSLE (Ying et al., 2021) или Модель постпожарной опасности Геологической службы США (USGS) (Ellett et al., 2019).

*Регулирование качества воздуха.* С конца 70-х годов XX века лесные пожары признаны важным источником атмосферных загрязнений (Crutzen et al., 1979; Rogers et al., 2020), и в меняющемся климатическом сценарии этот вклад может резко возрасти из-за увеличивающихся площадей лесных пожаров (Amiro et al., 2001a; Carvalho et al., 2011). Известно, что при сжигании биомассы образуется множество различных частиц и газов, влияющих на атмосферные процессы. К ним относят двуокись углерода, монооксид углерода, метан, летучие и полуметучие органические соединения (толуол, бензол, ацетон, метанол, ацетонитрил, изопрен, метилвинилкетон и др.), азот- и серо-содержащие соединения, галогенированный углеводород, твердые летучие частицы (сажа, черный углерод и др.) (Yadav, Devi, 2018; Butt et al., 2020). Воздействие этих выбросов проявляется на разных уровнях: от временного локального загрязнения атмосферы (Miranda, 2004; Hodzic et al., 2007) до глобального вклада в парниковый эффект (Simmonds et al., 2005). Выбросы CO, CH<sub>4</sub> и летучих органических соединений в воздух влияют на окислительную способность тропосферы, реагируя с радикалами OH· и NO·, что приводит к образованию озона и других фотоокислителей. Эмиссия CH<sub>3</sub>Br вызывает фотодеградацию озона в стратосфере. Твердые частицы в воздухе могут вызвать подкисление облаков, изменение радиационного баланса Земли из-за

поглощения и рассеяния поступающей солнечной радиации или образования ядер конденсации облаков. Это приводит к уменьшению размера облачных капель, тем самым увеличивая альбедо облаков, что, в конечном итоге, влияет на характер осадков и гидрологический цикл (Yadav, Devi, 2018).

Дым с опасными мелкими твердыми частицами и газообразными соединениями от сжигания биомассы является одним из основных компонентов атмосферы, влияющим на качество воздуха на огромных территориях из-за своих массивных шлейфов, которые могут перемещаться на тысячи километров с помощью ветра (Chen et al., 2017; Beig et al., 2020).

### 3. Культурные услуги

*Рекреация и удовлетворение духовных потребностей.* Рекреационная ценность лесных ландшафтов может быть сильно снижена в результате пожаров (Sheppard, Picard, 2006), т.к. мертвые деревья часто воспринимаются как менее живописные, чем живые насаждения, и создают опасность для туристов. Следовательно, места отдыха, такие как кемпинги и тропы, часто закрываются после серьезных нарушений из-за риска падения деревьев. При этом лесные пожары также предоставляют исследователям возможности для изучения множества вопросов, тем самым способствуя приумножению научных знаний. Более того, многие коренные и традиционные общества имеют длительный опыт жизни с огнем (т.е. культурные знания) и поэтому могут делиться ими (Fowler, Welch, 2018).

*Влияние на здоровье людей.* Ежегодная глобальная смертность от дыма пожаров оценивается примерно в 339 тыс. смертей в год (Cascio, 2018). Систематические обзоры показывают, что существует положительная связь между воздействием дыма лесных пожаров и смертностью от респираторных заболеваний (Arriagada et al., 2019; Reid, Maestas, 2019; Xu et al., 2020). В ряде



случаев зафиксирована связь с частотой сердечно-сосудистых заболеваний, преждевременными родами (Reid et al., 2016; Black et al., 2017), повышенной заболеваемостью гриппом (Landguth et al., 2020), частотой обращения пациентов с сахарным диабетом (Yao et al., 2020). В районах, окружающих лесной пожар, очень часто фиксируются случаи отравления угарным газом (Tao et al., 2020; dos Santos et al., 2018). Сильный дым может вызвать раздражение глаз и повреждение роговицы (Finlay et al., 2012). Жители пострадавших районов подвергаются большему риску психических заболеваний, включая посттравматическое стрессовое расстройство, депрессию и бессонницу (Belleville et al., 2019). Психологические последствия лесных пожаров могут сохраняться годами (Bryant et al., 2018), особенно уязвимы дети и подростки (Brown et al., 2019). Пережитые лесные пожары в детстве связывают с повышенной вероятностью психических заболеваний во взрослом возрасте (McFarlane, Van Hooff, 2009). Кроме того, лесные пожары связывают с последующим снижением успеваемости детей (Gibbs et al., 2019).

Подсчитано, что в США в период с 2008 по 2012 гг. затраты на здравоохранение в результате краткосрочного воздействия твердых частиц дыма от лесных пожаров составляли от 11 до 20 миллиардов долларов США в год, в то время как затраты, связанные с долгосрочным воздействием этого фактора, колеблются от 76 до 130 миллиардов долларов США в год (долл. США в 2010 году) (Fann et al., 2017). В Танзании в период с 2010 по 2019 гг. общая сумма затрат на охрану здоровья от последствий лесных пожаров составила 76 австралийских долларов в сутки, что соответствует 5.2% годовых расходов на здоровье, связанных с курением (Borchers-Arriagada et al., 2020).

#### 4. Поддерживающие услуги

*Производство чистой первичной продукции (net primary production — NPP).* После нарушений NPP остается низким в течение нескольких лет отчасти из-за низкого индекса площади листьев и их количества, достигает максимума при смыкании полога и незначительно снижается по мере созревания древостоя (Odum, 2014; Gower et al., 1996; Ryan et al., 1997; Howard et al., 2004; Goulden et al., 2011). Кроме того, повторяющиеся нарушения, связанные со сменой древостоя, могут помешать лесам достичь максимальных показателей NPP (Gough et al., 2007), вызывая потери азота из-за выщелачивания или снижения количества органических веществ и плодородия почвы в целом (Latty et al., 2004). Особенно ярко выражено влияние частоты пожаров на NPP для хвойных лесов с более длительной продолжительностью жизни листьев и более длительным периодом восстановления (Peters et al., 2013).

*Почвообразование (См. также раздел «Влияние пожаров на морфологические и физико-химические свойства почв»).* При пожарах происходит изменение в почвообразовательных процессах (пирогенез почв). Выделяют краткосрочные пирогенные и длительно действующие постпирогенные изменения. Во время пожара под действием высоких температур поверхностные слои почв теряют органическое вещество, погибают корни, беспозвоночные, микроорганизмы и т. д. Наблюдается истощение плодородия почв. Сокращается вклад органогенных горизонтов в общий запас почвенного углерода. В почвах лесных гарей улучшается аэрация и интенсифицируются окислительные процессы, аммонификация и нитрификация, возрастают степень разложения внутрипочвенного опада

и потери общего углерода. В поверхностных минеральных горизонтах повышается pH, увеличиваются степень насыщенности обменными основаниями, содержание подвижных органических и минеральных соединений. Действие огня изменяет состав органического углерода, увеличивая долю гидрофобных соединений, что отражается на структуре почвенной системы, в частности — биохимическом составе и популяции микроорганизмов (Надпорожская и др., 2020). Наиболее сильное воздействие на почву оказывает не сам огонь, а пост-пирогенные вторичные изменения в биогеоценозе, связанные с послепожарной трансформацией растительного покрова (Сапожников и др., 2001). Однако прогнозировать будущий состав растительности после пожара сложно, потому что на нее влияет много факторов: степень и площадь пожара, распределение уцелевших деревьев, объем банка семян, фрагментация ландшафта, изменение климата, инвазия видов, количество травоядных, меняющаяся доступность территории, последующие нарушения (McLauchlan et al., 2020).

**Опыление.** Поскольку пожары формируют открытые пространства, на которых, как правило, больше, чем под пологом леса, представлены популяции цветущих растений, выше плотность насекомых-опылителей (Campbell et al., 2007; Hanula et al., 2015). В связи с этим развивается представление о том, что ландшафтная мозаика с разнообразием режимов пожаров и возрастов древостоев после пожаров способствует разнообразию цветковых растений и опылителей (Ponisio et al., 2016; Brown et al., 2017; Lazarina et al., 2019), что может увеличить также и урожай сельскохозяйственных культур (Winfrey et al., 2018; Mola, Williams, 2018). Однако открытые пространства могут создаваться человеком менее разрушительными для экосистемы способами, например, выборочными рубками, которые также способствуют повы-

шению эффективности опыления (Goulson et al., 2015).

### **Экономический ущерб от потери экосистемных услуг в результате пожаров**

Несмотря на большую экономическую значимость экосистемных услуг лесов, количественных оценок по влиянию пожаров на экосистемные услуги лесов в денежном эквиваленте немного (Lee et al., 2015). По оценке Университета штата Сан-Диего, общее экономическое воздействие пожаров на лесные угодья в 2003 году в округе Сан-Диего оценивается в 2.45 миллиарда долларов, из которых затраты на тушение составляют менее двух процентов от общих потерь. При этом не учитываются долгосрочные воздействия лесных пожаров на затронутые действием пожаров водосборные бассейны (Rahn, 2009). Западная коалиция лидеров лесного хозяйства (Western Forestry Leadership Coalition) оценивает ущерб от влияния лесных пожаров на западе США от двух до тридцати раз выше стоимости их тушения (The true..., 2014). В нашей стране на примере территорий двух ООПТ в Иркутской области приведены количественные расчеты потерь экосистемных услуг лесов в результате пожаров (Волчатова, 2019): для Прибайкальского национального парка общий ущерб в среднем составляет 136.26 млн. руб., для Байкало-Ленского заповедника — 1081.71 млн. рублей в год. Подчеркивается, что территория Сибири экстремальна в отношении влияния пожаров. В частности, в Иркутской области 77% лесного фонда отнесено к трем первым классам природной пожарной опасности. Усугубляют ситуацию климатические и световые условия региона — резко континентальный климат с жарким и засушливым летним периодом, солнечное сияние — свыше 2 тыс. ч в год. Дополнительным фактором уязвимости лесов данных ООПТ является преобладание

сосняков в сухих местообитаниях с легко возгораемым напочвенным покровом и высокой горимостью древостоя сосны. Ущерб, причиненный пожаром, определяется не только потерями древесины на корню, но и снижением средообразующих функций леса, загрязнением продуктами горения, гибелью представителей биоты, что увеличивает объем недополученных регулирующих и поддерживающих услуг лесов.

Таким образом, в настоящее время пожары представляют собой один из ведущих факторов, регулирующих функционирование лесных экосистем. Пожары любой интенсивности оказывают влияние на лесные экосистемные функции и услуги всех категорий. Наблюдаемое в ряде случаев кратковременное повышение обеспечения недревесными продуктами (ягодами, грибами, лекарственными травами) и такой поддерживающей услугой как опыление в результате созданной пожарами мозаичности лесного покрова не компенсируется потерями других обеспечивающих (древесина, волокна), поддерживающих (производство чистой первичной продукции, почвообразование, поддержания местообитаний), регулирующих и культурных услуг. Масштабы экономического ущерба от пожаров, в особенности высокой интенсивности, сложно оценить, поскольку пока не сформированы четкие представления о долгосрочных эффектах пожаров на биоразнообразие и экосистемные функции и услуги лесов. Однако влияние последствий пожаров на функционирование экосистем и развитие экономики в условиях изменения климата крайне важно учитывать при принятии управленческих решений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований влияния пожаров на лесные экосистемы демонстрируют катастрофическое по мощности и долгосрочное деструктивное влияние

пожаров на биоразнообразие и функции лесов. По данным официальной статистики, в последнее десятилетие только на территории России обнаруживаются сотни тысяч очагов пожаров, масштабы пройденной огнем площади исчисляются миллионами гектаров. В настоящее время возрастает доля крупных лесных пожаров (площадью более 200 га). В связи с глобальными климатическими изменениями ожидается рост частоты и интенсивности лесных пожаров. Наиболее часто в лесах России возникают и распространяются низовые пожары, которые оказывают разрушительное влияние на почву и почвенных обитателей, что приводит к нарушению почвообразования и, следовательно, к снижению эффективности всех экосистемных процессов. На восстановление подстилки и свойств минеральных горизонтов почв в бореальных лесах после пожаров может потребоваться период более сотни лет, но требуются еще более длительные наблюдения. Пожары приводят к увеличению поверхностного стока и интенсификации процессов почвенной эрозии, вызывают истощение почвенного плодородия, способствуют высвобождению захороненного в минеральных горизонтах почв углерода, что вызывает дальнейшее повышение концентраций парниковых газов. Пожары вызывают увеличение содержания в почвах полициклических ароматических углеводородов. Не выявлено полного восстановления всех компонентов почвенной биоты за несколько первых десятилетий после пожаров, при этом результаты более длительных наблюдений отсутствуют. Значительного времени (десятки и сотни лет) требует восстановление растительности при недостаточной численности переносчиков диаспор — птиц и млекопитающих, популяции которых также подрываются пожарами и другими причинами. Пожары — фактор, который приводит к утрате

генетического, таксономического и функционального биоразнообразия, повреждению и уничтожению местообитаний для растений, животных и микроорганизмов, утрате функций лесных экосистем. Пожары являются фактором динамики лесных экосистем в направлении «стирания эволюции».

Анализ литературных источников показывает, что мнение, высказываемое в ряде работ, о необходимости пожаров определенной периодичности для поддержания лесных сообществ связано с игнорированием или недопониманием роли биотических факторов в функционировании лесов. В современных лесных экосистемах утрачены или сильно сокращены популяции ключевых видов крупных млекопитающих, и, следовательно, отсутствуют и формируемые ими микросайты, включая большие прорывы в пологе леса (окна, поляны), обеспечивающие возможности поддержания светлюбивой флоры, насекомых-опылителей и в целом поддержания условий для развития разновозрастных полидоминантных лесных экосистем с высоким биологическим разнообразием. Лоси, зубры, бобры и другие животные создают естественные преграды распространения огня, за счет формирования «окон», троп, разреженного древостоя, внутрилесных водоемов.

Следует подчеркнуть, что повышение численности и разнообразия отдельных групп беспозвоночных и позвоночных животных на горях носит кратковременный характер, ограничено быстро иссякающими на горях трофическими ресурсами и обусловлено формированием открытых пространств, доступных для заселения видами с высокими миграционными способностями из соседних биотопов. Зачастую в результате крупных лесных пожаров формируются огромные по площади гомогенные открытые пространства, которые удалены на большие

расстояния от источников диаспор многих видов растений и трудно заселяются «маломобильными» группами животных, что приводит к устойчивому снижению биоразнообразия. Пожары как мощный фактор запускают механизмы положительной обратной связи, ведущие к уничтожению видов, в связи с чем некоторые лесные сообщества и стали определяться исследователями как пирогенно-зависимые.

Пожары любой интенсивности оказывают влияние на лесные экосистемные функции и услуги всех категорий. Наблюдаемое в ряде случаев кратковременное повышение обеспечения некоторыми недревесными продуктами и экосистемными услугами (ягоды, грибы, лекарственные травы, опыление) в результате повышения мозаичности лесного покрова не компенсируется потерями других функций и услуг лесов. Масштабы экономического ущерба трудно поддаются оценкам, т. к. не учитываются долгосрочные эффекты пожаров на климат, почвообразование, регулирование водного режима, здоровье населения.

Необходимо постоянное поддержание и восстановление популяций исчезающих видов животных в современных лесах, в особенности крупных млекопитающих, создающих зоогенные поляны и прорывы в пологе леса, регулирующих плотность древостоя и мозаичность напочвенного покрова.

На основе проведенного анализа влияния пожаров можно предложить следующие *рекомендации* по сохранению и поддержанию биоразнообразия и экосистемных функций лесов в современных лесах:

- меры по предотвращению лесных пожаров: проведение просвещения населения о влиянии пожаров; полный запрет сжигания порубочных остатков в течение пожароопасного периода; запрет сельскохозяйственных и любых профи-

лактических выжиганий сухой травяной растительности (Постановление..., 2015; Сосновчик, 2016; Волчатова, 2019; Vacchiano et al., 2018; Ярошенко, 2021);

- меры своевременного обнаружения, а затем быстрой и оперативной локализации пожаров: отмена «зон контроля», в которых пожары можно не тушить; значительное увеличение численности лесников и финансирования наземной и авиационной лесной охраны; проведение постоянного наземного, авиационного и космического мониторинга пожарной опасности в лесах (Коровин, Исаев, 1997; Gomes et al., 2006); формирование барьеров безопасности, предотвращающих распространение лесных пожаров, в том числе каналов и водоемов, которые могут быть использованы при тушении пожаров (Češljarić, Stevović, 2015);

- уборка крупных древесных остатков в зонах массовых ветровалов при сохранении отдельных упавших стволов деревьев для поддержания биологического разнообразия ксилобионтов (Lust et al., 2001);

- поддержание и восстановление популяций исчезающих видов животных в современных лесах, в особенности крупных млекопитающих, создающих зоогенные поляны и прорывы в пологе леса, регулирующих плотность древостоя и мозаичность напочвенного покрова (Van Meerbeek et al., 2019; Van Klink et al., 2020), а также бобров как главных представителей «лесных пожарных», регулирующих уровень грунтовых вод, создающих внутрилесные водоемы — естественные преграды распространения огня (Евстигнеев, Беляков, 1997; Алейников, 2010; Завьялов и др., 2016). Таким образом, необходимо восстановление биотического фактора, формирующего как функциональное, так и структурное разнообразие лесных экосистем (Lukina et al., 2021);

- обеспечение сенокошения и выпаса домашних животных вблизи населенных пунктов, что, с одной стороны, не допускают формирования сообществ с большими запасами сухой травы и ветоши, которые создают высокую пожарную опасность, а с другой — поддерживают биологическое разнообразие и продуктивность экосистем (Smirnova et al., 2021; Евстигнеев, Горнов, 2021).

- формирование смешанных древостоев как более пирогенно устойчивых при восстановлении лесов после пожаров и при ведении плантационного хозяйства (Коротков, 2016, 2017; Gomes et al., 2006);

- проведение при необходимости котловинных рубок с посадкой или посевом светолюбивых видов деревьев в окнах (Методические..., 1989; Коротков, 2016, 2017).

- рубки отдельных деревьев и их групп, с целью предотвращения распространения огня (Allen et al., 2002).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052590019-7. Авторы выражают глубокую признательность и благодарность Горнову А. В. за ряд ценных замечаний и дополнений, которые позволили улучшить содержание статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агапов А. И. Влияние пирогенного фактора на растения: история и современное состояние проблемы // Горизонты цивилизации. 2019. № 10. С. 24–31.
- Алейников А. А. Состояние популяции и средообразующая деятельность бобра европейского на территории заповедника «Брянский лес» и его охранной зоны. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2010. 22 с.

- Алейников А. А., Тюрин А. В., Симакин Л. В., Ефименко А. С., Лазников А. А. История пожаров в темнохвойных лесах Печоро-Илычского заповедника со второй половины XIX в. по настоящее время // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 31–42.
- Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Лесная промышленность, 1974. 52 с.
- Афанасьева Н. Б., Березина Н. А. Введение в экологию растений. М., 2011. 800 с.
- Безкоровайная И. Н., Тарасов П. А., Иванова Г. А., Богородская А. В., Краснощекова Е. Н. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
- Бекшаев А. Б. Влияние пожаров на численность рыси в Петровск-Забайкальском районе // Материалы Международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки» (г. Красноярск, 15 октября 2016 г.). Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2016. С. 21–23.
- Белых Л. И., Садовская Е. А. Влияние лесных пожаров на численность популяций охотничьей фауны на территории Иркутской области. XXI век // Техносферная безопасность. 2021. № 6 (1). С. 9–28.
- Бизюкин В. В. Динамика растительности на горях в кедровниках Баргузинского государственного заповедника // Заповедное дело. 1998. Вып. 3. С. 53–64.
- Бобровский М. В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 359 с.
- Богатырев Л. Г., Демин В. В., Матышак Г. В., Сапожникова В. А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
- Богородская А. В. Влияние пожаров на микробные комплексы почв сосновых лесов Средней Сибири // Автореф. ... канд. биол. наук. Красноярск: ИЛ СО РАН. 2006. 24 с.
- Большаков Н. М., Жиделева В. В., Иваницкая И. И. Развитие расширенного воспроизводства интенсивного типа – главное направление устойчивого развития лесного сектора экономики // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2013. № 3. С. 129–137.
- Бондур В. Г., Гордо К. А., Кладов В. Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории северной Евразии по данным космического мониторинга // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 6. С. 3–20. DOI: 10.7868/S0205961416060105
- Бызов Б. А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
- Волчатова И. В. Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6. С. 79–91.
- Вонский С. М. Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение. Л.: ЛенНИИЛХ, 1957. 52 с.
- Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О. В. Смирновой. 2004. Кн. 1. М.: Наука. 479 с.
- Гераськина А. П. Проблемы количественной оценки и учета фаунистического

- разнообразие дождевых червей в лесных сообществах // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2016. Vol. 2. No. 2. P. 1–9.
- Гонгальский К. Б. Лесные пожары и почвенная фауна. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 169 с.
- Гонгальский К. Б. Лесные пожары как фактор формирования сообществ почвенных животных // *Журнал общей биологии*. 2006. Т. 67. № 2. С. 127–138.
- Гончаров А. А. Структура трофических ниш в сообществах почвенных беспозвоночных (мезофауна) лесных экосистем. Дис. ... канд. биол. наук. Москва: ИПЭЭ РАН им. Северцова А. Н., 2014. 177 с.
- Горбунова Ю. С., Девятова Т. А., Григорьевская А. Я. Влияние пожаров на почвенный и растительный покров лесов центра Русской равнины // *Вестник ВГУ, Серия: химия, биология, фармация*. 2014. № 4. С. 52–56.
- Горнов А. В., Ручинская Е. В., Евстигнеев О. И., Панасенко Н. Н. Памятник природы «Меловицкие склоны»: структура и динамика растительного покрова. Москва: Издательство «Цифровичок», 2020. 126 с.
- Горшков В. В. Послепожарное восстановление сосновых лесов Европейского Севера // *Автореф. дис...докт. биол. наук*. СПб, 2001. 35 с.
- Горшков В. В., Ставрова Н. И., Баккал И. Ю. Динамика восстановления лесной подстилки в бореальных сосновых лесах после пожаров // *Лесоведение*. 2005. № 3. С. 37–45.
- Горяинова И. Н., Леонова Н. Б. Динамика вторичных лесов средней тайги Архангельской области // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2008. № 6. С. 60–65.
- Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров. Томск, 1981. 280 с.
- Гынинова А. Б., Убугунов Л. Л., Куликов А. И., Гынинова Б. Д., Гончиков Б. Н., Бадмаев Н. Б., Сымпилова Д. П. Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах Юго-Восточного Прибайкалья // *Сибирский экологический журнал*. 2020. № 1. С. 13–25.
- Девятова Т. А., Горбунова Ю. С., Григорьевская А. Я. Современная эволюция почв и флоры лесостепи Русской равнины после лесных пожаров. Воронеж: Научная книга, 2014. 258 с.
- Доманов Т. А. Динамика численности и структуры местообитаний кабарги (*Moschus moschiferus* L., 1758) в Амурской области под влиянием лесных пожаров // *Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира. Материалы международной научно-практической конференции*. 2017. С. 28–32.
- Дымов А. А., Габов Д. Н., Дубровский Ю. А., Жангуров Е. В., Низовцев Н. А. Влияние пожара в северотаежном ельнике на органическое вещество почв // *Лесоведение*. 2015а. № 1. С. 52–62.
- Дымов А. А., Дубровский Ю. А., Габов Д. Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // *Почвоведение*. 2014. № 2. С. 144–154.
- Дымов А. А., Милановский Е. Ю., Холодов В. А. Состав и гидрофобные свойства органического вещества денсиметрических фракций почв Приполярного Урала // *Почвоведение*. 2015b. № 11. С. 1335–1345.
- Евстигнеев О. И., Беляков К. В. Влияние деятельности бобра на динамику растительности малых рек (на примере заповедника «Брянский лес») // *Бюллетень МОИП. Отдел биологический*. 1997. Т. 102. Вып. 6. С. 34–41.

- Евстигнеев О. И., Горнова М. В.* Микросайты и поддержание флористического разнообразия высокотравных ельников (на примере памятника природы «Болото Рыжуха», Брянская область) // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2017. №. 2. DOI: 10.21685/2500-0578-2017-2-2
- Евстигнеев О. И., Горнов А. В.* Заповедный луг: итоги тридцатилетнего мониторинга // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021. Т. 6. № 2. Р. 1–24. DOI 10.21685/2500-0578-2021-2-2.
- Евстигнеев О. И., Коротков В. Н., Браславская Т. Ю.* Кабан и циклические микросукцессии в травяном покрове широколиственных лесов // *Биогеоэкологический покров Неруссо-Деснянского Полесья: механизмы поддержания биологического разнообразия*. Брянск: Гос. природн. биосферн. заповед. «Брянский лес». 1999. С. 131–142.
- Евстигнеев О. И., Харлампиева М. В., Анищенко Л. Н.* Валеж и поддержание флористического разнообразия в ельниках на низинном болоте // *Изучение и охрана биологического разнообразия Брянской области. Материалы по ведению Красной книги Брянской области*. Брянск: Десяточка, 2012. Вып. 7. С. 150–160.
- ЕМИСС, Количество лесных пожаров. 2021a. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31580> (дата обращения, 23.06.2021)
- ЕМИСС, Количество лесных пожаров. 2021b. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/38496> (дата обращения, 23.06.2021)
- ЕМИСС, Ущерб от лесных пожаров. 2021c. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59269> (дата обращения, 23.06.2021)
- Ершов Д. В., Соколова Е. Н.* Количественные оценки прямых пирогенных эмиссий углерода в лесах России по данным дистанционного мониторинга 2020 года // *Вопросы лесной науки*. 2020. Т. 3 № 4. DOI:10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-8
- Завьялов Н. А., Петросян В. Г., Горяйнова З. И., Мишин А. С.* Могут ли бобры помочь в борьбе с лесными пожарами в Европейской части России? // *Научные исследования в заповедниках и национальных парках России*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. С. 76.
- Залесов А. С.* Классификация лесных пожаров. Методические указания. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 15 с.
- Замолотчиков Д. Г., Грабовский В. И., Шуляк П. П., Честных О. В.* Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // *Лесоведение*. 2013. № 5. С. 36–49.
- Иванова Г. А., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Конрад С. Г., Жила С. В., Тарасов П. А.* Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом // *Сибирский экологический журнал*. 2017. Т. 24. № 1. С. 61–71.
- Иванова Г. А., Жила С. В., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Кукавская Е. А.* Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков средней Сибири // *Сибирский лесной журнал*. 2018. № 3. С. 30–41. DOI 10.15372/SJFS20180304.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д.* Послепожарное формирование живого напочвенного покрова в сосняках Среднего Приангарья // *Сибирский экологический журнал*, 1996. № 1. С. 109–116.
- Ильина В. Н.* Пирогенное воздействие на растительный покров // *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*. 2011. Т. 20. № 2. С. 4–30.
- Ильина Н. С.* Проблемы рационального использования степных экосистем Самарской области // *Краеведческие записки*. Вып. XI. Самара: Самарск. обл. историко-краев. музей, 2003. С. 178–181.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Сухих В. И., Титов С. П., Уткин А. И., Голуб А. А.,*



- Замолодчиков Д. Г., Пряжников А. А.* Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. Аналитический обзор. М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.
- Исаенко В. Г., Платонов А. Д., Снегирева С. Н.* Водопоглощение древесины заболони сосны, повреждённой пожаром // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4. №. 5–2. С. 278–282.
- Карнель Б. А., Забелин О. Ф.* Влияние лесного пожара на вылет семян у лиственницы даурской // Горение и пожары в лесу. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 178.
- Ковалева Н. М., Жила С. В., Иванова Г. А.* Формирование живого напочвенного покрова на начальной стадии пирогенной сукцессии в сосняках Нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX. № 3–4. С. 265–269.
- Конев Э. В.* Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
- Коровин Г. Н., Исаев А. С.* Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Защита населения и территорий при чрезвычайных ситуациях в мирное и военное время как составная часть национальной безопасности России. 1997. С. 91–95.
- Коротков В. Н.* Восстановление природных разновозрастных лесов // Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования. 2016. С. 373–376.
- Коротков В. Н.* Основные концепции и методы восстановления природных лесов Восточной Европы // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017. Vol. 2 (1). DOI:10.21685/2500-0578-2017-1-1
- Кочунова Н. А.* Использование дереворазрушающих грибов класса Basidiomycetes в нетрадиционной медицине (Амурская область) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. №. 51. С. 112–117.
- Краснощекова Е. Н., Косов И. В., Иванова Г. А.* Воздействие высоких температур на микроартропод почв при пожарах в лиственничниках Нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 3–4. С. 250–256.
- Крейндлин М. Л.* Как оценить ущерб от пожаров? На примере соболя. 2019. URL: <https://greenpeace.ru/expert-opinions/2019/08/02/kak-ocenit-ushherb-ot-pozharov-na-primere-sobolja/> (дата обращения: 06.07.21).
- Кругова Т. М.* Пирогенная трансформация населения муравьев лугов-залежей и редкостойных лиственничных лесов в Тигирекском заповеднике // Труды Тигирекского заповедника. 2010. № 3. С. 22–29.
- Крюкова М. В.* Состояние редких и исчезающих видов растений Нижнего Приамурья в связи с катастрофическими пожарами // Проблемы региональной экологии. 2009. № 4. С. 173–177.
- Кулешова Л. В., Коротков В. Н., Потапова Н. А., Евстигнеев О. И., Козленко А. Б., Русанова О. М.* Комплексный анализ послепожарных сукцессий в лесах Костомукшского заповедника (Карелия) // Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Биол. 1996. Т. 101. Вып. 4. С. 3–15.
- Курбатский Н. П.* Исследования количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии, Красноярск, 1972. С. 5–59.
- Курьянова Т. К., Платонов А. Д., Косиченко Н. Е., Снегирева С. Н., Чеботарев В. В., Макаров А. В.* Влияние вида пожара на структуру и качество древесины сосны // Политематический сетевой электронный

научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. №. 74. С. 1–14.

Левченко К. В. О влиянии лесных пожаров на биоразнообразие горных лесов Крымского заповедника // Актуальные проблемы ботаники и охраны природы: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г. Ф. Морозова, Симферополь, 28–30 ноября 2017 года / Под редакцией С. Ф. Котова. Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2017. С. 234–238.

Лесной форум Гринпис. Пожары на природных территориях. URL: <http://www.forestforum.ru/fires.php> (дата обращения 23.07.2021).

Липатников Е. П., Виньковская О. П. Влияние пожаров на численность кабана (*Sus scrofa sibiricus* L., 1758) на территории Петровск-Забайкальского лесничества (Забайкальский край) // Байкальский зоологический журнал. 2012. № 1 (9). С. 83–89.

Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.

Лупян Е. А., Барталев С. А., Балашов И. В., Егоров В. А., Ершов Д. В., Кобец Д. А., Сенько К. С., Стыценко Ф. В., Сычуглов И. Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты поданным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175

Лукина Н. В. Гераськина А. П., Горнов А. В., Шевченко Н. Е., Куприн А. В., Чернов Т. И., Чумаченко С. И., Шанин В. Н., Кузнецова А. И., Тебенькова Д. Н.,

Горнова М. В., Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // Вопросы лесной науки. 2020. Т. 3. №. 4. С. 1–90. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.

Макаров В. П., Малых О. Ф., Горбунов И. В., Пак Л. Н., Желибо Т. В., Банищикова Е. А. Состояние и естественное возобновление сосновых лесов после пожаров в пригородной зоне г. Читы // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 79–83.

Макаров В. П., Малых О. Ф., Горбунов И. В., Пак Л. Н., Зима Ю. В., Банищикова Е. А., Желибо Т. В. Влияние пожаров на флористическое разнообразие сосновых лесов Восточного Забайкалья // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 1. С. 77–86.

Максимова Е. Ю., Кудинова А. Г., Абакумов Е. В. Функциональная активность почвенных микробных сообществ постпирогенных островных сосновых лесов г. Тольятти Самарской области // Почвоведение. 2017. № 2. С. 249–255.

Матвеева Т. А. Влияние пожаров разной силы на возобновление лиственницы сибирской // Рациональное природопользование-основа устойчивого развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Грозный, 22–23 сентября 2020 года. Чеченский государственный педагогический университет, Алаф, 2020. С. 302–307.

Медведева М. В., Бахмет, О. Н., Ананьев, В. А., Мошников, С. А., Мамай, А. В., Мошкина, Е. В., Тимофеева В. В. Изменение биологической активности почв в хвойных насаждениях после пожара в средней тайге Карелии // Лесоведение. 2020. №. 6. С. 560–574.

Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. М., Л.: Государственное лесотехническое издательство. 1948. 126 с.

- Методические рекомендации по воспроизводству разновозрастных широколиственных лесов европейской части СССР (на основе популяционного анализа) / Под ред. О. В. Смирновой, Р. В. Попадюка, А. А. Чистяковой и др. М.: ВАСХНИЛ, 1989. 19 с.
- Молчанов А. А. Влияние лесных пожаров на древостой. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 314–335.
- Мониторинг сообществ на горях и управление пожарами в заповедниках. М.: ВНИИприроды, 2002. 276 с.
- Мордкович В. Г., Березина О. Г. Влияние пожара на население педобионтов березово-осинового колка южной лесостепи Западной Сибири // Евразийский энтомологический журнал. 2009. Т. 8. С. 279–283.
- Надпорожская М. А., Павлов Б. А., Мирин Д. М., Якконен К. Л., Седова А. М. Влияние лесных пожаров на формирование профиля подзолов // Биосфера. 2020. Т. 12. №. 1-2. С. 32–43.
- Наумов П. П. Причины исторического динамизма ареала и численности соболя в России // Сборник материалов I Международной научно-практической конференции «Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства» (г. Иркутск, 4–7 апреля 2014 г.). Иркутск: Изд-во Иркут. гос. сельскохозяйств. академии, 2014. С. 14–24.
- Наумова Н. Б. Биомасса и активность почвенных микроорганизмов после низового пожара в сосновом лесу // Почвоведение. 2008. Vol. 8. С. 984–987.
- Несговорова Н. П., Савельев В. Г., Ивлева И. В., Евсеев В. В. Динамика восстановления лесных биогеоценозов после верховых пожаров: региональный аспект // Вестник КГУ. 2015. № 4. С. 68–76.
- Нештаев В. Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности Европейской России // Дисс...докт. биол. наук. СПб, 2017. 312 с.
- Орлова М. А. Элементарная единица лесного биогеоценотического покрова для оценки экосистемных функций лесов // Труды Карельского научного центра. Серия Экологические исследования. 2013. № 6. С. 126–132.
- Острошенко В. В. Воздействие лесных пожаров на недревесные ресурсы лесных экосистем Приохотья // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 33. С. 99–104.
- Панин И. А., Залесов С. В. Восстановление ресурсов дикорастущих ягодников в постпирогенных биогеоценозах горного Урала // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 3 (39). С. 68–75.
- Пикунов Д. Г., Середкин, И. В., Мухачева А. С. Мониторинг состояния популяций крупных хищных млекопитающих на юго-западе Приморского края // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11(1–2). С. 124–128.
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследования Земли из космоса. 2015. № 1. С. 84–91.
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г., Усатая Ю. О. Регистрация энергетических характеристик пожаров в лесах Сибири дистанционными средствами // Исследование Земли из космоса. 2017. №. 4. С. 3–11.
- Постановление Правительства РФ от 10 ноября 2015 г. N 1213 «О внесении изменений в Правила противопожарного режима в Российской Федерации». URL: <https://base.garant.ru/71244122/> (дата обращения, 23.06.2021).
- Попов Н. А. Дубовые леса Южного приморья и влияние на них пожаров //

- Доклад на секции лесной и деревообрабатывающей промышленности. Владивосток, 1961. 11 с.
- Потапова Н. А. Население жуужелиц на восстанавливающихся гарях / Проблемы почвенной зоологии. Тез. докл VIII Всесоюз. совещ. Кн. 2. Ашхабад, 1984. С. 60–61.
- Потапова Н. А. Почвенные беспозвоночные (мезофауна) — 20 лет наблюдений в Окском заповеднике / Мониторинг сообществ на гарях и управление пожарами в заповедниках. М.: ВНИИПрирода, 2002. С. 57–65.
- Пучков П. В. Некомпенсированные вюрмские вымирания Сообщение 2. Преобразование среды гигантскими фитофагами // Вестник зоологии. 1992. Т. 1. С. 58.
- Пушкин А. В. Об изучении влияния природных пожаров на охотничью фауну и охотхозяйственную деятельность // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства: Сб. материалов I международной научно-практической конференции (Иркутск, 4–7 апреля 2014 г.). Иркутск: Оттиск, 2014. С. 34–40.
- Пушкин А. В., Машкин В. И. К вопросу изучения влияния природных пожаров на охотничью фауну // Леса России и хозяйство в них. 2014. № 4 (51). С. 17–22.
- Ревуцкая, О. Л., Глаголев В. А. Фетисов Д. М. Влияние пожаров на пространственное распределение охотничьих млекопитающих Еврейской автономной области // Региональные проблемы. 2018. Т. 21. № 4. С. 5–17. DOI 10.31433/1605-220X-2018-21-4-5-17
- Реймерс Н. Ф. Роль кедровки *Nucifraga caryocatactes* и мышевидных грызунов в кедровых лесах Южного Прибайкалья. Второе издание // Русский орнитологический журнал. 2015. Т. 24. №. 1185. С. 3192–3200.
- Рыбалова О. В. Метод идентификации бассейнов малых рек с низкой устойчивостью к антропогенной нагрузке // Довкілля та здоров'я. К.: НПП «Екологія. Наука. Техніка» Товариства «Знання» України. 2004. №. 2. С. 37–48.
- Санников С. Н. Естественное возобновление сосны на сплошных вырубках и гарях и пути его улучшения // Природа и лесное хозяйство Припышминских боров. 1997. С. 23–26.
- Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
- Сапожников А. П., Карпачевский Л. О., Ильина Л. С. Послепожарное почвообразование в кедрово-широколиственных лесах // Лесной вестник. 2001. № 1. С. 132–164.
- Сафонов М. А. Пирогенные сукцессии микоценозов ксилотрофных грибов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 4. С. 88–92.
- Смирнова О. В., Попадюк Р. В., Заугольнова Л. Б., Ханина Л. Г. Оценка потерь флористического разнообразия в лесной растительности (на примере заповедника "Калужские засеки") // Лесоведение. 1997. № 2. С. 27–42.
- Соколов М. Н. Влияние низовых пожаров на жизнеспособность сосняков Среднего Урала // Горение и пожары в лесу. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 18–20.
- Сорокин Н. Д. Микробиологическая диагностика лесов растительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 221 с.
- Сорокин Н. Д., Афанасова Е. Н. Микробиологическая диагностика состояния почв и филлосферы лесных экосистем Сибири // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2012. № 1. С. 100–108.
- Сорокин Н. Д., Евграфова С. Ю., Гродницкая И. Д. Влияние низовых пожаров на биологическую активность

- криогенных почв Сибири // Почвоведение. 2000. № 3. Р. 315–319.
- Сосновчик Ю. Ф.* Методы профилактики по возникновению лесных пожаров в забайкальском крае // Современные научные исследования: актуальные теории и концепции. 2016. С. 63–69.
- Сочилова Е. Н., Ершов Д. В.* Картографирование и оценка поврежденных пожарами лесов и пожарных эмиссий углерода по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Выпуск 4. Т. II. С. 322–331.
- Стратегия по снижению пожарной опасности на ООПТ Алтае-Саянского экорегиона: отчет Института леса им. В. Н. Сукачева (ИЛ СО РАН), подготовленный в рамках выполнения работ по проекту ПРООН/МКИ «Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона». Красноярск, 2011. 282 с.
- Сухомлинов Н. Р., Сухомлинова В. В.* Пиротравмы растений в условиях хвойно-широколиственных лесов Среднего Приамурья и их индикаторное значение // Сибирский экологический журнал. 2011. Вып. 3. С. 405–413.
- Тебенькова Д. Н., Лукина Н. В., Чумаченко С. И., Данилова М. А., Кузнецова А. И., Горнов А. В., Шевченко Н. Е., Катаев А. Д., Гагарин Ю. Н.* Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем // Лесоведение. 2019. № 5. С. 341–356.
- Телицын Г. П., Острошенко В. В.* К оценке экологических последствий лесных пожаров // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2008. № 21-3. С. 130–133.
- Тимошкина О. А.* Влияние вырубок и контролируемого выжигания порубочных остатков на сообщества животных (на примере мелких млекопитающих и птиц Восточного Саяна): дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2004. 181 с.
- Трофимов И. Т., Бахарева И. Ю.* Особенности постпирогенной трансформации дерново-подзолистых почв юго-западной части ленточных боров Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 11. С. 31–35.
- Ухова Н. Л., Есюнин С. Л., Беляева Н. В.* Структура населения и численность почвенной мезофауны в первично-пирогенном сообществе на месте пихтоельника высокотравно-папоротникового / Биологическое разнообразие заповедных территорий: оценка, охрана, мониторинг. М.; Самара, 1999. С. 169–175.
- Фарбер С. К.* Воздействие пожаров на леса Восточной Сибири // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1. С. 131–141.
- Федорова П. Н., Зедгенизова М. С., Федосеева Л. Н.* Динамика лесных пожаров и численность промысловых животных республики Саха (Якутия) // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы. Материалы научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2020. С. 231–235.
- Цветков П. А.* Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднетаежных сосняках Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31. № 1–2. С. 15–21.
- Цибарт А. С., Геннадиев А. Н.* Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009. № 3. С. 66–74.
- Чибилев А. А.* Основы степеведения. Оренбург: Печатный дом «Димур», 1998. 120 с.

- Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г.* Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Шешуков М. А.* Влияние пожаров на развитие таежных биогеоценозов / Горение и пожары в лесу, Ч. III: Лесные пожары и их последствия. Красноярск, 1979. С. 81–96.
- Шпилевская Н. С., Каткова Е. Н.* Влияние пирогенного фактора на восстановление лесной растительности (Белорусское полесье) // Ботанические чтения. Материалы международной научно-практической конференции. Ишим, 2011. С. 113–114.
- Ярошенко А. Ю.* С чего начинаются крупные лесные пожары в тайге: примеры из Иркутской области // Лесной форум Гринпис, 2021. URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=25720> (дата обращения: 06.07.21).
- Adams M. A.* Mega-fires, tipping points and ecosystem services: Managing forests and woodlands in an uncertain future // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 294. P. 250–261.
- Ahlgren I. F.* Effects of fire on soil organisms [in:] *Fire and ecosystems*. (eds. T. T. Kozlowski, C. E. Ahlgren). N.Y.: Academic Press, 1974. P. 67–72.
- Ahlgren I. F., Ahlgren C. E.* Effects of prescribed burning on soil microorganisms in a Minnesota jack pine forest // *Ecology*. 1965. Vol. 46. No. 3. P. 304–310.
- Allen C. D., Savage M., Falk D. A., Suckling K. F., Swetnam T. W., Schulke T., Stacey P. B., Morgan P., Hoffman M., Klingel J. T.* Ecological restoration of southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective // *Ecological applications*. 2002. Vol. 12. No. 5. P. 1418–1433.
- Amiro B. D., Todd J. B., Wotton B. M., Logan K. A., Flannigan M. D., Stocks B. J., Mason J. A., Martell D. L., Hirsch K. G.* Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959 to 1999 // *Canadian Journal of Forest Research*. 2001. Vol. 31. P. 512–525.
- Amiro B., Stocks B., Alexander M., Flannigan M., Wotton B.* Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest // *International Journal Wildland Fire*. 2001a. Vol. 10. P. 405–441.
- Ansink E., Hein L., Hasund K. P.* To value functions or services? An analysis of ecosystem valuation approaches // *Environmental Values*. 2008. Vol. 17. No. 4. P. 489–503.
- Arnan X., Rodrigo A., Retana J.* Post-fire recovery of Mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients // *Journal of Biogeography*. 2006. Vol. 33. No. 7. P. 1246–1258.
- Arriagada N. B., Horsley J. A., Palmer A. J., Morgan G. G., Tham R., Johnston F. H.* Association between fire smoke fine particulate matter and asthma-related outcomes: systematic review and meta-analysis // *Environmental research*. 2019. Vol. 179. Article 108777.
- Ashwood F., Vanguelova E. I., Benham S., Butt K. R.* Developing a systematic sampling method for earthworms in and around deadwood // *Forest Ecosystems*. 2019. Vol. 6. No. 33. P. 1–12.
- Banks S. C., Piggott M. P., Stow A. J., Taylor A. C.* Sex and sociality in a disconnected world: A review of the impacts of habitat fragmentation on animal social interactions // *Canadian Journal of Zoology*. 2007. Vol. 85. P. 1065–1079.
- Barlow J., Peres C. A.* Effects of single and recurrent wildfires on fruit production and large vertebrate abundance in a central Amazonian forest // *Biodiversity & Conservation*. 2006. Vol. 15. No. 3. P. 985–1012.
- Bauchhenss J.* Auswirkungen des Abflämmens auf die Bodenfauna einer Grünlandfläche im Spessart // *Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau*. München: Bayer, 1980. P. 100–114.

- Beig G., Sahu S. K., Singh V., Tikle S., Sobhana S. B., Gargeva P., ... & Murthy B. S.* Objective evaluation of stubble emission of North India and quantifying its impact on air quality of Delhi // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 709. Article 136126.
- Bell D. T., Plummer J. A., Taylor S. K.* Seed germination ecology in southwestern Western Australia // *The Botanical Review*. 1993. Vol. 59. No. 1. P. 24–73.
- Belleville G., Ouellet M. C., Morin C. M.* Post-traumatic stress among evacuees from the 2016 Fort McMurray wildfires: exploration of psychological and sleep symptoms three months after the evacuation // *International journal of environmental research and public health*. 2019. Vol. 16. No. 9. Article 1604.
- Bendell J. F.* Effects of fire on birds and mammals // *Fire and ecosystems*. 1974. P. 73–138.
- Benyon R., Culvenor D., Simms N., Opie K., Siggins A., Doody T.* Evaluation of remote sensing for predicting long term hydrological impacts of forest regeneration as a result of bushfire // *Technical Report No. 163. Ensis*, 2007. 55 p.
- Bess E. C., Parmenter R. R., McCoy S., Molles M. C.* Responses of a riparian forest-floor arthropod community to wildfire in the middle Rio Grande Valley, New Mexico // *Environmental Entomology*. 2002. Vol. 31. No. 5. P. 774–784.
- Black C., Tesfaigzi Y., Bassein J. A., Miller L. A.* Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue // *Environmental toxicology and pharmacology*. 2017. Vol. 55. P. 186–195.
- Black C., Tesfaigzi Y., Bassein J. A., Miller L. A.* Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue // *Environmental toxicology and pharmacology*. 2017. Vol. 55. P. 186–195.
- Bock C. E., Jones Z. F., Kennedy L. J., Bock J. H.* Response of rodents to wildfire and livestock grazing in an Arizona desert grassland // *The American midland naturalist*. 2011. Vol. 166. No. 1. P. 126–138.
- Bond-Lamberty B., Peckham S. D., Ahl D. E., Gower S. T.* Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance // *Nature*. 2007. Vol. 450. P. 89–92.
- Borchers-Arriagada N., Palmer A. J., Bowman D. M., Williamson G. J., Johnston F. H.* Health impacts of ambient biomass smoke in Tasmania, Australia // *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17. No. 9. Article 3264.
- Bowd E. J., Banks S. C., Strong C. L., Lindenmayer D. B.* Long-term impacts of wildfire and logging on forest soils // *Nature Geoscience*. 2019. Vol. 12. No. 2. P. 113–118.
- Bowman D. M. J. S.* The impact of Aboriginal landscape burning on the Australian biota // *The New Phytologist*. 1998. Vol. 140. No. 3. P. 385–410.
- Bowman D. M. J. S., Balch J. K., Artaxo P., Bond W. J., Carlson J. M., ... & Pyne S. J.* Fire in the Earth system // *Science*. 2009. Vol. 324. P. 481–484.
- Brown J., York A., Christie F., McCarthy M.* Effects of fire on pollinators and pollination // *Journal of Applied Ecology*. 2017. Vol. 54. No. 1. P. 313–322.
- Brown M. R. G., Agyapong V., Greenshaw A. J., Cribben I., Brett-MacLean P., Drolet J., McDonald-Harker C., Omeje J., Mankowski M., Noble S., Kitching D.* After the Fort McMurray wildfire there are significant increases in mental health symptoms in grade 7–12 students compared to controls // *BMC psychiatry*. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 1–11.
- Bryant R. A., Gibbs L., Gallagher H. C., Pattison P., Lusher D., MacDougall C., Harms L., Block K., Sinnott V., Ireton G., Richardson J.* Longitudinal study of

- changing psychological outcomes following the Victorian Black Saturday bushfires // Australian & New Zealand Journal of Psychiatry. 2018. Vol. 52. No. 6. P. 542–551.
- Buckley T. N., Turnbull T. L., Pfausch S., Adams M. A.* Nocturnal water loss in mature subalpine Eucalyptus delegatensis tall open forests and adjacent *E. pauciflora* woodlands // Ecology and Evolution. 2011. No. 1. P. 435–450.
- Burles K., Boon S.* Snowmelt energy balance in a burned forest plot, Crowsnest Pass, Alberta, Canada // Hydrological processes. 2011. Vol. 25. No. 19. P. 3012–3029.
- Butt E. W., Conibear L., Reddington C. L., Darbyshire E., Morgan W. T., Coe H., ... & Spracklen D. V.* Large air quality and human health impacts due to Amazon Forest and vegetation fires // Environmental Research Communications. 2020. Vol. 2. No. 9. Article 095001.
- Byrnes J., Lefcheck J. S., Gamfeldt L., Griffin J. N., Isbell F., Hector A.* Multifunctionality does not imply that all functions are positively correlated // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2014. Vol. 111. No. 51. P. e5490.
- Cairney J. W. G., Bastias B. A.* Influences of Fire on Forest Soil Fungal Communities // Canadian Journal of Forest Research. 2007. Vol. 37. P. 207–215.
- Camia A., Liberta G., San-Miguel-Ayanz J.* Modeling the impacts of climate change on forest fire danger in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. 22 p. DOI:10.2760/768481.
- Campbell J. L., Harmon M. E., Mitchell S. R.* Can fuel-reduction treatments really increase forest carbon storage in the western US by reducing future fire emissions? // Frontiers in Ecology and the Environment. 2012. Vol. 10. No. 2. P. 83–90.
- Campbell J. W., Hanula J. L., Waldrop T. A.* Effects of prescribed fire and fire surrogates on floral visiting insects of the blue ridge province in North Carolina // Biological Conservation. 2007. Vol. 134. No. 3. P. 393–404.
- Carvalho A., Monteiro A., Flannigan M., Solman S., Miranda A. I., Borrego C.* Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality // Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45. No. 31. P. 5545–5553.
- Cascio W. E.* Wildland fire smoke and human health // Science of the total environment. 2018. Vol. 624. P. 586–595.
- Certini C.* Effects of Fire on Properties of Forest Soils: A Review // Oecologia. 2005. Vol. 143. No. 1. P. 1–10.
- Certini G., Moya D., Lucas-Borja M. E., Mastrolonardo G.* The impact of fire on soil-dwelling biota: A review // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 488. Article 118989.
- Češljarić G., Stevović S.* Small reservoirs and their sustainable role in fires protection of forest resources // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. P. 496–503.
- Chen J., Li C., Ristovski Z., Milic A., Gu Y., Islam M. S., ... & Dumka U. C.* A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China // Science of the Total Environment, 2017. Vol. 579, P. 1000–1034.
- Cleary D. F. R., Mooers A. O., Eichhorn K. A. O., van Tol J., de Jong R., Menken S. B. J.* Diversity and community composition of butterflies and odonates in an ENSO-induced fire affected habitat mosaic: a case study from East Kalimantan, Indonesia // Oikos. 2004. Vol. 105. P. 426–446.
- Coates T. A., Hagan D. L., Aust W. M., Johnson A., Keen J. C., Chow A. T., Dozier J. H.* Mineral soil chemical properties as influenced by long-term use of prescribed fire with differing frequencies in a southeastern Coastal Plain pine forest // Forests. 2018. Vol. 9. No. 12. Article 739.



- Collett N. G., Neumann F. G., Tolhurst K. G.* Effects of two short rotation prescribed fires in spring on surface-active arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria // *Australian Forestry*. 1993. Vol. 56. No. 1. P. 49–60.
- Collins B. M., Stephens S. L.* Stand-replacing patches within a “mixed severity” fire regime: quantitative characterization using recent fires in a long-established natural fire area // *Landscape Ecology*. 2010. Vol. 25. P. 927–939.
- Crutzen P., Heidt L., Krasnec J., Pollock W., Seiler W.* Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, CH<sub>3</sub>Cl and COS // *Nature*. 1979. Vol. 282. No. 5736. P. 253–256.
- Dahlberg A., Schimmel J., Taylor A. F. S., Johannesson H.* Post-fire Legacy of Ectomycorrhizal Fungal Communities in the Swedish Boreal Forest in Relation to fire Severity and Logging Intensity. 2001. Vol. 100. P. 151–161.
- Darracq A. K., Boone IV W. W., McCleery R. A.* Burn regime matters: a review of the effects of prescribed fire on vertebrates in the longleaf pine ecosystem // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 378. P. 214–221.
- Day N. J., Dunfield K. E., Johnstone J. F., Mack M. C., Turetsky M. R., Walker X. J., White A. L., Baltzer J. L.* Wildfire severity reduces richness and alters composition of soil fungal communities in boreal forests of western Canada // *Global change biology*. 2019. Vol. 25. No. 7. P. 2310–2324.
- Diaci J.* Razvojna dogajanja v gozdnem rezervatu Mozirska pozganija v cetrtem desetletju po požaru // *Zbornik gozdarstva in lesarstva*. 1994. Vol. 45. P. 5–54.
- Doamba S. W., Savadogo P., Nacro H. B.* Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments // *Applied soil ecology*. 2014. Vol. 81. P. 37–44.
- Doerr S. H., Shakesby R. A., MacDonald L. H.* Soil water repellency: A key factor in post-fire erosion? [in:] *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies* (eds. A. Cerda, P. Robichaud) Science Publishers, 2009. P. 213–240.
- dos Santos, Alves-Correia M., Câmara M., Lélis M., Caldeira C., da Luz Brazão M., Nóbrega J. J.* Multiple victims of carbon monoxide poisoning in the aftermath of a wildfire: a case series // *Acta medica portuguesa*. 2018. Vol. 31. No. 3. P. 146–151.
- Driscoll D. A., Armenteras D., Bennett A. F., Brotons L., Clarke M. F., ... & Wevill T.* How fire interacts with habitat loss and fragmentation // *Biological Reviews*. 2021. Vol. 96. P. 976–998.
- Duchesne L. C., Wetzel S.* Effect of fire intensity and depth of burn on lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium*, and velvet leaf blueberry, *Vaccinium myrtilloides*, production in eastern Ontario // *The Canadian Field-Naturalist*. 2004. Vol. 118. No. 2. P. 195–200.
- Dymov A. A., Abakumov E. V., Bezkorovaynaya I. N., Prokushkin A. S., Kuzyakov Y. V., Milanovsky E. Y.* Impact of forest fire on soil properties // *Theoretical and applied ecology*. 2018. No. 4. P. 13–23.
- Ellett N. G., Pierce J. L., Glenn N. F.* Partitioned by process: Measuring post-fire debris-flow and rill erosion with Structure from Motion photogrammetry // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2019. Vol. 44. No. 15. P. 3128–3146.
- Emelko M. B., Silins U., Bladon K. D., Stone M.* Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies // *Water research*. Vol. 2011. Vol. 45. No. 2. P. 461–472.
- Eystigneev O. I., Solonina O. V.* Phytocoenotic portrait of the European Badger // *Russian*

- Journal of Ecosystem Ecology. 2020. Vol. 5. No. 1. P. 1–26.
- Fann N., Alman B., Broome R. A., Morgan G. G., Johnston F. H., Pouliot G., Rappold A. G.* The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 610. P. 802–809.
- Finlay S. E., Moffat A., Gazzard R., Baker D., Murray V.* Health impacts of wildfires // *PLoS currents*. 2012. Vol. 4. Article e4f959951cce2c.
- Fisher J. T., Wilkinson L.* The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest // *Mammal Review*. 2005. Vol. 35. No. 1. P. 51–81.
- Flannigan M. D., Amiro B. D., Logan K. A., Stocks B. J., Wotton B. M.* Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2006. Vol. 11. P. 847–859.
- Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M.* Climate change and forest fires // *The Science of the Total Environment*. 2000. Vol. 262. P. 221–229.
- Fowler C. T., Welch J. R.* Fire Otherwise: Ethnobiology of Burning for a Changing World. 1 ed. University of Utah Press, 2018. 252 p.
- Fox B. J., McKay G. M.* Small mammal responses to pyric successional changes in eucalypt forest // *Australian Journal of Ecology*. 1981. Vol. 6. No. 1. P. 29–41.
- Franco-Manchón I., Salo K., Oria-de-Rueda J. A., Bonet J. A., Martín-Pinto P.* Are wildfires a threat to fungi in European pinus forests? A case study of boreal and mediterranean forests // *Forests*. 2019. Vol. 10. No. 4. P. 1–12.
- Fredriksson G. M., Danielsen L. S., Swenson J. E.* Impacts of El Nino related drought and forest fires on sun bear fruit resources in lowland dipterocarp forest of East Borneo // *Biodiversity and Conservation*. 2007. Vol. 16. No. 6. P. 1823–1838.
- Garcia E., Carignan R.* Mercury concentrations in fish from forest harvesting and fire-impacted Canadian boreal lakes compared using stable isotopes of nitrogen *Environ // Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*. 2005. Vol. 24. No. 3. P. 685–693.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J. M., Fleischer P., Ingemarsson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J. L.* Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts. EFI, 2010.
- Gassibe P. V., Faber, R. F., Hernández-Rodríguez M., Oria-de-Rueda J. A., Oviedo F. B., Martín-Pinto P.* Post-fire production of mushrooms in Pinus pinaster forests using classificatory models // *Journal of forest research*. 2014. Vol. 19. No. 3. P. 348–356.
- Geraskina A., Kuprin A.* Functional diversity of earthworm communities in forests in the south of the Russian Far East // *Ecological Questions*. 2021. Vol. 32. No. 2. P. 81–91.
- Gibbs L., Nurse J., Cook J., Ireton G., Alkemade N., Roberts M., Gallagher H. C., Bryant R., Block K., Molyneaux R., Forbes D.* Delayed disaster impacts on academic performance of primary school children // *Child development*. 2019. Vol. 90. No. 4. P. 1402–1412.
- Gil-Tena A., Brotons L., Saura S.* Mediterranean Forest dynamics and forest bird distribution changes in the late 20th century // *Global Change Biology*. 2009. Vol. 15. No. 2. P. 474–485.
- Gomes J. F. P.* Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen // *International Journal of Environmental Studies*. Vol. 63. No. 2. P. 109–119.
- Gongalsky K. B., Malmström A., Zaitsev A. S., Shakhb S. V., Bengtsson J., Persson T.* Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape // *Applied Soil Ecology*. 2012. Vol. 59. P. 73–86.

- Gongalsky K. B., Zaitsev A. S., Korobushkin D. I., Saifutdinov R. A., Butenko K. O., de Vries F. T., ... & Bardgett R. D.* Forest fire induces short-term shifts in soil food webs with consequences for carbon cycling // *Ecology Letters*. 2021. Vol. 24. No. 3. P. 438–450.
- Gough C. M., Vogel C. S., Harrold K. H., George K., Curtis P. S.* The legacy of harvest and fire on ecosystem carbon storage in a north temperate forest // *Global change biology*. 2007. Vol. 13. No. 9. P. 1935–1949.
- Goulden M. L., McMillan A. M. S., Winston G. C., Rocha A. V., Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P.* Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession // *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17. No. 2. P. 855–871.
- Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E. L.* Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers // *Science*. 2015. Vol. 347. Article 6229.
- Gower S. T., McMurtrie R. E., Murty D.* Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes // *Trends in Ecology & Evolution*. 1996. Vol. 11. No. 9. P. 378–382.
- Gowlett J. A. J.* The early settlement of northern Europe: fire history in the context of climate change and the social brain // *Comptes Rendus Palevol*. 2006. Vol. 5. No. 1-2. P. 299–310.
- Green K., Sanecki G.* Immediate and short-term responses of bird and mammal assemblages to a subalpine wildfire in the Snowy Mountains, Australia // *Austral Ecology*. 2006. Vol. 31. P. 673–681.
- Hanula J. L., Horn S., O'Brien J. J.* Have changing forests conditions contributed to pollinator decline in the southeastern United States? // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 348. P. 142–152.
- Harper A. R., Doerr S. H., Santin C., Froyd C. A., Sinnadurai P.* Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 624. P. 691–703.
- Harvey H. T., Howard S. S., Stecker R. E.* Giant sequoia ecology: fire and reproduction US Department of the Interior, National Park Service. 1980. 182 p.
- Harvey H. T., Shellhammer H. S.* Survivorship and growth of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchh.) seedlings after fire // *Madroño*, 1991. Vol. 38. No. 1. P. 14–20.
- He T., Lamont B. B., Pausas J. G.* Fire as a key driver of Earth's biodiversity // *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94. No. 6. P. 1983–2010.
- Hector A., Bagchi R.* Biodiversity and ecosystem multifunctionality // *Nature*. 2007. Vol. 448. No. 7150. P. 188–190.
- Hessburg P. F., Spies T. A., Perry D. A., Skinner C. N., Taylor A. H., Brown P. M., Stephens S. L., Larson A. J., Churchill D. J., Povak N. A.* Tamm review: management of mixed-severity fire regime forests in Oregon, Washington, and Northern California // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 366. P. 221–250.
- Hodzic A., Madronich S., Bohn B., Massie S., Menut L., Wiedinmyer C.* Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2007. Vol. 7. No. 15. P. 4043–4064.
- Hood S., Sala A., Heyerdahl E. K., Boutin M.* Low-severity fire increases tree defense against bark beetle attacks // *Ecology*. Vol. 96. Issue 7. P. 1846–1855.
- Howard E. A., Gower S. T., Foley J. A., Kucharik C. J.* Effects of logging on carbon dynamics of a jack pine forest in Saskatchewan, Canada // *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10. No. 8. P. 1267–1284.
- Huffman E. L., MacDonald L. H., Stednick J. D.* Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and

- lodgepole pine, Colorado front range // *Hydrological Processes*. 2001. Vol. 15. No. 15. P. 2877–2892.
- Hurteau M., North M.* Fuel treatment effects on tree-based forest carbon storage and emissions under modeled wildfire scenarios // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2009. Vol. 7. No. 8. P. 409–414.
- Hutchinson T. F., Boerner R. E. J., Sutherland S., Sutherland E. K., Ortt M., Iverson L. R.* Prescribed fire effects on the herbaceous layer of mixed-oak forests // *Canadian Journal of Forest Research*. 2005. Vol. 35. P. 877–890.
- Isaev A. S., Korovin G.N., Bartalev S. A., Ershov D. V., Janetos A., Kasishke E. S., Shugart H. H., French N.H. F., Orlick B. E., Murphy T. L.* Using Remote Sensing to Assess Russian Forest Fire Carbon Emissions // *Climatic Change*. 2002. Vol. 55. P. 235–249.
- Jacobsen R.M., Burner R.C., Olsen S.L., Skarpaas O., Sverdrup-Thygeson A.* Near-natural forests harbor richer saproxylic beetle communities than those in intensively managed forests // *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 466. P. 118–124.
- Johnston M., Woodard P.* The effect of fire severity level on postfire recovery of hazel and raspberry in east-central Alberta // *Canadian Journal of Botany*. 1985. Vol. 63. No. 4. P. 672–677.
- Joshi A., Holankar S., Gajbhiye P.* Impact analysis of forest fires in tiger habitat using geospatial technology // 16th Esri India User Conference 2015. P. 1–12.
- Kashian D. M., Romme W. H., Tinker D. B., Turner M. G., Ryan M. G.* Postfire changes in forest carbon storage over a 300-year chronosequence of *Pinus contorta*-dominated forests // *Ecological Monographs*. 2013. Vol. 83. No. 1. P. 49–66.
- Kasishke E. S., Bruhwiler L. P.* Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998 // *Journal of geophysical research*. 2003. Vol. 108. Num. D1, P. FFR2.1-FFR2.14
- Kawahigashi M., Prokushkin A., Sumida H.* Effect of fire on solute release from organic horizons under larch forest in Central Siberian permafrost terrain // *Geoderma*. 2011. Vol. 166. No. 1. P. 171–180.
- Keeley J. E., Fotheringham C. J.* Role of fire in regeneration from seed [in:] *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2000. Vol. 2. P. 311–330.
- Kelly L. T., Brotons L.* Using fire to promote biodiversity // *Science*. 2017. Vol. 355. No. 6331. P. 1264–1265.
- Khanina L., Bobrovsky M.* Value of large *Quercus robur* fallen logs in enhancing the species diversity of vascular plants in an old-growth mesic broad-leaved forest in the Central Russian Upland // *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 491. Article 119172.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Dvinskaya M. L., Coogan S. C., Flannigan M. D.* Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*. 2021. P. 1–22. DOI: 10.1007/s13280-020-01490-x
- Kirdyanov A. V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova O. V., Fonti M. V., Büntgen U.* Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia // *Environmental Research Letters*. 2020. Vol. 15. No 3. Article 034061.
- Kodandapani N., Cochrane M.A., Sukumar R.* A comparative analysis of spatial, temporal, and ecological characteristics of forest fires in seasonally dry tropical ecosystems in the Western Ghats, India // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 256. P. 607–617.
- Kogler C., Rauch P.* A discrete-event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply // *Canadian Journal of Forest Research*. 2019. Vol. 49. No. 10. P. 1173–1328.

- Kirkland G. L., Snoddy H. W., Amsler T. L.* Impact of fire on small mammals and amphibians in a central Appalachian deciduous forest // *The American Midland Naturalist*. 1996. Vol. 135. P. 253–260.
- Kuczera G.* Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalypt forest // *Journal of Hydrology*. 1987. Vol. 94. No. 3-4. P. 215–236.
- Landguth E. L., Holden Z. A., Graham J., Stark B., Mokhtari E. B., Kaleczyc E., Anderson S., Urbanski S., Jolly M., Semmens E. O., Warren D. A.* The delayed effect of wildfire season particulate matter on subsequent influenza season in a mountain west region of the USA // *Environment international*. 2020. Vol. 139. Article 105668.
- Lane P. N. J., Feikema P. M.* Modelling the long term water yield impact of wildfire and other forest disturbance in Eucalypt forests // *Environmental Modelling & Software*. 2010. Vol. 25. P. 467–478.
- Lamont B. B., He T., Yan Z.* Evolutionary history of fire-stimulated resprouting, flowering, seed release and germination // *Biological Reviews*. 2019. Vol. 94. No. 3. P. 903–928.
- Larson A. J., Cansler C. A., Cowdery S. G., Hiebert S., Furniss T. J., Swanson M. E., Lutz, J. A.* Post-fire morel (*Morchella*) mushroom abundance, spatial structure, and harvest sustainability // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 377. P. 16–25.
- Latty E. F., Canham C. D., Marks P. L.* The effects of land-use history on soil properties and nutrient dynamics in northern hardwood forests of the Adirondack Mountains // *Ecosystems*. 2004. Vol. 7. No. 2. P. 193–207.
- Lazarina M., Devalez J., Neokosmidis L., Sgardelis S. P., Kallimanis A. S., Tscheulin T., Tsalkatis P., Kourtidou M., Mizerakis V., Nakas G., Palaiologou P.* Moderate fire severity is best for the diversity of most of the pollinator guilds in Mediterranean pine forests // *Ecology*. 2019. Vol. 100. No. 3. P. e02615.
- Leak M., Passuello R., Tyler B.* I've seen fire. I've seen rain. I've seen muddy waters that I thought would never clear again // *WaterWorks*. 2003. No. 6. P. 38–44.
- Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R.* The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires // *Ecological Economics*. 2015. Vol. 116. P. 261–269.
- Letnic M., Tamayo B., Dickman C. R.* The responses of mammals to La Niña (ENSO)-associated rainfall, predation and wildfire in arid Australia // *Journal of Mammalogy*. 2005. Vol. 86. P. 689–703.
- Liu J., Drummond J. R., Li Q., Gille J. C., Ziskin D. C.* Satellite mapping of CO emission from forest fires in Northwest America using MOPITT measurements // *Remote Sensing of Environment*. 2005. Vol. 95. P. 502–516.
- Ludwig S. M., Alexander H. D., Kielland K., Mann P. J., Natali S. M., Ruess R.W.* Fire severity effects on soil carbon and nutrients and microbial processes in a Siberian larch forest // *Global change biology*. 2018. Vol. 24. No. 12. P. 5841–5852.
- Lukina N. V., Geraskina A. P., Gornov A. V., Shevchenko N. E., Kuprin A. V., Chernov T. I., Chumachenko S. I., Shanin V. N., Kuznetsova A. I., Tebenkova D. N., Gornova M. V.* Biodiversity and climate-regulating functions of forests: current issues and research prospects // *Forest science issues*. 2021. Vol. 4. No. 1. P. 1–60.
- Lust N., Geudens G., Nachtergale L.* Aspects of biodiversity of Scots pine forests in Europe // *Silva Gandavensis*. 2001. Vol. 66. P. 16–39.
- Lyon J. P., O'Connor J. P.* Smoke on the water: Can riverine fish populations recover following a catastrophic fire-related sediment slug? // *Austral. Ecology*. 2008. Vol. 33. No. 6. P. 794–806.
- MacDonald K., Scherjon F., van Veen E., Vaesen K., Roebroeks W.* Middle

- Pleistocene fire use: The first signal of widespread cultural diffusion in human evolution // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021. Vol. 118. No. 31. Article e2101108118.
- Malmström A., Persson T., Ahlström K., Gongalsky K. B., Bengtsson J. Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest // *Appl. Soil Ecol.* 2009. Vol. 43. P. 61–74.
- Manning P., Plas F., Soliveres S., Allan E., Maestre F. T., Mace G., Whittingham M. J., Fischer M. Redefining ecosystem multifunctionality // *Nature ecology & evolution*. 2018. Vol. 2. No. 3. 427 p.
- Marks-Block T., Lake F. K., Curran L. M. Effects of understory fire management treatments on California Hazelnut, an ecocultural resource of the Karuk and Yurok Indians in the Pacific Northwest // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 450. Article 117517.
- Mataix-Solera J., Guerrero C., García-Orenes F., Bárcenas G. M., Torres M. P. Forest fire effects on soil microbiology. [in:] *Fire effects on soils and restoration strategies*. CRC Press, 2009. P. 149–192.
- Maxwell J. D., Call A., Clair S. B. S. Wildfire and topography impacts on snow accumulation and retention in montane forests // *Forest ecology and management*. 2019. Vol. 432. P. 256–263.
- McFarlane A. C., Van Hooff M. Impact of childhood exposure to a natural disaster on adult mental health: 20-year longitudinal follow-up study // *The British Journal of Psychiatry*. 2009. Vol. 195. No. 2. P. 142–148.
- McLauchlan K. K., Higuera P. E., Miesel J., Rogers B. M., Schweitzer J., Shuman J. K., ... & Watts A. C. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers // *Journal of Ecology*. 2020. Vol. 108. No. 5. P. 2047–2069.
- Meigs G. W., Donato D. C., Campbell J. L., Martin J. G., Law B. E. Forest fire impacts on carbon uptake, storage, and emission: the role of burn severity in the Eastern Cascades, Oregon // *Ecosystems*. 2009. Vol. 12. No. 8. P. 1246–1267.
- Merzdorf J., *Boreal Forest Fires Could Release Deep Soil Carbon*. 2019. URL: <https://climate.nasa.gov/news/2905/boreal-forest-fires-could-release-deep-soil-carbon/> (дата обращения 14.07.2021).
- Mikkelsen K. M., Dickenson E. R. V., Maxwell R. M., McCray J. E., Sharp J. O. Water-quality impacts from climate-induced forest die-off // *Nature Climate Change*. 2013. No. 3. P. 218–222.
- Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. 2005. URL: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#> (дата обращения 05.07.2021).
- Miller J. E. D., Safford H. D. Are plant community responses to wildfire contingent upon historical disturbance regimes? // *Global Ecology and Biogeography*. 2020. Vol. 29. No. 10. P. 1621–1633.
- Miller R. F., Chambers J. C., Pyke D. A., Pierson F. B., Williams C. J. A review of fire effects on vegetation and soils in the Great Basin region: Response and site characteristics. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-308. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2013. 126 p.
- Miller R. G., Tangney R., Enright N. J., Fontaine J. B., Merritt D. J., Ooi M. K. J., Ruthrof K. X., Miller B. P. Mechanisms of Fire Seasonality Effects on Plant Populations // *Trends in Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 34. Issue 12. P. 1104–1117.
- Min Z., Haiqing H. The effect of forest fire on microorganism in soil // *Journal of Northeast Forestry University*, 2002. Vol. 30. No. 4. P. 44–46.

- Miranda A. I.* An integrated numerical system to estimate air quality effects of forest fires // *International Journal of Wildland Fire*. 2004. Vol. 13. P. 217–226.
- Mola J. M., Williams N. M.* Fire-induced change in floral abundance, density, and phenology benefits bumble bee foragers // *Ecosphere*. 2018. Vol. 9. No. 1. Article e02056.
- Molina J. R., González-Cabán A., Rodríguez S. F.* Potential Effects of Climate Change on Fire Behavior, Economic Susceptibility and Suppression Costs in Mediterranean Ecosystems: Córdoba Province, Spain // *Forests*. 2019. Vol. 10. No 8. Article 679.
- Moody J. A. Martin D. A.* Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range Earth Surf // *Processes Landforms*. 2001a. Vol. 26. No. 10. P. 1049–1070.
- Moody J. A., Martin D. A.* Post-fire rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA // *Hydrological processes*. 2001b. Vol. 15. No. 15. 2981–2993.
- Moretti M., Duelli P., Obrist M.* Biodiversity and resilience of arthropod communities after fire disturbance in temperate forests // *Oecologia*. 2006. Vol. 149. P. 312–327.
- Moritz M. A., Batllori E., Bradstock R. A., Gill A. M., Handmer J., ... & Syphard A. D.* Learning to coexist with wildfire // *Nature*. 2014. Vol. 515. No. 7525. P. 58–66.
- National Research Council. Hydrologic effects of a changing forest landscape. National Academies Press, 2008. 180 p.
- Neary D. G., Gottfried G. J., Ffolliott P. F.* In Post-Wildfire Watershed Flood Responses, 2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress and 5th Symposium on Fire Forest Meteorology, Orlando, FL, November 16–20, 2003. American Meteorological Society: Boston, MA, 2003. P. 7.
- Neumann F. G., Tolhurst K.* Effects of fuel reduction burning on epigeal arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria // *Australian Journal of Ecology*. 1991. Vol. 16. No. 3. P. 315–330.
- Nyman P., Smith H. G., Sherwin C. B., Langhans C., Lane P. N., Sheridan G. J.* Predicting sediment delivery from debris flows after wildfire // *Geomorphology*. 2015. Vol. 250. P. 173–186.
- Odum E. P.* The strategy of ecosystem development // *The ecological design and planning reader*. Island Press, Washington, DC, 2014. P. 203–216.
- Paletto A., Ferretti F., De Meo I., Cantiani P., Focacci M.* Ecological and environmental role of deadwood in managed and unmanaged forests [in:] *Sustainable Forest Management—Current Research* (eds. G.M. Garcia, J.D. Casero). 2012. P. 219–238.
- Parker T. J., Clancy K. M., Mathiasen R. L.* Interactions among fire, insects and pathogens in coniferous forests of the interior western United States and Canada // *Agricultural and Forest Entomology*. 2006. Vol. 8. No. 3. P. 167–189.
- Pastro L. A., Dickman C. R., Letnic M.* Fire type and hemisphere determine the effects of fire on the alpha and beta diversity of vertebrates: a global meta-analysis // *Global Ecology and Biogeography*. 2014. Vol. 23. P. 1146–1156.
- Pastro L.A., Dickman C.R., Letnic M.* Burning for biodiversity or burning biodiversity? Prescribed burn vs. wildfire impacts on plants, lizards and mammals // *Ecological Applications*. 2011. Vol. 21. P. 3238–3253.
- Pausas J. G.* Generalized fire response strategies in plants and animals // *Oikos* 2019. Vol. 128. P. 147–153.
- Payette S.* Fire as a controlling process in the North American boreal forests [in:] *A system analysis of the global boreal forest* (eds. H. H. Shugart, R. Leemans, G. B. Bonan). Cambridge, 1992. P. 216–240.
- Perez-Quezada J. F., Urrutia P., Olivares-Rojas J., Mejjide A., Sánchez-Cañete E. P.,*

- Gaxiola A.* Long term effects of fire on the soil greenhouse gas balance of an old-growth temperate rainforest // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 755. Article 142442.
- Peters E. B., Wythers K. R., Bradford J. B., Reich P. B.* Influence of disturbance on temperate forest productivity // *Ecosystems*. 2013. Vol. 16. No. 1. P. 95–110.
- Pilz D., McLain R., Alexander S., Villarreal-Ruiz L., Berch S., Wurtz T. L., Parks C. G., McFarlane E., Baker B., Molina R., Smith J. E.* Ecology and Management of Morels Harvested from the Forests of western North America. General Technical Report PNW-GTR-710. Portland, OR, USA: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 2007. 161 p.
- Ponisio L. C., Wilkin K., M'Gonigle L. K., Kulhanek K., Cook L., Thorp R., Griswold T., Kremen C.* Pyrodiversity begets plant–pollinator community diversity // *Global change biology*. 2016. Vol. 22. No. 5. P. 1794–1808.
- Pourreza M., Hosseini S. M., Sinigani A. A. S., Matinizadeh M., Alavai S. J.* Herbaceous species diversity in relation to fire severity in Zagros oak forests, Iran // *Journal of Forestry Research*. 2014. Vol. 25. P. 113–120.
- Pressler Y., Moore J. C., Cotrufo M. F.* Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna // *Oikos*. 2019. Vol. 128. No. 3. P. 309–327.
- Prestemon J. P., Holmes T. P.* Market dynamics and optimal timber salvage after a natural catastrophe // *Forest Science*. 2004. Vol. 50. No. 4. P. 495–511.
- Rahn M.* Wildfire impact analysis. San Diego, CA: San Diego State University, 2009. P. 1–15.
- Reazin C., Morris S., Smith J. E., Cowan A. D., Jumpponen A.* Fires of differing intensities rapidly select distinct soil fungal communities in a Northwest US ponderosa pine forest ecosystem // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 377. P. 118–127.
- Reid C. E., Brauer M., Johnston F. H., Jerrett M., Balmes J. R., Elliott C. T.* Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure // *Environmental health perspectives*. 2016. Vol. 124. No. 9. P. 1334–1343.
- Reid C. E., Maestas M. M.* Wildfire smoke exposure under climate change: impact on respiratory health of affected communities // *Current opinion in pulmonary medicine*. 2019. Vol. 25. No. 2. P. 179–187.
- Rhoades C. C., Entwistle D., Butler D.* The influence of wildfire extent and severity on streamwater chemistry, sediment and temperature following the Hayman Fire, Colorado // *International Journal of Wildland Fire*. 2011. Vol. 20. No. 3. P. 430–442.
- Richter C., Rejmánek M., Miller J. E., Welch K. R., Weeks J., Safford H.* The species diversity× fire severity relationship is hump-shaped in semiarid yellow pine and mixed conifer forests // *Ecosphere*. 2019. Vol. 10. No. 10. Article e02882.
- Robertson K. M., Platt W. J., Faires C. E.* Patchy fires promote regeneration of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) in pine savannas // *Forests*. 2019. Vol. 10. No. 5. P. 1–16.
- Rogers H. M., Ditto J. C., Gentner D. R.* Evidence for impacts on surface-level air quality in the northeastern US from long-distance transport of smoke from North American fires during the Long Island Sound Tropospheric Ozone Study (LISTOS) 2018 // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 671–682.
- Rosenzweig M. L.* Species Diversity in Space and Time. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 460.
- Ryan M. G., Binkley D., Fownes J. H.* Age-related decline in forest productivity: pattern and process // *Advances in ecological research*. 1997. Vol. 27. P. 213–262.



- Sackmann P., Farji-Brener A.* Effect of fire on ground beetles and ant assemblages along an environmental gradient in NW Patagonia: Does habitat type matter? // *Ecoscience*. 2006. Vol. 13. No. 3. P. 360–371.
- Saint-Germain M., Larrivée M., Drapeau P., Fahrig L., Buddle C. M.* Short-term response of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to fire and logging in a spruce-dominated boreal landscape // *Forest Ecology and Management*. 2005. Vol. 212. No. (1-3). P. 118–126.
- Shakesby R. A., Doerr S. H.* Wildfire as a hydrological and geomorphological agent // *Earth-Science Reviews*. 2006. Vol. 74. No. 3-4. P. 269–307.
- Sheppard S., Picard P.* Visual-quality impacts of forest pest activity at the landscape level: a synthesis of published knowledge and research needs // *Landscape and Urban Planning*. 2006. Vol. 77. No. 4. P. 321–342.
- Shive K., Preisler H., Welch K., Safford H., Butz R. J., O'Hara K., Stephens S. L.* Scaling stand-scale measurements to landscape-scale predictions of forest regeneration after disturbance: the importance of spatial pattern // *Ecological Applications*. 2018. Vol. 28. P. 1626–1639.
- Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I.* Bottom-up inventory of the carbon fluxes in Northern Eurasia for comparisons with COSAT Level 4 products. Research Report. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2010. 210 p.
- Silva F. D., Portella A. C. F., Giongo M.* Meta-analysis of studies on the effect of fire on forest biomes in relation to fungal microorganisms // *Advances in Forestry Science*. 2020. Vol. 7. No. 1. P. 931–938.
- Simmonds P., Manning A., Derwent R., Ciaia P., Ramonet M., Kazan V., Ryall D.* A burning question. Can recent growth rate anomalies in the greenhouse gases be attributed to large-scale biomass burning events? // *Atmospheric Environment*. 2005. Vol. 39. P. 2513–2517.
- Skulska I., Salgueiro A. J., Loureiro C.* Reducing the risk of fire and increasing the sustainability and economic profitability of the forest sector by way of prescribed burning // *Asociacion Española de Economía Agraria*, Editorial UPV, 2014. P. 339–344.
- Smirnova O. V., Geraskina A. P., Aleynikov A. A.* The concept “complementarity” as the basis for model and nature reconstruction of potential biota in the current climate // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 1–21. DOI: 10.21685/2500-0578-2018-3-1
- Smirnova O. V., Geraskina A. P., Korotkov V. N.* Natural zonation of the forest belt of Northern Eurasia: myth or reality? Part 2 (literature review) // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021. Vol. 6. No. 2. DOI: 10.21685/2500-0578-2021-2-1
- Smith G. R., Edy L. C., Peay K. G.* Contrasting fungal responses to wildfire across different ecosystem types // *Molecular Ecology*. 2021. Vol. 30. No. 3. P. 844–854.
- Smith H. G., Sheridan G. J., Lane P. N. J., Nyman P., Haydon S.* Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply // *Journal of Hydrology*. 2011. Vol. 396. No. 1-2. P. 170–192.
- Soja A. J., Cofer W. R., Shugart H. H., Sukhinin A. I., Stackhouse Jr. P. W., McRae D. J., Conrad S. G.* Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998–2002) // *Journal of geophysical research*. 2004. Vol. 109. DOI:10.1029/2004JD004570.
- Soos V., Badics E., Incze N., Balazs E.* Fire-borne life: A brief review of smoke-induced germination // *Natural Product Communications*. 2019. Vol. 14. No. 9. DOI: 10.1177/1934578X19872925.
- Steel Z. L., Koontz M. J., Safford H. D.* The changing landscape of wildfire: burn pattern trends and implications for California's yellow pine and mixed conifer forests

- // Landscape Ecology. 2018. Vol. 33. P. 1159–1176.
- Stephens S. L., Collins B. M., Fettig C. J., Finney M. A., Hoffman C. M., Knapp E. E., North M. P., Safford H., Wayman R. B.* Drought, tree mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire // *BioScience*. 2018. Vol. 68. No. 2. P. 77–88.
- Stone M., Droppo I. G.* In-channel surficial fine-grained sediment laminae (Part II): Chemical characteristics and implications for contaminant transport in fluvial systems // *Hydrological Processes*. 1994. Vol. 8. No. 2. P. 113–124.
- Tang K. H. D., Yap P. S.* A Systematic Review of Slash-and-Burn Agriculture as an Obstacle to Future-Proofing Climate Change [in:] *Proceedings of the International Conference on Climate Change, 2020*. Vol. 4. No. 1. P. 1–19.
- Tao Z., He H., Sun C., Tong D., Liang X. Z.* Impact of Fire Emissions on US Air Quality from 1997 to 2016—A Modeling Study in the Satellite Era // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. No. 6. P. 1–7.
- The true cost of wildfire in the Western U.S. // *Western Forestry Leadership Coalition (WFLC)*, 2014. 18 p.
- Thom D., Seidl R.* Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests // *Biological Reviews*. 2016. Vol. 91. No. 3. P. 760–781.
- Trucchi E., Pitzalis M., Zapparoli M., Bologna M.* Short-term effects of canopy and surface fire on centipede (Chilopoda) communities in a semi natural Mediterranean forest // *Entomologica Fennica*. 2009. Vol. 20. No. 3. P. 129–138.
- Tyler M. G., Spoolman S. E.* *Essentials of Ecology*. Belmont (USA): Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011. 384 p.
- Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R.* Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2018. Vol. 18. No. 3. P. 935–948.
- Van der Plas F., Ratcliffe S., Ruiz-Benito P., Scherer-Lorenzen M., Verheyen K., ... & Allan E.* Continental mapping of forest ecosystem functions reveals a high but unrealised potential for forest multifunctionality // *Ecology letters*. 2018. Vol. 21. No. 1. P. 31–42.
- Van Klink R., van Laar-Wiersma J., Vorst O., Smit C.* Rewilding with large herbivores: Positive direct and delayed effects of carrion on plant and arthropod communities // *PloS one*. 2020. Vol. 15. No. 1. Article e0226946.
- Van Meerbeek K., Muys B., Schowanek S. D., Svenning J. C.* Reconciling Conflicting Paradigms of Biodiversity Conservation: Human Intervention and Rewilding // *BioScience*. 2019. Vol. 69. No. 12. P. 997–1007.
- Vera F.W.M.* *Grazing ecology and forest history*. Cabi, 2000. 506 p.
- Waldrop M. P., Harden W. J.* Interactive effects of wildfire and permafrost on microbial communities and soil processes in an Alaskan black spruce forest // *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14. No. 11. P. 2591–2602.
- Walker X. J., Rogers B. M., Baltzer J. L., Cumming S. G., Day N. J., Goetz S. J., ... & Mack M. C.* Cross-scale controls on carbon emissions from boreal forest megafires // *Global Change Biology*. 2018. Vol. 24. No. 9. P. 4251–4265.
- Walker X. J., Baltzer J. L., Cumming S. G., Day N. J., Ebert C., Goetz S., ... & Mack M. C.* Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils // *Nature*. 2019. Vol. 572. No. 7770. P. 520–523.
- Weatherspoon C. P.* *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz Giant Sequoia // *Silvics of North America*. 1990. Vol. 1. P. 552–562.
- Wells C. G., DeBano L. F., Lewis C. E., Fredriksen R. L., Franklin E. C., Froelich R. C., Dunn P. H.* *Effects of Fire on Soil: a State-of-knowledge Review*. General

- Technical Report WO-7.1. USDA Forest Service, Washington, DC, 1979. 134 p.
- Whitlock C., Higuera P. E., McWethy D. B., Briles C. E. Paleoecological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept // *The Open Ecology Journal*. 2010. Vol. 3. P. 6–23.
- Wiedinmyer C., Quayle B., Geron C., Belote A., McKenzie D., Zhang X., O'Neill S., Wynne K. K. Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling // *Atmospheric Environment*. Vol. 40. No. 19. P. 3419–3432.
- Wikars L. O., Schimmel J. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests // *Forest Ecology and Management*. 2001. Vol. 141. No. 3. P. 189–200.
- Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000. 257 p.
- Winfree R., Reilly J. R., Bartomeus I., Cariveau D. P., Williams N. M., Gibbs J. Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales // *Science*. 2018. Vol. 359. No. 6377. P. 791–793.
- Xu R. Yu. P., Abramson M. J., Johnston F. H., Samet J. M., Bell M. L., ... & Guo Y. Wildfires, global climate change, and human health // *New England Journal of Medicine*. 2020. Vol. 383. No. 22. P. 2173–2181.
- Yadav I. C., Devi N. L. Biomass burning, regional air quality, and climate change [in:] *Earth Systems and Environmental Sciences*. Edition: *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier, 2018. P. 386–391.
- Yao J., Brauer M., Wei J., McGrail K. M., Johnston F. H., Henderson S. B. Sub-daily exposure to fine particulate matter and ambulance dispatches during wildfire seasons: a case-crossover study in British Columbia, Canada // *Environmental health perspectives*. 2020. Vol. 128. No. 6. Article 067006.
- Ying Y. A. N. G., Xiewen H. U., Yan W. A. N. G., Tao J. I. N., Xichao C. A. O., Mei H. A. N. Preliminary study on methods to calculate dynamic reserves of slope eroding materials transported by post-fire debris flow // *Journal of Engineering Geology*. 2021. Vol. 29. No. 1. P. 151–161.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskii V. I., Shulyak P. P., Chestnykh O. V. Recent decrease in carbon sink to Russian forests // *Doklady Biological Sciences*. 2017. Vol. 476. No. 1. P. 200–202.
- Zurbriggen N., Nabel J. E. M. S., Teich M., Bebi P., Lischke H. Explicit avalanche-forest feedback simulations improve the performance of a coupled avalanche-forest model // *Ecological Complexity*. 2014. Vol. 17. P. 56–66.

## REFERENCES

- Adams M. A., Mega-fires, tipping points and ecosystem services: Managing forests and woodlands in an uncertain future, *Forest Ecology and Management*, 2013, Vol. 294, pp. 250–261.
- Afanas'eva N. B., Berezina N. A., Vvedenie v ekologiyu rastenij (Introduction to Plant Ecology), Moscow, 2011, 800 p.
- Agapov A. I., Vliyanie pirogennogo faktora na rasteniya: istoriya i sovremennoe sostoyanie problemy (The effect of a pie-generic factor on plants: history and modern state of the problem), *Gorizonty civilizacii*, 2019, No 10, pp. 24–31.
- Ahlgren I. F., Ahlgren C. E., Effects of prescribed burning on soil microorganisms in a Minnesota jack pine forest, *Ecology*, 1965, Vol. 46, No 3, pp. 304–310.
- Ahlgren I. F., Effects of fire on soil organisms [in:] *Fire and ecosystems*, (eds. T. T. Kozlowski, C. E. Ahlgren), N.Y.: Academic Press, 1974, pp. 67–72.
- Aleynikov A. A., *Sostoyanie populyacii i sredopreobrazuyushchaya deyatel'nost'*

- bobra evropejskogo na territorii zapovednika «Bryanskij les» i ego ohrannoj zony* (The state of the population and the environment-transforming activity of the European beaver on the territory of the reserve "Bryansk Les" and its buffer zone, Candidate's biol. sci. thesis), Tol'yatti: Institut ekologii Volzhskogo bassejna RAN, 2010, 22 p.
- Aleynikov A. A., Tyurin A. V., Simakin L. V., Efimenko A. S., Laznikov A. A., Istorija pozharov v temnohvojnyh lesah Pechoro-Ilychskogo zapovednika so vtoroj poloviny XIX v. po nastoyashchee vremya (Fire history of dark needle coniferous forests in Pechora-Ilych Nature Reserve from the second half of xix century to present time), *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2015, No 6, pp. 31–42.
- Allen C. D., Savage M., Falk D. A., Suckling K. F., Swetnam T. W., Schulke T., Stacey P. B., Morgan P., Hoffman M., Klingel J. T., Ecological restoration of southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective, *Ecological applications*, 2002, Vol. 12, No 5, pp. 1418–1433.
- Amiro B. D., Todd J. B., Wotton B. M., Logan K. A., Flannigan M. D., Stocks B. J., Mason J. A., Martell D. L., Hirsch K. G., Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959 to 1999, *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, Vol. 31, pp. 512–525.
- Amiro B., Stocks B., Alexander M., Flannigan M., Wotton B., Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest, *International Journal Wildland Fire*, 2001a, Vol. 10, pp. 405–441.
- Ansink E., Hein L., Hasund K. P., To value functions or services? An analysis of ecosystem valuation approaches, *Environmental Values*, 2008, Vol. 17, No. 4, pp. 489–503.
- Arcybashev E. S., *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* (Forest fires and fighting them), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974, 52 p.
- Arnan X., Rodrigo A., Retana J., Post-fire recovery of Mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients, *Journal of Biogeography*, 2006, Vol. 33, No 7, pp. 1246–1258.
- Arriagada N. B., Horsley J. A., Palmer A. J., Morgan G. G., Tham R., Johnston F. H., Association between fire smoke fine particulate matter and asthma-related outcomes: systematic review and meta-analysis, *Environmental research*, 2019, Vol. 179, Article 108777.
- Ashwood F., Vangelova E. I., Benham S., Butt K. R., Developing a systematic sampling method for earthworms in and around deadwood, *Forest Ecosystems*, 2019, Vol. 6, No 33, pp. 1–12.
- Banks S. C., Piggott M. P., Stow A. J., Taylor A. C., Sex and sociality in a disconnected world: A review of the impacts of habitat fragmentation on animal social interactions, *Canadian Journal of Zoology*, 2007, Vol. 85, pp. 1065–1079.
- Barlow J., Peres C. A., Effects of single and recurrent wildfires on fruit production and large vertebrate abundance in a central Amazonian forest, *Biodiversity & Conservation*, 2006, Vol. 15, No 3, pp. 985–1012.
- Bauchhenss J., Auswirkungen des Abflämmens auf die Bodenfauna einer Grünlandfläche im Spessart, *Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau*, München: Bayer, 1980, pp. 100–114.
- Beig G., Sahu S. K., Singh V., Tikle S., Sobhana S. B., Gargeva P., ... & Murthy B. S., Objective evaluation of stubble emission of North India and quantifying its impact on air quality of Delhi, *Science of The Total Environment*, 2020, Vol. 709, Article 136126.
- Bekshaev A. B., Vliyanie pozharov na chislennost' rysi v Petrovsk-Zabajkal'skom rajone (Influence of fires on the number of lynxes in the Petrovsk-Zabaikalsky region), *Materialy Mezhdunarodnoj zaochnoj*

- nauchnoj konferencii «Problemy sovremennoj agrarnoj nauki»* (Krasnoyarsk, 15 October 2016), Krasnoyarsk, 2016, pp. 21–23.
- Bell D. T., Plummer J. A., Taylor S. K. Seed germination ecology in southwestern Western Australia, *The Botanical Review*, 1993, Vol. 59, No 1. pp. 24–73.
- Belleville G., Ouellet M. C., Morin C. M., Post-traumatic stress among evacuees from the 2016 Fort McMurray wildfires: exploration of psychological and sleep symptoms three months after the evacuation, *International journal of environmental research and public health*, 2019, Vol. 16, No 9, Article 1604.
- Belyh L. I., Sadovskaya E. A., Vliyanie lesnyh pozharov na chislennost' populyacij ohotnich'ej fauny na territorii Irkutskoj oblasti (Impacts of forest fires on the number of hunting fauna populations in Irkutsk region), *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2021, No 6 (1), pp. 9–28.
- Bendell J. F., Effects of fire on birds and mammals, *Fire and ecosystems*, 1974, pp. 73–138.
- Benyon R., Culvenor D., Simms N., Opie K., Siggins A., Doody T., Evaluation of remote sensing for predicting long term hydrological impacts of forest regeneration as a result of bushfire, *Technical Report*, 2007, No 163. Ensis, 2007, 55 p.
- Bess E. C., Parmenter R. R., McCoy S., Molles M. C., Responses of a riparian forest-floor arthropod community to wildfire in the middle Rio Grande Valley, New Mexico, *Environmental Entomology*, 2002, Vol. 31. No 5. pp. 774–784.
- Bezkorovajnaya I. N., Tarasov P. A., Ivanova G. A., Bogorodskaya A. V., Krasnoshchekova E. N., Azotnyj fond peschanyh podzolov posle kontroliruemyh vyzhiganiy sosnyakov Srednej Sibiri (The nitrogen reserves in sandy podzols after controlled fires in pine forests of central Siberia), *Pochvovedenie*, 2007, No 6, pp. 775–783.
- Bizyukin V. V., Dinamika rastitel'nosti na garyah v kedrovnikah Barguzinskogo gosudarstvennogo zapovednika (Dynamics of vegetation on burnt-out areas in cedar forests of the Barguzin State Reserve), *Zapovednoe delo*, 1998, No 3, pp. 53–64.
- Black C., Tesfaigzi Y., Bassein J. A., Miller L. A., Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue, *Environmental toxicology and pharmacology*, 2017, Vol. 55, pp. 186–195.
- Black C., Tesfaigzi Y., Bassein J. A., Miller L. A., Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue, *Environmental toxicology and pharmacology*, 2017, Vol. 55, pp. 186–195.
- Bock C. E., Jones Z. F., Kennedy L. J., Bock J. H., Response of rodents to wildfire and livestock grazing in an Arizona desert grassland, *The American midland naturalist*, 2011, Vol. 166, No. 1. P. 126–138.
- Bobrovskij M. V., *Lesnye pochvy Evropejskoj Rossii: bioticheskie i antropogennye faktory formirovaniya* (Forest soil of European Russia: biotic and anthropogenic factors in pedogenesis), Moscow: KMK, 2010, 359 p.
- Bogatyrev L. G., Demin V. V., Matyshak G. V., Sapozhnikova V. A., O nekotoryh teoreticheskikh aspektah issledovaniya lesnyh podstilk (On some theoretical aspects of studying forest litters), *Lesovedenie*, 2004, No 4, pp. 17–29.
- Bogorodskaya A. V., Vliyanie pozharov na mikrobnye komplekсы почв сосновых лесов Средней Sibiri (Vliyanie pozharov na mikrobnye komplekсы почв сосновых лесов Средней Sibiri) *Avtoref. dis. kand. biol. nauk*, Krasnoyarsk: IL SO RAN, 2006, 24 p.
- Bol'shakov N. M., Zhideleva V. V., Ivanickaya I. I., Razvitie rasshirennogo vosproizvodstva intensivnogo tipa—glavnoe napravlenie

- ustojchivogo razvitiya lesnogo sektora ekonomiki (Development of expanded reproduction of intensive type is the main direction of sustainable development of the forest sector of the economy), *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkar'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No 3, pp. 129–137.
- Bond-Lamberty B., Peckham S. D., Ahl D. E., Gower S. T., Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance, *Nature*, 2007, Vol. 450, pp. 89–92.
- Bondur V. G., Gordo K. A., Kladov V. L., Prostranstvenno-vremennye raspredeleniya ploshchadej prirodnyh pozharov i emissij uglerodsoderzhashchih gazov i aerorozlej na territorii severnoj Evrazii po dannym kosmicheskogo monitoringa (Spatial and temporal distributions of wildfire areas and carbon-bearing gas and aerosol emissions in North Eurasia based on satellite monitoring data), *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, No 6, pp. 3–20.
- Borchers-Arriagada N., Palmer A. J., Bowman D. M., Williamson G. J., Johnston F. H., Health impacts of ambient biomass smoke in Tasmania, Australia, *International journal of environmental research and public health*, 2020, Vol. 17, No 9, Article 3264.
- Bowd E. J., Banks S. C., Strong C. L., Lindenmayer D. B., Long-term impacts of wildfire and logging on forest soils, *Nature Geoscience*, 2019, Vol. 12, No 2, pp. 113–118.
- Bowman D. M. J. S., Balch J. K., Artaxo P., Bond W. J., Carlson J. M., ... & Pyne S. J., Fire in the Earth system, *Science*, 2009, Vol. 324, pp. 481–484.
- Bowman D. M. J. S., The impact of Aboriginal landscape burning on the Australian biota, *The New Phytologist*, 1998, Vol. 140, No 3, pp. 385–410.
- Brown J., York A., Christie F., McCarthy M., Effects of fire on pollinators and pollination, *Journal of Applied Ecology*, 2017, Vol. 54, No 1, pp. 313–322.
- Brown M. R. G., Agyapong V., Greenshaw A. J., Cribben I., Brett-MacLean P., Drolet J., McDonald-Harker C., Omeje J., Mankowski M., Noble S., Kitching D., After the Fort McMurray wildfire there are significant increases in mental health symptoms in grade 7–12 students compared to controls, *BMC psychiatry*, 2019, Vol. 19, No 1, pp. 1–11.
- Bryant R. A., Gibbs L., Gallagher H. C., Pattison P., Lusher D., MacDougall C., Harms L., Block K., Sinnott V., Ireton G., Richardson J., Longitudinal study of changing psychological outcomes following the Victorian Black Saturday bushfires, *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 2018, Vol. 52, No 6, pp. 542–551.
- Buckley T. N., Turnbull T. L., Pfautsch S., Adams M. A., Nocturnal water loss in mature subalpine Eucalyptus delegatensis tall open forests and adjacent *E. pauciflora* woodlands, *Ecology and Evolution*, 2011, No 1, pp. 435–450.
- Burles K., Boon S., Snowmelt energy balance in a burned forest plot, Crowsnest Pass, Alberta, Canada, *Hydrological processes*, 2011, Vol. 25, No 19, pp. 3012–3029.
- Butt E. W., Conibear L., Reddington C. L., Darbyshire E., Morgan W. T., Coe H., ... & Spracklen D. V., Large air quality and human health impacts due to Amazon Forest and vegetation fires, *Environmental Research Communications*, 2020, Vol. 2, No 9, Article 095001.
- Byrnes J., Lefcheck J. S., Gamfeldt L., Griffin J. N., Isbell F., Hector A., Multifunctionality does not imply that all functions are positively correlated, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, Vol. 111, No 51, P. e5490.

- Byzov B. A., *Zoomikrobnye vzaimodejstviya v pochve* (Zoomicrobial interactions in soil), Moscow: GEOS, 2005, 213 p.
- Cairney J. W. G. Bastias B. A., Influences of Fire on Forest Soil Fungal Communities, *Canadian Journal of Forest Research*, 2007, Vol. 37, pp. 207–215.
- Camia A., Liberta G., San-Miguel-Ayanz J., *Modeling the impacts of climate change on forest fire danger in Europe*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017, 22 p, DOI:10.2760/768481.
- Campbell J. L., Harmon M. E., Mitchell S. R., Can fuel-reduction treatments really increase forest carbon storage in the western US by reducing future fire emissions? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2012, Vol. 10, No 2, pp. 83–90.
- Campbell J. W., Hanula J. L., Waldrop T. A., Effects of prescribed fire and fire surrogates on floral visiting insects of the blue ridge province in North Carolina, *Biological Conservation*, 2007, Vol. 134, No 3, pp. 393–404.
- Carvalho A., Monteiro A., Flannigan M., Solman S., Miranda A. I., Borrego C., Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality, *Atmospheric Environment*, 2011, Vol. 45, No 31, pp. 5545–5553.
- Cascio W. E., Wildland fire smoke and human health, *Science of the total environment*, 2018, Vol. 624, pp. 586–595.
- Certini C., Effects of Fire on Properties of Forest Soils: A Review, *Oecologia*, 2005, Vol. 143, No 1, pp. 1–10.
- Certini G., Moya D., Lucas-Borja M. E., Mastrodonato G., The impact of fire on soil-dwelling biota: A review, *Forest Ecology and Management*, 2021, Vol. 488, Article 118989.
- Češljar G., Stevović S., Small reservoirs and their sustainable role in fires protection of forest resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, pp. 496–503.
- Chen J., Li C., Ristovski Z., Milic A., Gu Y., Islam M. S., ... & Dumka U. C., A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China, *Science of the Total Environment*, 2017, Vol. 579, pp. 1000–1034.
- Chibilev A. A., *Osnovy stepovedeniya* (Basics of steppe studies), Orenburg: Pechatnyj dom «Dimur», 1998, 120 p.
- Cibart A. S., Gennadiev A. N., Napravlennost' izmeneniya lesnyh pochv Priamur'ya pod vozdejstviem pirogennogo faktora (Trend of forest soils transformation under the influence of pyrogenic factor in the Amur River region), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 5, Geografiya*, 2009, No 3, pp. 66–74.
- Cleary D. F. R., Mooers A. O., Eichhorn K. A. O., van Tol J., de Jong R., Menken S. B. J., Diversity and community composition of butterflies and odonates in an ENSO-induced fire affected habitat mosaic: a case study from East Kalimantan, Indonesia, *Oikos*, 2004, Vol. 105, pp. 426–446.
- Coates T. A., Hagan D. L., Aust W. M., Johnson A., Keen J. C., Chow A. T., Dozier J. H., Mineral soil chemical properties as influenced by long-term use of prescribed fire with differing frequencies in a southeastern Coastal Plain pine forest, *Forests*, 2018, Vol. 9, No 12, Article 739.
- Collett N. G., Neumann F. G., Tolhurst K. G., Effects of two short rotation prescribed fires in spring on surface-active arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria, *Australian Forestry*, 1993, Vol. 56, No. 1, pp. 49–60.
- Collins B. M., Stephens S. L., Stand-replacing patches within a “mixed severity” fire regime: quantitative characterization using recent fires in a long-established natural fire area, *Landscape Ecology*. 2010, Vol. 25, pp. 927–939.
- Crutzen P., Heidt L., Krasnec J., Pollock W., Seiler W., Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, CH<sub>3</sub>Cl

- and COS, *Nature*, 1979, Vol. 282, No 5736, pp. 253–256.
- Cvetkov P. A., Vliyanie pozharov na nachal'nyj etap lesoobrazovaniya v srednetaezhnyh sosnyakah Sibiri (Influence of fires on the initial stage of forest formation in the middle taiga pine forests of Siberia), *Hvojnye boreal'noj zony*, 2013, Vol. 31, No 1-2, pp. 15–21.
- Dahlberg A., Schimmel J., Taylor A. F. S., Johannesson H., Post-fire Legacy of Ectomycorrhizal Fungal Communities in the Swedish Boreal Forest in Relation to fire Severity and Logging Intensity, 2001, Vol. 100, pp. 151–161.
- Darracq A. K., Boone IV W. W., McCleery R. A., Burn regime matters: a review of the effects of prescribed fire on vertebrates in the longleaf pine ecosystem, *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 378, pp. 214–221.
- Day N. J., Dunfield K. E., Johnstone J. F., Mack M. C., Turetsky M. R., Walker X. J., White A. L., Baltzer J. L., Wildfire severity reduces richness and alters composition of soil fungal communities in boreal forests of western Canada, *Global change biology*, 2019, Vol. 25, No. 7, pp. 2310–2324.
- Devyatova T. A., Gorbunova Yu. S., Grigor'evskaya A. Ya., *Sovremennaya evolyuciya pochv i flory lesostepi Russkoj ravniny posle lesnyh pozharov* (Modern evolution of soils and flora of the forest-steppe of the Russian Plain after forest fires), Voronezh: Nauchnaya kniga, 2014, 258 p.
- Diaci J., Razvojna dogajanja v gozdnem rezervatu Mozirska pozganija v cetrtm desetletju po pozaru (Developmental occurrences in the forest reserve of the Mozirje fire site in the fourth decade after fire), *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 1994, Vol. 45, pp. 5–54.
- Doamba S. W., Savadogo P., Nacro H. B., Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments, *Applied soil ecology*, 2014, Vol. 81, pp. 37–44.
- Doerr S. H., Shakesby R. A., MacDonald L. H., Soil water repellency: A key factor in post-fire erosion? [in:] *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies* (eds. A. Cerda, P. Robichaud) Science Publishers, 2009, pp. 213–240.
- Domanov T. A., Dinamika chislennosti i struktury mestoobitanij kabargi (*Moschus moschiferus* L., 1758) v Amurskoj oblasti pod vliyaniem lesnyh pozharov (Dynamics of the number and structure of habitats of musk deer (*Moschus moschiferus* L., 1758) in the Amur region under the influence of forest fires), *Ekologo-biologicheskoe blagopoluchie rastitel'nogo i zhivotnogo mira*, Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 2017, pp. 28–32.
- dos Santos, Alves-Correia M., Câmara M., Lélis M., Caldeira C., da Luz Brazão M., Nóbrega J. J., Multiple victims of carbon monoxide poisoning in the aftermath of a wildfire: a case series, *Acta medica portuguesa*, 2018, Vol. 31, No 3, pp. 146–151.
- Driscoll D. A., Armenteras D., Bennett A. F., Brotons L., Clarke M. F., ... & Wevill T., How fire interacts with habitat loss and fragmentation, *Biological Reviews*, 2021, Vol. 96, pp. 976–998.
- Duchesne L. C., Wetzel S., Effect of fire intensity and depth of burn on lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium*, and velvet leaf blueberry, *Vaccinium myrtilloides*, production in eastern Ontario, *The Canadian Field-Naturalist*, 2004, Vol. 118, No 2, pp. 195–200.
- Dymov A. A., Abakumov E. V., Bezkorovaynaya I. N., Prokushkin A. S., Kuzyakov Y. V., Milanovsky E. Y., Impact of forest fire on soil properties, *Theoretical and applied ecology*, 2018, No 4, pp. 13–23.
- Dymov A. A., Dubrovskij YU. A., Gabov D. N., Pirogennye izmeneniya podzolov illyuvial'no-zhelezistyh (srednyaya tajga,



- Respublika Komi) (Pyrogenic changes in iron-illuvial podzols in the middle taiga of the Komi Republic), *Pochvovedenie*, 2014, No 2, pp. 144–154.
- Dymov A. A., Gabov D. N., Dubrovskij YU. A., ZHangurov E. V., Nizovcev N. A., Vliyanie pozhara v severotaezhnom el'nike na organicheskoe veshchestvo pochv (Fire impact on soil organic matter in spruce stand in northern taiga), *Lesovedenie*, 2015a, No 1, pp. 52–62.
- Dymov A. A., Milanovskij E. Yu., Holodov V. A., Sostav i gidrofobnye svoystva organicheskogo veshchestva densimetricheskikh frakcij pochv Pripolyarnogo Urala (Composition and hydrophobic properties of organic matter in the densimetric fractions of soils from the Subpolar Urals), *Pochvovedenie*, 2015b, No 11, pp. 1335–1345.
- Ellett N. G., Pierce J. L., Glenn N. F., Partitioned by process: Measuring post-fire debris-flow and rill erosion with Structure from Motion photogrammetry, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2019, Vol. 44, No 15, pp. 3128–3146.
- Emelko M. B., Silins U., Bladon K. D., Stone M., Implications of land disturbance on drinking water treatability in a changing climate: Demonstrating the need for “source water supply and protection” strategies, *Water research*, Vol. 2011, Vol. 45, No 2, pp. 461–472.
- EMISS, Kolichestvo lesnyh pozharov (Number of forest fires), 2021a, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31580> (23.06.2021)
- EMISS, Kolichestvo lesnyh pozharov (Number of forest fires), 2021b, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/38496> (23.06.2021)
- EMISS, Ushcherb ot lesnyh pozharov (Bushfire damage), 2021c, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59269> (23.06.2021)
- Ershov D. V., Sochilova E. N., Kolichestvennyye ocenki pryamyh pirogennyh emissij ugleroda v lesah Rossii po dannym distancionnogo monitoringa 2020 goda (Assessment of direct pyrogenic carbon emissions in forests of Russia for 2020 according to remote monitoring data), *Voprosy lesnoj nauki*, 2020, Vol. 3, No 4, DOI:10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-8.
- Evstigneev O. I., Belyakov K. V., Vliyanie deyatel'nosti bobra na dinamiku rastitel'nosti malyh rek (na primere zapovednika “Bryanskij les”) (Influence of beaver activity on the dynamics of vegetation of small rivers (on the example of the “Bryansky forest”)) *Byulleten' MOIP. Otdel biologicheskij*, 1997, Vol. 102, Issue 6, pp. 34–41.
- Evstigneev O. I., Gornova M. V., Mikrosajty i podderzhanie floristicheskogo raznoobraziya vysokotravnyh el'nikov (na primere pamyatnika prirody «Boloto Ryzhuha», Bryanskaya oblast') (Microsites and maintenance of floristic diversity of tall-herb spruce forest (on the example of the Ryzhukha Swamp natural monument, Bryansk Region)), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2017, No 2, DOI: 10.21685/2500-0578-2017-2-2.
- Evstigneev O. I., Gornov A. V., Zapovednyy lug: itogi tridcatiletnego monitoringa (Reserve meadow: results of 30 years of monitoring), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2021, Vol. 6, No 2, DOI 10.21685/2500-0578-2021-2-2.
- Evstigneev O. I., Harlampieva M. V., Anishchenko L. N., Valezh i podderzhanie floristicheskogo raznoobraziya v el'nikah na nizinnom bolote (Deadwood and maintenance of the floristic diversity of spruce forests in the lowland bog), *Izuchenie i ohrana biologicheskogo raznoobraziya Bryanskoj oblasti, Materialy po vedeniyu Krasnoj knigi Bryanskoj oblasti*, Bryansk: Desyatochka, 2012, No 7, pp. 150–160.

- Evstigneev O. I., Korotkov V. N., Braslavskaya T. Yu., Kaban i ciklicheskie mikrosukcessii v travyanom pokrove shirokolistvennykh lesov (Wild boar and cyclic micro-successions in the grass cover of broad-leaved forests), [in:] *Biogeocenoticheskij pokrov Nerusso-Desnyanskogo poles'ya: mekhanizmy podderzhaniya biologicheskogo raznoobraziya* (Biogeocenotic cover of the Nerusso-Desnyanskogo polesia: mechanisms for maintaining biological diversity), Bryansk: Zapovednik «Bryanskij les», 1999, pp.131-142.
- Evstigneev O. I., Solonina O. V., Phytocoenotic portrait of the European Badger, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2020, Vol. 5, No 1, pp. 1–26.
- Fann N., Alman B., Broome R. A., Morgan G.G., Johnston F.H., Pouliot G., Rappold A. G., The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012, *Science of the Total Environment*, 2017, Vol. 610, pp. 802–809.
- Farber S. K., Vozdejstvie pozharov na lesa Vostochnoj Sibiri (Impact of fires on forests of eastern siberia), *Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo*, 2012, No 1, pp. 131–141.
- Fedorova P. N., Zedgenizova M. S., Fedoseeva L. N., Dinamika lesnykh pozharov i chislennost' promyslovykh zhivotnykh respubliki Saha (Yakutiya) (Dynamics of forest fires and the number of game animals in the Republic of Sakha (Yakutia)), Aktual'nye voprosy zoologii, ekologii i ohrany prirody. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Moscow, 2020, pp. 231–235.
- Finlay S. E., Moffat A., Gazzard R., Baker D., Murray V., Health impacts of wildfire, *PLoS currents*, 2012, Vol. 4, Article e4f959951cce2c
- Fisher J. T., Wilkinson L., The response of mammals to forest fire and timber harvest in the North American boreal forest, *Mammal Review*, 2005, Vol. 35, No 1, pp. 51–81.
- Flannigan M. D., Amiro B. D., Logan K. A., Stocks B. J., Wotton B. M., Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol. 11, pp. 847–859.
- Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M., Climate change and forest fires, *The Science of the Total Environment*, 2000, Vol. 262, pp. 221–229.
- Fowler C. T., Welch J. R., *Fire Otherwise: Ethnobiology of Burning for a Changing World*, 1 ed. University of Utah Press, 2018, 252 p.
- Fox B. J., McKay G. M., Small mammal responses to pyric successional changes in eucalypt forest, *Australian Journal of Ecology*, 1981, Vol. 6, No 1, pp. 29–41.
- Franco-Manchón I., Salo K., Oria-de-Rueda J. A., Bonet J. A., Martín-Pinto P., Are wildfires a threat to fungi in European pinus forests? A case study of boreal and mediterranean forests, *Forests*, 2019, Vol. 10, No 4, pp. 1–12.
- Fredriksson G. M., Danielsen L. S., Swenson J. E., Impacts of El Nino related drought and forest fires on sun bear fruit resources in lowland dipterocarp forest of East Borneo, *Biodiversity and Conservation*, 2007, Vol. 16, No 6, pp. 1823–1838.
- Garcia E., Carignan R., Mercury concentrations in fish from forest harvesting and fire-impacted Canadian boreal lakes compared using stable isotopes of nitrogen *Environ, Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 2005, Vol. 24, No 3, pp. 685–693.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J. M., Fleischer P., Ingemarsson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J. L., *Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts*. EFI, 2010.
- Gassibe P. V., Faber, R. F., Hernández-Rodríguez M., Oria-de-Rueda J. A., Oviedo

- F. B., Martín-Pinto P., Post-fire production of mushrooms in *Pinus pinaster* forests using classificatory models, *Journal of forest research*, 2014, Vol. 19, No 3, pp. 348–356.
- Geraskina A., Kuprin A., Functional diversity of earthworm communities in forests in the south of the Russian Far East, *Ecological Questions*, 2021, Vol. 32, No 2, pp. 81–91.
- Geras'kina A.P., Problemy kolichestvennoj ocenki i ucheta faunisticheskogo raznoobraziya dozhdevykh chervej v lesnykh soobshchestvakh (Problems of quantification and accounting faunal diversity of earthworms in forest communities), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, Vol. 2, No. 2, pp. 1–9.
- Gibbs L., Nursey J., Cook J., Ireton G., Alkemade N., Roberts M., Gallagher H. C., Bryant R., Block K., Molyneaux R., Forbes D., Delayed disaster impacts on academic performance of primary school children, *Child development*, 2019, Vol. 90, No 4., pp. 1402–1412.
- Gil-Tena A., Brotons L., Saura S., Mediterranean Forest dynamics and forest bird distribution changes in the late 20th century, *Global Change Biology*, 2009, Vol. 15, No 2, pp. 474–485.
- Gomes J. F. P., Forest fires in Portugal: how they happen and why they happen, *International Journal of Environmental Studies*, Vol. 63, No. 2, P. 109–119.
- Goncharov A. A., Struktura troficheskikh nish v soobshchestvakh pochvennykh bespozvochnykh (mezofauna) lesnykh ekosistem (The structure of trophic niches in communities of soil invertebrates (mesofauna) of forest ecosystems), *Diss. kand. biol. nauk*, Moscow: IPEE RAN im. Severtsova A. N., 2014, 177 p.
- Gongal'skij K. B., *Lesnye pozhary i pochvennaya fauna* (Forest fires and soil fauna), Moscow: KMK, 2014, 169 c.
- Gongal'skij K. B., Lesnye pozhary kak faktor formirovaniya soobshchestv pochvennykh zhivotnykh (Forest fires as a factor of formation of soil animal communities), *Zhurnal obshchej biologii*, 2006, Vol. 67, No 2, pp. 127–138.
- Gongalsky K. B., Malmström A., Zaitsev A. S., Shakhb S. V., Bengtsson J., Persson T., Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape, *Applied Soil Ecology*, 2012, Vol. 59, P. 73–86.
- Gongalsky K. B., Zaitsev A. S., Korobushkin D. I., Saifutdinov R. A., Butenko K. O., de Vries F. T., ... & Bardgett R. D., Forest fire induces short-term shifts in soil food webs with consequences for carbon cycling, *Ecology Letters*, 2021, Vol. 24, No 3, pp. 438–450.
- Gorbunova Yu. S., Devyatova T. A., Grigor'evskaya A. Ya., Vliyanie pozharov na pochvennyj i rastitel'nyj pokrov lesov centra Russkoj ravniny (Influence fires on the soil and vegetable cover of the woods of the center of east European plain), *Vestnik VGU, Seriya: himiya, biologiya, farmaciya*, 2014, No 4, pp. 52–56.
- Gornov A. V., Ruchinskaya E. V., Evstigneev O. I., Panasenkov N. N., *Pamyatnik prirody «Melovickie sklony»: struktura i dinamika rastitel'nogo pokrova* (Natural monument «Melovitsky slopes»: structure and dynamics of vegetation cover), Moscow: Izdatel'stvo «Cifrovichok», 2020, 126 p.
- Gorshkov V. V., Poslepozharное восстановление сосновых лесов Европейского Севера (Post-fire restoration of pine forests in the European North), *Avtoref. dis...dokt. biol. nauk*, St. Petersburg, 2001, 35 p.
- Gorshkov V. V., Stavrova N. I., Bakkal I. Yu., Dinamika vosstanovleniya lesnoj podstilki v boreal'nykh sosnovykh lesakh после пожаров (Post-fire restoration of forest litter in boreal pine forests), *Lesovedenie*, 2005, No 3, pp. 37–45.
- Goryainova I. N., Leonova N. B., Dinamika vtorichnykh лесов средней тайги Архангельской области (Dynamics of secondary forests in the middle taiga of the Arkhangelsk oblast),

- Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 5: Geografiya*, 2008, No 6, pp. 60–65.
- Gough C. M., Vogel C. S., Harrold K. H., George K., Curtis P. S., The legacy of harvest and fire on ecosystem carbon storage in a north temperate forest, *Global change biology*, 2007, Vol. 13, No 9, pp. 1935–1949.
- Goulden M. L., McMillan A. M. S., Winston G. C., Rocha A. V., Manies K. L., Harden J. W., Bond-Lamberty B. P., Patterns of NPP, GPP, respiration, and NEP during boreal forest succession, *Global Change Biology*, 2011, Vol. 17, No 2, pp. 855–871.
- Goulson D., Nicholls E., Botías C., Rotheray E. L., Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers, *Science*, 2015, Vol. 347, Article 6229.
- Gower S. T., McMurtrie R. E., Murty D., Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes, *Trends in Ecology & Evolution*, 1996, Vol. 11, No 9, pp. 378–382.
- Gowlett J. A. J., The early settlement of northern Europe: fire history in the context of climate change and the social brain, *Comptes Rendus Palevol*, 2006, Vol. 5, No. 1-2, pp. 299–310.
- Green K., Sanecki G., Immediate and short-term responses of bird and mammal assemblages to a subalpine wildfire in the Snowy Mountains, Australia, *Austral Ecology*, 2006, Vol. 31, pp. 673–681.
- Grishin A. M., *Matematicheskoe modelirovanie lesnyh pozharov* (Mathematical modeling of forest fires), Tomsk, 1981, 280 p.
- Gyninova A. B., Ubugunov L. L., Kulikov A. I., Gyninova B. D., Gonchikov B. N., Badmaev N. B., Sympilova D. P., Poslepozharnaya evolyuciya lesnyh ekosistem na peschanyh terrasah Yugo-Vostochnogo Pribajkal'ya (Post-fire evolution of forest ecosystems on sandy terraces in the South-Eastern Baikal region), *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2020, No 1, pp. 13–25.
- Hanula J. L., Horn S., O'Brien J. J., Have changing forests conditions contributed to pollinator decline in the southeastern United States? *Forest Ecology and Management*, 2015, Vol. 348, pp. 142–152.
- Harper A. R., Doerr S. H., Santin C., Froyd C. A., Sinnadurai P., Prescribed fire and its impacts on ecosystem services in the UK, *Science of The Total Environment*, 2018, Vol. 624, pp. 691–703.
- Harvey H. T., Howard S. S., Stecker R. E., Giant sequoia ecology: fire and reproduction US Department of the Interior, National Park Service, 1980, 182 p.
- Harvey H. T., Shellhammer H. S., Survivorship and growth of giant sequoia (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchh.) seedlings after fire, *Madroño*, 1991, Vol. 38, No 1, pp. 14–20.
- He T., Lamont B. B., Pausas J. G., Fire as a key driver of Earth's biodiversity, *Biological Reviews*, 2019, Vol. 94, No. 6, pp. 1983–2010.
- Hector A., Bagchi R., Biodiversity and ecosystem multifunctionality, *Nature*, 2007, Vol. 448, No 7150, pp. 188–190.
- Hessburg P. F., Spies T. A., Perry D. A., Skinner C. N., Taylor A. H., Brown P. M., Stephens S. L., Larson A. J., Churchill D. J., Povak N. A., Tamm review: management of mixed-severity fire regime forests in Oregon, Washington, and Northern California, *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 366, pp. 221–250.
- Hodzic A., Madronich S., Bohn B., Massie S., Menut L., Wiedinmyer C., Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, Vol. 7, No 15, pp. 4043–4064.
- Hood S., Sala A., Heyerdahl E. K., Boutin M., Low-severity fire increases tree defense

- against bark beetle attacks, *Ecology*, Vol. 96, Issue 7, pp. 1846–1855.
- Howard E. A., Gower S. T., Foley J. A., Kucharik C. J., Effects of logging on carbon dynamics of a jack pine forest in Saskatchewan, Canada, *Global Change Biology*, 2004, Vol. 10, No 8, pp. 1267–1284.
- Huffman E. L., MacDonald L. H., Stednick J. D., Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado front range, *Hydrological Processes*, 2001. Vol. 15, No. 15, P. 2877–2892.
- Hurteau M., North M., Fuel treatment effects on tree-based forest carbon storage and emissions under modeled wildfire scenarios, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, Vol. 7, No. 8, pp. 409–414.
- Hutchinson T. F., Boerner R. E. J., Sutherland S., Sutherland E. K., Ortt M., Iverson L. R., Prescribed fire effects on the herbaceous layer of mixed-oak forests, *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, Vol. 35, pp. 877–890.
- Il'ina N. S., Problemy racional'nogo ispol'zovaniya stepnyh ekosistem Samarskoj oblasti (Problems of rational use of steppe ecosystems of the Samara region), *Kraevedcheskie zapiski*, No. 11, Samara, 2003, pp. 178–181.
- Il'ina V. N., Pirogennoe vozdejstvie na rastitel'nyj pokrov (Pyrogenic effect on vegetation), *Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*, 2011, Vol. 20, No 2, pp. 4–30.
- Isaenko V. G., Platonov A. D., Snegireva S. N., Vodopogloshchenie drevesiny zaboloni sosny, povrezhdyonnoj pozharom (Water absorption of fire-damaged pine sapwood), *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika*, 2016, Vol. 4, No 5-2, pp. 278–282.
- Isaev A. S., Korovin G. N., Suhih V. I., Titov S. P., Utkin A. I., Golub A. A., Zamolodchikov D. G., Pryazhnikov A. A., *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii. Analiticheskij obzor* (Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia. Analytical overview), Moscow: Centr ekologicheskoy politiki Rossii, 1995, 155 p.
- Isaev A. S., Korovin G.N., Bartalev S. A., Ershov D. V., Janetos A., Kasishke E. S., Shugart H. H., French N.H. F., Orlick B. E., Murphy T. L., Using Remote Sensing to Assess Russian Forest Fire Carbon Emissions, *Climatic Change*, 2002, Vol. 55, pp. 235–249.
- Ivanova G. A., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Konard S. G., Zhila S. V., Tarasov P. A., Sukcessiya rastitel'nosti posle vysokointensivnogo pozhara v sosnyake lishajnikovom (Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichens), *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2017, Vol. 24, No 1, pp. 61–71.
- Ivanova G. A., Perevoznikova V. D., Poslepozharное formirovanie zhivogo napochvennogo pokrova v sosnyakah Srednego Priangar'ya (Post-fire formation of living ground cover in pine forests of the Middle Angara region), *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 1996, No 1, pp. 109–116.
- Ivanova G. A., Zhila S. V., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Kukavskaya E. A., Postpirogennaya transformaciya osnovnyh komponentov sosnyakov srednej Sibiri (Post-fire transformation of basic components of pine forests in central Siberia), *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2018, No 3, pp. 30–41, DOI 10.15372/SJFS20180304.
- Jacobsen R.M., Burner R.C., Olsen S.L., Skarpaas O., Sverdrup-Thygeson A., Near-natural forests harbor richer saproxylic beetle communities than those in intensively managed forests, *Forest Ecology and Management*, 2020, Vol. 466, pp. 118–124.

- Johnston M., Woodard P., The effect of fire severity level on postfire recovery of hazel and raspberry in east-central Alberta, *Canadian Journal of Botany*, 1985, Vol. 63, No 4, pp. 672–677.
- Joshi A., Holankar S., Gajbhiye P., Impact analysis of forest fires in tiger habitat using geospatial technology, *16 th Esri India User Conference*, 2015, pp. 1–12.
- Karnel' B. A., Zabelin O. F., Vliyanie lesnogo pozhara na vylet semyan u listvennicy daurskoj (Influence of a forest fire on seed emergence in Daurian larch), *Gorenie i pozhary v lesu*, Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR, 1978, p. 178.
- Kashian D. M., Romme W. H., Tinker D. B., Turner M. G., Ryan M. G., Postfire changes in forest carbon storage over a 300-year chronosequence of Pinus contorta-dominated forests, *Ecological Monographs*, 2013, Vol. 83, No. 1, pp. 49–66.
- Kasischke E. S., Bruhwiler L. P., Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998, *Journal of geophysical research*, 2003, Vol. 108, No D1, P. FFR2.1-FFR2.14
- Kawahigashi M., Prokushkin A., Sumida H., Effect of fire on solute release from organic horizons under larch forest in Central Siberian permafrost terrain, *Geoderma*, 2011, Vol. 166, No 1, pp. 171–180.
- Keeley J. E., Fotheringham C. J., Role of fire in regeneration from seed [in:] *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2000, Vol. 2, pp. 311–330.
- Kelly L. T., Brotons L., Using fire to promote biodiversity, *Science*, 2017, Vol. 355, No. 6331, pp. 1264–1265.
- Khanina L., Bobrovsky M., Value of large Quercus robur fallen logs in enhancing the species diversity of vascular plants in an old-growth mesic broad-leaved forest in the Central Russian Upland, *Forest Ecology and Management*, 2021, Vol. 491, Article 119172.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Dvinskaya M. L., Coogan S. C., Flannigan M. D., *Wildfires in the Siberian taiga*, Ambio, 2021, pp. 1–22.
- Kirdyanov A. V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova O. V., Fonti M.V., Büntgen U., Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia, *Environmental Research Letters*, 2020, Vol. 15, No 3, Article 034061.
- Kochunova N. A. Ispol'zovanie derevo-razrushayushchih gribov klassa Basidiomycetes v netradicionnoj medicine (Amurskaya oblast') (The application of wood-destroying fungi of basidiomycetes class in alternative medicine (the Amur region)), *Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya*, 2014, No 51, pp. 112–117.
- Kodandapani N., Cochrane M.A., Sukumar R., A comparative analysis of spatial, temporal, and ecological characteristics of forest fires in seasonally dry tropical ecosystems in the Western Ghats, India, *Forest Ecology and Management*, 2008, Vol. 256, pp. 607–617.
- Kogler C., Rauch P., A discrete-event simulation model to test multimodal strategies for a greener and more resilient wood supply, *Canadian Journal of Forest Research*, 2019, Vol. 49, No. 10, pp. 1173–1328.
- Kirkland G. L., Snoddy H. W., Amsler T. L., Impact of fire on small mammals and amphibians in a central Appalachian deciduous forest, *The American Midland Naturalist*, 1996, Vol. 135, pp. 253–260.
- Konev E. V., *Fizicheskie osnovy goreniya rastitel'nyh materialov* (Physical bases of combustion of plant materials), Novosibirsk: Nauka, 1977, 239 c.
- Korotkov V. N., Osnovnye koncepcii i metody vosstanovleniya prirodnyh lesov Vostochnoj Evropy (Basic concepts and methods of restoration of natural forests in Eastern Europe), *Russian Journal of Ecosystem*

- Ecology*, 2017, Vol. 2, No. 1, DOI:10.21685/2500-0578-2017-1-1.
- Korotkov V. N., Vosstanovlenie prirodnih raznovozrastnyh lesov (Restoration of natural forests of different ages) *Sovremennye koncepcii ekologii biosistem i ih rol' v reshenii problem sohraneniya prirody i prirodopol'zovaniya*, 2016, pp. 373-376.
- Korovin G. N., Isaev A. S., Ohrana lesov ot pozharov kak vazhnejshij element nacional'noj bezopasnosti Rossii (Protection of forests from fires as the most important element of the national security of Russia), *Zashchita naseleniya i territorij pri chrezvychajnyh situacijah v mirnoe i voennoe vremya kak sostavnaya chast' nacional'noj bezopasnosti Rossii* (Protection of the population and territories in emergency situations in peacetime and wartime as an integral part of the national security of Russia), 1997, pp. 91-95.
- Kovaleva N. M., Zhila S. V., Ivanova G. A., Formirovanie zhivogo napochvennogo pokrova na nachal'noj stadii pirogennoj sukcesii v sosnyakah Nizhnego Priangar'ya (Formation of a living ground cover at the initial stage of pyrogenic succession in pine forests of the Lower Angara region), *Hvojnye boreal'noj zony*, 2012, Vol. 30, No 3-4, pp. 265-269.
- Krasnoshchekova E. N., Kosov I. V., Ivanova G. A., Vozdejstvie vysokih temperatur na mikroartropod pochv pri pozharah v listvennichnikah Nizhnego Priangar'ya (The impact of high temperatures on soil microarthropods during fires in larch forests of the Lower Angara region), *Hvojnye boreal'noj zony*, 2008, Vol. 25, No 3-4, pp. 250-256.
- Krejndlin M. L., *Kak ocenit' ushcherb ot pozharov? Na primere sobolya*, 2019, URL: <https://greenpeace.ru/expert-opinions/2019/08/02/kak-ocenit-ushherb-ot-pozharov-na-primere-sobolja/> (06.07.21).
- Krugova T. M., Pirogennaya transformaciya naseleniya murav'ev lugov-zalezhej i redkostojnyh listvennichnyh lesov v Tigirekskom zapovednike (Pyrogenic transformation of the population of ants in fallow meadows and sparse larch forests in the Tigirek reserve), *Trudy Tigirekskogo zapovednika*, 2010, No 3, p. 22-29.
- Kryukova M. V., Sostoyanie redkih i ischezayushchih vidov rastenij Nizhnego Priamur'ya v svyazi s katastroficheskimi pozharami (State of rare and endangered plants' species of Lower Priamurie related to catastrophic fires), *Problemy regional'noj ekologii*, 2009, No 4, pp. 173-177.
- Kuczera G., Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalypt forest, *Journal of Hydrology*, 1987, Vol. 94, No. 3-4, pp. 215-236.
- Kuleshova L. V., Korotkov V. N., Potapova N. A., Evstigneev O. I., Kozlenko A. B., Rusanova O. M., Kompleksnyj analiz poslepozharnyh sukcesij v lesah Kostomukshskogo zapovednika (Kareliya) (Complex analysis of postfire successions in forests of Kostomuksha state nature reserve), *Byullyuten' Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody, Otdelenie Biologiya*, 1996, Vol. 101, Iss. 4, pp. 3-15.
- Kurbatskij N. P., Issledovaniya kolichestva i svojstv lesnyh goryuchih materialov (Studies of the amount and properties of forest combustible materials), *Voprosy lesnoj pirologii*, Krasnoyarsk, 1972, pp. 5-59.
- Kur'yanova T. K., Platonov A. D., Kosichenko N. E., Snegireva S. N., Chebotarev V. V., Makarov A. V., Vliyanie vida pozhara na strukturu i kachestvo drevesiny sosny (Effects of fire on the structure and quality of pine wood), *Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, No 74, pp. 1-14.

- Landguth E. L., Holden Z. A., Graham J., Stark B., Mokhtari E. B., Kaleczyc E. Anderson S., Urbanski S., Jolly M., Semmens E. O., Warren D. A., The delayed effect of wildfire season particulate matter on subsequent influenza season in a mountain west region of the USA, *Environment international*, 2020, Vol. 139, Article 105668.
- Lane P. N. J., Feikema P. M. Modelling the long term water yield impact of wildfire and other forest disturbance in Eucalypt forests, *Environmental Modelling & Software*, 2010, Vol. 25, pp. 467–478.
- Lamont B. B., He T., Yan Z., Evolutionary history of fire-stimulated resprouting, flowering, seed release and germination, *Biological Reviews*, 2019, Vol. 94, No 3, pp. 903–928.
- Larson A. J., Cansler C. A., Cowdery S. G., Hiebert S., Furniss T. J., Swanson M. E., Lutz J. A., Post-fire morel (*Morchella*) mushroom abundance, spatial structure, and harvest sustainability, *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 377, pp. 16–25.
- Latty E. F., Canham C. D., Marks P. L. The effects of land-use history on soil properties and nutrient dynamics in northern hardwood forests of the Adirondack Mountains, *Ecosystems*, 2004, Vol. 7, No 2, pp. 193–207.
- Lazarina M., Devalez J., Neokosmidis L., Sgardelis S. P., Kallimanis A. S., Tscheulin T., Tsalkatis P., Kourtidou M., Mizerakis V., Nakas G., Palaiologou P., Moderate fire severity is best for the diversity of most of the pollinator guilds in Mediterranean pine forests, *Ecology*, 2019, Vol. 100, No 3, P. e02615.
- Leak M. Passuello R. Tyler B., I've seen fire. I've seen rain. I've seen muddy waters that I thought would never clear again, *WaterWorks*, 2003, No 6, pp. 38–44.
- Lee C., Schlemme C., Murray J., Unsworth R., The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires, *Ecological Economics*, 2015, Vol. 116, pp. 261–269.
- Letnic M., Tamayo B., Dickman C. R. The responses of mammals to La Niña (ENSO)-associated rainfall, predation and wildfire in arid Australia, *Journal of Mammalogy*, 2005, Vol. 86, pp. 689–703.
- Lesnoj forum Grinpis, *Pozhary na prirodnyh territoriyah* (Fires in natural areas), URL: <http://www.forestforum.ru/fires.php> (23.07.2021).
- Levchenko K. V., O vliyanii lesnyh pozharov na bioraznoobrazie gornyh lesov Krymskogo zapovednika (On the influence of forest fires on the biodiversity of mountain forests of the Crimean reserve), *Aktual'nye problemy botaniki i ohrany prirody: Sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora G.F. Morozova*, Simferopol: «Ariol», 2017, pp. 234–238.
- Lipatnikov E. P., Vin'kovskaya O. P., Vliyanie pozharov na chislennost' kabana (*Sus scrofa sibiricus* L., 1758) na territorii Petrovsk-Zabajkal'skogo lesnichestva (Zabajkal'skij kraj) (Influence of forest fires on quantity of wild pigs (*Sus scrofa*) on the territory of Petrovsk-Zabaikalskiy forestry (Zabaikalskiy region)), *Bajkal'skij zoologicheskij zhurnal*, 2012, No 1 (9), pp. 83–89.
- Liu J., Drummond J. R., Li Q., Gille J. C., Ziskin D. C., Satellite mapping of CO emission from forest fires in Northwest America using MOPITT measurements, *Remote Sensing of Environment*, 2005, Vol. 95, pp. 502–516.
- Ludwig S. M., Alexander H. D., Kielland K., Mann P. J., Natali S. M., Ruess R.W. Fire severity effects on soil carbon and nutrients and microbial processes in a Siberian larch forest, *Global change biology*, 2018, Vol. 24, No 12, pp. 5841–5852.
- Lukina N. V. Geras'kina A. P., Gornov A.V., Shevchenko N. E., Kuprin A. V., Chernov T. I., Chumachenko S. I., Shanin V. N., Kuznecova A. I., Teben'kova D. N., Gornova M. V., Bioraznoobrazie i klimatore-



- guliruyushchie funkcii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy (Biodiversity and climate regulating functions of forests: current issues and prospects for research) *Voprosy lesnoj nauki*, 2020, Vol. 3, No 4, pp. 1–90, DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.
- Lukina N. V., Geraskina A. P., Gornov A. V., Shevchenko N. E., Kuprin A. V., Chernov T. I., Chumachenko S. I., Shanin V. N., Kuznetsova A. I., Tebenkova D. N., Gornova M. V., Biodiversity and climate-regulating functions of forests: current issues and research prospects, *Forest science issues*, 2021, Vol. 4, No. 1, pp. 1–60.
- Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A., *Pitatel'nyj rezhim pochv severotaezhnyh lesov* (Nutrient regime of soils of northern taiga forests), Moscow: Nauka, 2008, 342 p.
- Lupyan E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V., Egorov V. A., Ershov D. V., Kobec D. A., Sen'ko K. S., Stycenko F. V., Sychugov I. G., Sputnikovyy monitoring lesnyh pozharov v 21 veke na territorii Rossijskoj Federacii (cifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo gorenija) (Satellite monitoring of forest fires in the 21st century on the territory of the Russian Federation (figures and facts provided by the detection of active combustion)), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No 6, pp. 158–175.
- Lust N., Geudens G., Nachtergale L. Aspects of biodiversity of Scots pine forests in Europe, *Silva Gandavensis*, 2001, Vol. 66, pp. 16–39.
- Lyon J. P., O'Connor J. P., Smoke on the water: Can riverine fish populations recover following a catastrophic fire-related sediment slug? *Austral. Ecology*, 2008, Vol. 33, No. 6, pp. 794–806.
- MacDonald K., Scherjon F., van Veen E., Vaesen K., Roebroeks W., Middle Pleistocene fire use: The first signal of widespread cultural diffusion in human evolution, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021, Vol. 118, No 31, Article e2101108118.
- Makarov V. P., Malyh O. F., Gorbunov I. V., Pak L. N., ZHelibo T. V., Banshchikova E. A., Sostoyanie i estestvennoe vozobnovlenie sosnovykh lesov posle pozharov v prigorodnoj zone Chity (Status and natural regeneration of pine forests after fires in the suburban area of the city of Chita), *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2016, No 10, pp. 79–83.
- Makarov V. P., Malyh O. F., Gorbunov I. V., Pak L. N., Zima YU. V., Banshchikova E. A., ZHelibo T. V., *Vliyanie pozharov na floristicheskoe raznoobrazie sosnovykh lesov Vostochnogo Zabajkal'ya* (Influence of fires on pine forest floristic diversity of the Eastern Transbaikalian territory), *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij, Lesnoj zhurnal*, 2019, No 1, pp. 77–86.
- Maksimova E. Yu., Kudinova A. G., Abakumov E. V., Funkcional'naya aktivnost' pochvennykh mikrobnnykh soobshchestv postpirogennykh ostrovnykh sosnovykh lesov g. Tol'yatti Samarskoj oblasti (Functional activity of soil microbial communities in post-fire pine stands of Tolyatti, Samara oblast) *Pochvovedenie*, 2017, No 2, pp. 249–255.
- Malmström A., Persson T., Ahlström K., Gongalsky K. B., Bengtsson J., Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest, *Appl. Soil Ecol.*, 2009, Vol. 43, pp. 61–74.
- Manning P., Plas F., Soliveres S., Allan E., Maestre F. T., Mace G., Whittingham M. J., Fischer M., Redefining ecosystem multifunctionality, *Nature ecology & evolution*, 2018, Vol. 2, No. 3. 427 p.
- Marks-Block T., Lake F. K., Curran L. M., Effects of understory fire management treatments on California Hazelnut, an ecocultural resource of the Karuk and Yurok Indians in the Pacific Northwest, *Forest*

- Ecology and Management*, 2019, Vol. 450, Article 117517.
- Mataix-Solera J., Guerrero C., García-Orenes F., Bárcenas G. M., Torres M. P., Forest fire effects on soil microbiology, [in:] *Fire effects on soils and restoration strategies*, CRC Press, 2009, pp. 149–192.
- Matveeva T. A., Vliyanie pozharov raznoj sily na vozobnovlenie listvennicy sibirskoj (Influence of fires of different strength on the renewal of Siberian larch), *Racional'noe prirodopol'zovanie-osnova ustojchivogo razvitiya: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*, Grozny: Alef, 2020, pp. 302–307.
- Maxwell J. D., Call A., Clair S. B. S., Wildfire and topography impacts on snow accumulation and retention in montane forests, *Forest ecology and management*, 2019, Vol. 432, pp. 256–263.
- McFarlane A. C., Van Hooff M., Impact of childhood exposure to a natural disaster on adult mental health: 20-year longitudinal follow-up study, *The British Journal of Psychiatry*, 2009, Vol. 195, No 2, pp. 142–148.
- McLauchlan K. K., Higuera P. E., Miesel J., Rogers B. M., Schweitzer J., Shuman J. K., ... & Watts A. C., Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers, *Journal of Ecology*, 2020, Vol. 108, No 5, pp. 2047–2069.
- Medvedeva M. V., Bahmet, O. N., Anan'ev, V. A., Moshnikov, S. A., Mamaj, A. V., Moshkina, E. V., Timofeeva V. V., Izmenenie biologicheskoy aktivnosti pochv v hvoynyh nasazhdeniyah posle pozhara v srednej tajge Karelii (Changes in soil' biological activity in a coniferous forest stand after a forest fire in the republic of Karelia), *Lesovedenie*, 2020, No 6, pp. 560–574.
- Meigs G. W., Donato D. C., Campbell J. L., Martin J. G., Law B. E. Forest fire impacts on carbon uptake, storage, and emission: the role of burn severity in the Eastern Cascades, Oregon // *Ecosystems*. 2009. Vol. 12. No. 8. P. 1246–1267.
- Melekhov I. S., *Vliyanie pozharov na les* (The impact of fires on the forest), Moscow, Leningrad: Gosudarstvennoe lesotekhnicheskoe izdatel'stvo, 1948, 126 p.
- Merzdorf J., *Boreal Forest Fires Could Release Deep Soil Carbon*, 2019, URL: <https://climate.nasa.gov/news/2905/boreal-forest-fires-could-release-deep-soil-carbon/> (дата обращения 14.07.2021).
- Metodicheskie rekomendacii po vosproizvodstvu raznovozrastnykh shirokolistvennykh lesov evropejskoj chasti SSSR (na osnove populyacionnogo analiza)* (Methodological recommendations for the reproduction of broad-leaved forests of different ages in the European part of the USSR (based on population analysis)), Moscow: VASKHNIL, 1989, 19 p.
- Mikkelsen K. M., Dickenson E. R. V., Maxwell R. M., McCray J. E., Sharp J. O., Water-quality impacts from climate-induced forest die-off, *Nature Climate Change*, 2013, No 3, pp. 218–222.
- Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. 2005, URL: <http://www.millenniumassessment.org/en/Reports.aspx#> (дата обращения 05.07.2021).
- Miller J. E. D., Safford H. D., Are plant community responses to wildfire contingent upon historical disturbance regimes? *Global Ecology and Biogeography*, 2020, Vol. 29, No 10, pp. 1621–1633.
- Miller R. F., Chambers J. C., Pyke D. A., Pierson F. B., Williams C. J., A review of fire effects on vegetation and soils in the Great Basin region: Response and site characteristics, *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-308*, Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2013, 126 p.
- Miller R. G., Tangney R., Enright N. J., Fontaine J. B., Merritt D. J., Ooi M. K. J.,

- Ruthrof K. X., Miller B. P., Mechanisms of Fire Seasonality Effects on Plant Populations, *Trends in Ecology & Evolution*, 2019, Vol. 34, Issue 12, pp. 1104–1117.
- Min Z., Haiqing H., The effect of forest fire on microorganism in soil, *Journal of Northeast Forestry University*, 2002, Vol. 30, No. 4, pp. 44–46.
- Miranda A. I., An integrated numerical system to estimate air quality effects of forest fires, *International Journal of Wildland Fire*, 2004, Vol. 13, pp. 217–226.
- Mola J. M., Williams N. M., Fire-induced change in floral abundance, density, and phenology benefits bumble bee foragers, *Ecosphere*, 2018, Vol. 9. No 1, P. e02056.
- Molchanov A. A., Vliyanie lesnyh pozharov na drevostoi (Impact of forest fires on forest stands), Moscow: AN SSSR, 1954, pp. 314–335.
- Molina J. R., González-Cabán A., Rodríguez S. F., Potential Effects of Climate Change on Fire Behavior, Economic Susceptibility and Suppression Costs in Mediterranean Ecosystems: Córdoba Province, Spain, *Forests*, 2019, Vol. 10, No 8, Article 679.
- Monitoring soobshchestv na garyah i upravlenie pozharami v zapovednikah (Monitoring of communities in burnt areas and management of fires in reserves), Moscow, 2002, 276 p.
- Moody J. A. Martin D. A., Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range Earth Surf, *Processes Landforms*, 2001a, Vol. 26, No 10, pp. 1049–1070.
- Moody J. A., Martin D. A., Post-fire rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA, *Hydrological processes*, 2001b, Vol. 15, No 15, 2981–2993.
- Mordkovich V. G., Berezina O. G., Vliyanie pozhara na naselenie pedobiontov berezovo-osinovogo kolka yuzhnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri (Effect of fire on the pedobiont communities of a birch-aspen grove in the southern forest-steppe of west Siberia), *Evrazijskij entomologicheskij zhurnal*, 2009, Vol. 8, pp. 279–283.
- Moretti M., Duelli P., Obrist M., Biodiversity and resilience of arthropod communities after fire disturbance in temperate forests, *Oecologia*, 2006, Vol. 149, pp. 312–327.
- Moritz M. A., Batllori E., Bradstock R. A., Gill A. M., Handmer J., Hessburg P. F., ... & Syphard A. D., Learning to coexist with wildfire, *Nature*, 2014, Vol. 515, No 7525, P. 58–66.
- Nadporozhskaya M. A., Pavlov B. A., Mirin D. M., Yakkonen K. L., Sedova A. M., Vliyanie lesnyh pozharov na formirovanie profilya podzolov (The influence of forest fires on the formation of the profile of podzols), *Biosfera*, 2020, Vol. 12, No 1-2, pp. 32–43.
- National Research Council, *Hydrologic effects of a changing forest landscape*, National Academies Press, 2008, 180 p.
- Naumov P. P., Prichiny istoricheskogo dinamizma areala i chislennosti sobolya v Rossii (Reasons for the historical dynamism of the range and abundance of sable in Russia), *Sbornik materialov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Gumanitarnye aspekty ohoty i ohotnich'ego hozyajstva»* (Irkutsk, 4–7 aprelya 2014), Irkutsk: Irkutskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2014, pp. 14–24.
- Naumova N. B., Biomassa i aktivnost' pochvennyh mikroorganizmov posle nizovogo pozhara v sosnovom lesu (Biomass and activity of soil microorganisms after a surface fire in a pine forest), *Pochvovedenie*, 2008, Vol. 8, pp. 984–987.
- Neary D. G., Gottfried G. J., Ffolliott P. F., In Post-Wildfire Watershed Flood Responses, *2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress and 5th Symposium on Fire Forest Meteorology*, Orlando, FL, November 16–

- 20, 2003, American Meteorological Society: Boston, MA, 2003, p. 7.
- Nesgovorova N. P., Savel'ev V. G., Ivleva I. V., Evseev V. V., *Dinamika vosstanovleniya lesnyh biogeocенозов после verhovyyh pozharov: regional'nyy aspekt* (Dynamics of recovery after forest ecosystems crown fires: regional aspect), *Vestnik KGU*, 2015, No 4, pp. 68–76.
- Neshataev V. Yu., *Antropogennaya dinamika tayozhnoj rastitel'nosti Evropejskoj Rossii* (Anthropogenic dynamics of taiga vegetation in European Russia), Diss...dokt. biol. nauk, St. Petersburg, 2017, 312 p.
- Neumann F. G., Tolhurst K., Effects of fuel reduction burning on epigeal arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria, *Australian Journal of Ecology*, 1991, Vol. 16, No 3, pp. 315–330.
- Nyman P., Smith H. G., Sherwin C. B., Langhans C., Lane P. N., Sheridan G. J., Predicting sediment delivery from debris flows after wildfire, *Geomorphology*, 2015, Vol. 250, pp. 173–186.
- Odum E. P., The strategy of ecosystem development, *The ecological design and planning reader*, Island Press, Washington, DC, 2014, pp. 203–216.
- Orlova M. A., *Elementarnaya edinica lesnogo biogeocенотического покрова dlya ocenki ekosistemnyh funkciy lesov* (Elementary unit of the forest biogeocеноtic cover for investigation of forest ecosystem functions), *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra. Seriya Ekologicheskie issledovaniya*, 2013, No 6, pp. 126–132.
- Ostroshenko V. V., *Vozdejstvie lesnyh pozharov na nedrevesnye resursy lesnyh ekosistem Prihot'ya* (Affecting of forest fires unarboreal resources of forest ecosystems of Prihotye), *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2012, No 33, pp. 99–104.
- Paletto A., Ferretti F., De Meo I., Cantiani P., Focacci M., Ecological and environmental role of deadwood in managed and unmanaged forests [in:] *Sustainable Forest Management — Current Research* (eds. G. M. Garcia, J. D. Casero), 2012, pp. 219–238.
- Panin I. A., Zalesov S. V., *Vosstanovlenie resursov dikorastushchih yagodnikov v postpirogennyh biogeocенозах gornogo Urala* (Regeneration of the resources of wild fruit plants in the post-fire biogeocеноses of mountain Ural), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo univepsiteta. Seriya: Lesnya Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2018, No 3 (39), pp. 68–75.
- Parker T. J., Clancy K. M., Mathiasen R. L., Interactions among fire, insects and pathogens in coniferous forests of the interior western United States and Canada, *Agricultural and Forest Entomology*, 2006, Vol. 8, No 3, pp. 167–189.
- Pastro L. A., Dickman C. R., Letnic M., Fire type and hemisphere determine the effects of fire on the alpha and beta diversity of vertebrates: a global meta-analysis, *Global Ecology and Biogeography*, 2014, Vol. 23, pp. 1146–1156.
- Pastro L.A., Dickman C.R., Letnic M., Burning for biodiversity or burning biodiversity? Prescribed burn vs. wildfire impacts on plants, lizards and mammals, *Ecological Applications*, 2011, Vol. 21, pp. 3238–3253.
- Pausas J. G., Generalized fire response strategies in plants and animals, *Oikos* 2019, Vol. 128, pp. 147–153.
- Payette S., Fire as a controlling process in the North American boreal forests [in:] *A system analysis of the global boreal forest* (eds. H. H. Shugart, R. Leemans, G. B. Bonan), Cambridge, 1992, pp. 216–240.
- Perez-Quezada J. F., Urrutia P., Olivares-Rojas J., Meijide A., Sánchez-Cañete E. P., Gaxiola A. Long term effects of fire on the soil greenhouse gas balance of an old-

- growth temperate rainforest, *Science of the Total Environment*, 2021, Vol. 755, Article 142442.
- Peters E. B., Wythers K. R., Bradford J. B., Reich P. B., Influence of disturbance on temperate forest productivity, *Ecosystems*, 2013, Vol. 16, No 1, pp. 95–110.
- Pikunov D. G., Seredkin, I. V., Muhacheva A. S., Monitoring sostoyaniya populyacij krupnyh hishchnykh mlekopitayushchih na yugo-zapade Primorskogo kraya (State monitoring of large predatory mammals populations in the southwest of Primorskyi krai), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2009, Vol. 11(1-2), pp. 124–128.
- Pilz D., McLain R., Alexander S., Villarreal-Ruiz L., Berch S., Wurtz T. L., Parks C. G., McFarlane E., Baker B., Molina R., Smith J. E., Ecology and Management of Morels Harvested from the Forests of western North America, *General Technical Report PNW-GTR-710*, Portland, OR, USA: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2007, 161 p.
- Ponisio L. C., Wilkin K., M'Gonigle L. K., Kulhanek K., Cook L., Thorp R., Griswold T., Kremen C., Pyrodiversity begets plant-pollinator community diversity, *Global change biology*, 2016, Vol. 22, No 5, pp. 1794–1808.
- Ponomarev E. I., Shvecov E. G., Sputnikovoe detektirovanie lesnyh pozharov i geoinformacionnye metody kalibrovki rezul'tatov (Satellite detection of forest fires and geoinformation methods for calibrating of the result), *Issledovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, No 1, pp. 84–91.
- Ponomarev E. I., Shvecov E. G., Usataya Yu. O., Registraciya energeticheskikh harakteristik pozharov v lesah Sibiri distancionnymi sredstvami (Registration of wildfire energy characteristics in Siberian forests using remote sensing), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2017, No 4, pp. 3–11.
- Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 10. 11. 2015, N 1213 «O vnesenii izmenenij v Pravila protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii» («On amendments to the Fire Safety Regulations in the Russian Federation»), URL: <https://base.garant.ru/71244122/> (23.06.2021).
- Popov N. A., Dubovye lesa YUzhnogo primor'ya i vliyanie na nih pozharov (Oak forests of the Southern Primorye and the impact of fires on them), *Doklad na sekcii lesnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti*, Vladivostok, 1961, 11 p.
- Potapova N. A., Naselenie zhuzhelic na vosstanavlivayushchihsya garyah (Population of ground beetles on recovering burnt areas), *Problemy pochvennoj zoologii*, Kniga 2, Ashgabat, 1984, pp. 60–61.
- Potapova N. A., Pochvennye bespozvonochnye (mezofauna) — 20 let nablyudenij v Okskom zapovednike (Soil invertebrates (mesofauna) — 20 years of observations in the Oka nature reserve), *Monitoring soobshchestv na garyah i upravlenie pozharami v zapovednikah*, Moscow: VNIIPriroda, 2002, pp. 57–65.
- Pourreza M., Hosseini S. M., Sinegani A. A. S., Matinizadeh M., Alavai S. J., Herbaceous species diversity in relation to fire severity in Zagros oak forests, Iran, *Journal of Forestry Research*, 2014, Vol. 25, pp. 113–120.
- Pressler Y., Moore J. C., Cotrufo M. F., Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna, *Oikos*, 2019, Vol. 128, No 3, pp. 309–327.
- Prestemon J. P., Holmes T. P., Market dynamics and optimal timber salvage after a natural catastrophe, *Forest Science*, 2004, Vol. 50, No 4, pp. 495–511.
- Puchkov P. V., Nekompensirovannye vyurmskie vymiraniya Soobshchenie 2. Preobrazovanie sredy gigantskimi fitofagami (Uncompensated Wurm extinctions Message 2. Transformation of

- the environment by giant phytophages), *Vestnik zoologii*, 1992, Vol. 1, p. 58.
- Pushkin A. V., Mashkin V. I., K voprosu izucheniya vliyaniya prirodnih pozharov na ohotnich'yu faunu (On the study of the influence of wild-fires on game animals), *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih*, 2014, No 4 (51), pp. 17–22.
- Pushkin A. V., Ob izuchenii vliyaniya prirodnih pozharov na ohotnich'yu faunu i ohothozyajstvennuyu deyatel'nost' (On the study of the impact of wildfires on the hunting fauna and hunting activities), *Gumanitarnye aspekty ohoty i ohotnich'ego hozyajstva: Sbornik materialov I mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (Irkutsk, 4–7 aprelya 2014), Irkutsk: Ottisk, 2014, pp. 34–40.
- Rahn M., Wildfire impact analysis. San Diego, CA: San Diego State University, 2009, pp. 1–15.
- Reazin C., Morris S., Smith J. E., Cowan A. D., Jumpponen A., Fires of differing intensities rapidly select distinct soil fungal communities in a Northwest US ponderosa pine forest ecosystem, *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 377, P. 118–127.
- Reid C. E., Brauer M., Johnston F. H., Jerrett M., Balme J. R., Elliott C. T., Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure, *Environmental health perspectives*, 2016, Vol. 124, No 9, pp. 1334–1343.
- Reid C. E., Maestas M. M., Wildfire smoke exposure under climate change: impact on respiratory health of affected communities, *Current opinion in pulmonary medicine*, 2019, Vol. 25, No 2, pp. 179–187.
- Rejmers N. F., Rol' kedrovki *Nucifraga caryocatactes* i myshevidnyh gryzunov v kedrovyyh lesah Yuzhnogo Pribajkal'ya (The role of the nutcrackers *Nucifraga caryocatactes* and murine rodents in the siberian pine forests of the southern Baikal region), *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 2015, Vol. 2, No 1185, pp. 3192–3200.
- Revuckaya, O. L., Glagolev V. A. Fetisov D. M., Vliyanie pozharov na prostranstvennoe raspredelenie ohotnich'ih mleko-pitayushchih Evrejskoj avtonomnoj oblasti (Influence of fires on the spatial distribution of hunting mammals in the Jewish Autonomous Region), *Regional'nye problemy*, 2018, Vol. 21, No 4, pp. 5–17.
- Rhoades C. C. Entwistle D. Butler D., The influence of wildfire extent and severity on streamwater chemistry, sediment and temperature following the Hayman Fire, Colorado, *International Journal of Wildland Fire*, 2011, Vol. 20, No. 3, P. 430–442.
- Richter C., Rejmánek M., Miller J. E., Welch K. R., Weeks J., Safford H., The species diversity× fire severity relationship is hump-shaped in semiarid yellow pine and mixed conifer forests, *Ecosphere*, 2019, Vol. 10, No 10, Article e02882.
- Robertson K. M., Platt W. J., Faires C. E., Patchy fires promote regeneration of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.) in pine savannas, *Forests*, 2019, Vol. 10, No 5, pp. 1–16.
- Rogers H. M., Ditto J. C., Gentner D. R., Evidence for impacts on surface-level air quality in the northeastern US from long-distance transport of smoke from North American fires during the Long Island Sound Tropospheric Ozone Study (LISTOS) 2018, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2020, Vol. 20, No 2, pp. 671–682.
- Rosenzweig M. L., *Species Diversity in Space and Time*, Cambridge: Cambridge University Press, 1995, p. 460.
- Ryan M. G., Binkley D., Fownes J. H., Age-related decline in forest productivity: pattern and process, *Advances in ecological research*, 1997, Vol. 27, pp. 213–262.
- Rybalova O. V., Metod identifikacii bassejnov malyyh rek s nizkoj ustojchivost'yu k antropogennoy nagruzke (Method for identification of small river basins with low resistance to anthropogenic load),

- Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e*, Kiev: NPC «Ekologiya. Nauka. Tekhnika» Tovaristva «Znannya» Ukraïn, 2004, No 2, pp. 37–48.
- Sackmann P., Farji-Brener A., Effect of fire on ground beetles and ant assemblages along an environmental gradient in NW Patagonia: Does habitat type matter? *Ecoscience*, 2006, Vol. 13, No. 3, pp. 360–371.
- Safonov M. A., Pirogennye sukcesii mikocенозов ksilotrofnyh gribov (Pyrogenic successions of xylophytic mushrooms mycocoenoses), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, No 4, pp. 88–92.
- Saint-Germain M., Larrivée M., Drapeau P., Fahrig L., Buddle C. M., Short-term response of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to fire and logging in a spruce-dominated boreal landscape, *Forest Ecology and Management*, 2005, Vol. 212, No (1-3), pp. 118–126.
- Sannikov S. N., Estestvennoe vozobnovlenie sosny na sploshnyh vyrubkah i garyah i puti ego uluchsheniya (Natural renewal of pine in clear-cut and burnt-out areas and ways to improve it), *Priroda i lesnoe hozyajstvo Prip'yshminskih borov*, 1997, pp. 23–26.
- Sapozhnikov A. P., Karpachevskij L. O., Il'ina L. S., Poslepozharnoe pochvoobrazovanie v kedrovo-shirokolistvennyh lesah (Post-fire soil formation in cedar-deciduous forests), *Lesnoj vestnik*, 2001, No 1, pp. 132–164.
- Sapozhnikov A. P., Rol' ognya v formirovanii lesnyh pochv (The role of fire in the formation of forest soils), *Ekologiya*, 1976, No 1, pp. 42–46.
- Shakesby R. A., Doerr S. H., Wildfire as a hydrological and geomorphological agent, *Earth-Science Reviews*, 2006, Vol. 74, No 3-4, pp. 269–307.
- Sheppard S., Picard P., Visual-quality impacts of forest pest activity at the landscape level: a synthesis of published knowledge and research needs, *Landscape and Urban Planning*, 2006, Vol. 77, No 4, pp. 321–342.
- Sheshukov M. A., Vliyanie pozharov na razvitie taezhnyh biogeocенозов (The influence of fires on the development of taiga biogeocoenoses), *Gorenie i pozhary v lesu, Chast' III: Lesnye pozhary i ih posledstviya*, Krasnoyarsk, 1979, pp. 81–96.
- Shive K., Preisler H., Welch K., Safford H., Butz R. J., O'Hara K., Stephens S. L. Scaling stand-scale measurements to landscape-scale predictions of forest regeneration after disturbance: the importance of spatial pattern, *Ecological Applications*, 2018, Vol. 28, pp. 1626–1639.
- Shpilevskaya N. S., Katkova E. N., Vliyanie pirogennogo faktora na vosstanovlenie lesnoj rastitel'nosti (Belorusskoe poles'e) (Influence of the pyrogenic factor on the restoration of forest vegetation (Belarusian woodlands)), *Botanicheskie chteniya, Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Ishim, 2011, pp. 113–114.
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii (Climate change and wildfires in Russia), *Lesovedenie*, 2013, No 5, pp. 50–61.
- Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I., Bottom-up inventory of the carbon fluxes in Northern Eurasia for comparisons with COSAT Level 4 products, *Research Report*, Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2010, 210 p.
- Silva F. D., Portella A. C. F., Giongo M., Meta-analysis of studies on the effect of fire on forest biomes in relation to fungal microorganisms, *Advances in Forestry Science*, 2020, Vol. 7, No 1, pp. 931–938.
- Simmonds P., Manning A., Derwent R., Ciais P., Ramonet M., Kazan V., Ryall D., A burning question. Can recent growth rate anomalies in the greenhouse gases be attributed to large-scale biomass burning events? *Atmospheric Environment*, 2005, Vol. 39, pp. 2513–2517.

- Skulska I., Salgueiro A. J., Loureiro C., Reducing the risk of fire and increasing the sustainability and economic profitability of the forest sector by way of prescribed burning, *Asociacion Española de Economía Agraria*, Editorial UPV, 2014, pp. 339–344.
- Smirnova O. V., Geraskina A. P., Aleynikov A. A., The concept “complementarity” as the basis for model and nature reconstruction of potential biota in the current climate, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2018, Vol. 3, No 3, pp. 1–21, DOI: 10.21685/2500-0578-2018-3-1
- Smirnova O. V., Geraskina A. P., Korotkov V. N., Natural zonality of the forest belt of Northern eurasia: myth or reality? Part 2 (literature review), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2021, Vol. 6, No 2, DOI: 10.21685/2500-0578-2021-2-1
- Smirnova O. V., Popadyuk R. V., Zaugol'nova L. B., Hanina L. G., Ocenka poter' floristicheskogo raznoobraziya v lesnoj rastitel'nosti (na primere zapovednika «Kaluzhskie zaseki») (Assessment of the loss of floristic diversity in forest vegetation (on the example of the Kaluzhskie zaseki reserve)), *Lesovedenie*, 1997, No 2, pp. 27–42.
- Smith G. R., Edy L. C., Peay K. G., Contrasting fungal responses to wildfire across different ecosystem types, *Molecular Ecology*, 2021, Vol. 30, No 3, pp. 844–854.
- Smith H. G., Sheridan G. J., Lane P. N. J., Nyman P., Haydon S., Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply, *Journal of Hydrology*, 2011, Vol. 396, No 1-2, pp. 170–192.
- Sochilova E. N., Ershov D. V., Kartografirovaniye i ocenka povrezhdennykh pozharami lesov i pozharnykh emissij ugleroda po sputnikovym izobrazheniyam vysokogo prostranstvennogo razresheniya (Mapping and assessment of fire damaged forests and fire carbon emissions from satellite images of high spatial resolution), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Vol. 2, No 4, pp. 322–331.
- Soja A. J., Cofer W. R., Shugart H. H., Sukhinin A. I., Stackhouse Jr. P. W., McRae D. J., Conard S. G. Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998–2002), *Journal of geophysical research*, 2004, Vol. 109, D14S06. DOI:10.1029/2004JD004570.
- Soos V., Badics E., Incze N., Balazs E., Fire-borne life: A brief review of smoke-induced germination, *Natural Product Communications*, 2019, Vol. 14, No 9, DOI: 10.1177/1934578X19872925.
- Sokolov M. N., Vliyanie nizovykh pozharov na zhiznesposobnost' sosnyakov Srednego Urala (Influence of ground fires on the viability of pine forests in the Middle Urals), *Gorenie i pozhary v lesu*, Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR, 1973, pp. 18–20.
- Sorokin N. D., Afanasova E. N., Mikrobiologicheskaya diagnostika sostoyaniya pochv i fillosfery lesnykh ekosistem Sibiri (Microbiological diagnostics of soil stage in the phyllosphere of the woodland ecosystem of Siberia), *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya biologicheskaya*, 2012, No 1, pp. 100–108.
- Sorokin N. D., Evgrafova S. Yu., Grodnickaya I. D., Vliyanie nizovykh pozharov na biologicheskuyu aktivnost' kriogennykh pochv Sibiri (Influence of ground fires on the biological activity of cryogenic soils in Siberia), *Pochvovedenie*, 2000, No 3, pp. 315–319.
- Sorokin N. D., Mikrobiologicheskaya diagnostika lesov rastitel'nogo sostoyaniya pochv Srednej Sibiri (Microbiological diagnostics of forests of plant state of soils in Central Siberia), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009, 221 p.
- Sosnovchik Yu. F., Metody profilaktiki po vzniknoveniyu lesnykh pozharov v zabajkal'skom krae (Prevention methods for the occurrence of forest fires in the Trans-Baikal Territory), *Sovremennye nauchnye*



- issledovaniya: aktual'nye teorii i koncepcii*, 2016, pp. 63–69.
- Steel Z. L., Koontz M. J., Safford H. D., The changing landscape of wildfire: burn pattern trends and implications for California's yellow pine and mixed conifer forests, *Landscape Ecology*, 2018, Vol. 33, pp. 1159–1176.
- Stephens S. L., Collins B. M., Fettig C. J., Finney M. A., Hoffman C. M., Knapp E. E., North M. P., Safford H., Wayman R. B., Drought, tree mortality, and wildfire in forests adapted to frequent fire, *BioScience*, 2018, Vol. 68, No 2, pp. 77–88.
- Stone M., Droppo I. G., In-channel surficial fine-grained sediment laminae (Part II): Chemical characteristics and implications for contaminant transport in fluvial systems, *Hydrological Processes*, 1994, Vol. 8, No 2, pp. 113–124.
- Strategiya po snizheniyu pozharnoj opasnosti na OOPT Altae-Sayanskogo ekoregiona (Strategy to reduce the fire hazard in the protected areas of the Altai-Sayan ecoregion), *Otchet Instituta lesa im. V. N. Sukacheva*, Krasnoyarsk, 2011, 282 p.
- Suhomlinov N. R., Suhomlinova V. V., Pirotravmy rastenij v usloviyah hvojno-shirolistvennyh lesov Srednego Priamur'ya i ih indikatornoe znachenie (Fire damage to plants in coniferous-deciduous forests in the middle amur region and their indicator significance), *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2011, Iss. 3, pp. 405–413.
- Tang K. H. D., Yap P. S., A Systematic Review of Slash-and-Burn Agriculture as an Obstacle to Future-Proofing Climate Change [in:] *Proceedings of the International Conference on Climate Change*, 2020, Vol. 4, No 1, pp. 1–19.
- Tao Z., He H., Sun C., Tong D., Liang X. Z., Impact of Fire Emissions on US Air Quality from 1997 to 2016—A Modeling Study in the Satellite Era, *Remote Sensing*, 2020, Vol. 12, No 6, pp. 1–17.
- Teben'kova D. N., Lukina N. V., Chumachenko S. I., Danilova M. A., Kuznecova A. I., Gornov A. V., Shevchenko N. E., Kataev A. D., Gagarin Yu. N., Mul'tifunkcional'nost' i bioraznoobrazie lesnyh ekosistem (Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems), *Lesovedenie*, 2019, No 5, pp. 341–356.
- Telicyn G. P., Ostroshenko V. V., K ocenke ekologicheskikh posledstvij lesnyh pozharov (On the assessment of the environmental consequences of forest fires), *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2008, No 21-3, pp. 130–133.
- The true cost of wildfire in the Western U.S.*, Western Forestry Leadership Coalition (WFLC), 2014, 18 p.
- Thom D., Seidl R., Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests, *Biological Reviews*, 2016, Vol. 91, No 3, pp. 760–781.
- Timoshkina O. A., Vliyanie vyrubok i kontroliruemogo vyzhiganiya porubochnyh ostatkov na soobshchestva zhivotnyh (na primere melkih mlekopitayushchih i ptic Vostochnogo Sayana) (Impact of felling and controlled burning of felling residues on animal communities (on the example of small mammals and birds of the Eastern Sayan)), *Diss. kand. biol. nauk*, Krasnoyarsk, 2004, 181 p.
- Trofimov I. T., Bahareva I. Yu., Osobennosti postpirogennoj transformacii dernovo-podzolistykh pochv yugo-zapadnoj chasti lentochnyh borov Altajskogo kraja (Peculiarities of post-pyrogenic transformation of sod-podzolic soils of south-west part of banded forests of the Altai region), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2007, No 11, pp. 31–35.
- Trucchi E., Pitzalis M., Zapparoli M., Bologna M., Short-term effects of canopy and surface fire on centipede (Chilopoda) communities in a semi natural Mediterranean forest,

- Entomologica Fennica*, 2009, Vol. 20, No 3, pp. 129–138.
- Tyler M. G., Spoolman S. E., *Essentials of Ecology*, Belmont (USA): Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011, 384 p.
- Uhova N. L., Esyunin S. L., Belyaeva N. V., Структура насeleniya i chislennost' pochvennoj mezofauny v pervichno-pirogenom soobshchestve na meste pihto-el'nika vysokotravno-paportnikovogo (The structure of the population and the number of soil mesofauna in the primary pyrogenic community in the place of the tall-herb-fern fir-spruce forest), *Biologicheskoe raznoobrazie zapovednyh territorij: ocenka, ohrana, monitoring*, Moscow; Samara, 1999, pp. 169–175.
- Vacchiano G., Foderi C., Berretti R., Marchi E., Motta R., Modeling anthropogenic and natural fire ignitions in an inner-alpine valley, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018, Vol. 18, No 3. pp. 935–948.
- Van der Plas F., Ratcliffe S., Ruiz-Benito P., Scherer-Lorenzen M., Verheyen K., ... & Allan E., Continental mapping of forest ecosystem functions reveals a high but unrealised potential for forest multifunctionality, *Ecology letters*, 2018, Vol. 21, No 1. pp. 31–42.
- Van Klink R., van Laar-Wiersma J., Vorst O., Smit C., Rewilding with large herbivores: Positive direct and delayed effects of carrion on plant and arthropod communities, *PloS one*, 2020, Vol. 15, No 1, Article e0226946.
- Van Meerbeek K., Muys B., Schowanek S. D., Svenning J. C., Reconciling Conflicting Paradigms of Biodiversity Conservation: Human Intervention and Rewilding, *BioScience*, 2019, Vol. 69, No 12, pp. 997–1007.
- Vera F.W.M., *Grazing ecology and forest history*, Cabi, 2000, 506 p.
- Volchatova I. V., Pozhary rastitel'nosti kak faktor snizheniya ob"ema ekosistemnyh uslug lesov osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij (Vegetation fires as a factor of reducing the volume of ecosystem services of forests of specially protected natural areas), *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Lesnoj zhurnal*, 2019, No 6, pp. 79–91.
- Vonskij S. M., *Intensivnost' ognya nizovyh lesnyh pozharov i ee prakticheskoe znachenie* (Intensity of fire of ground forest fires and its practical significance), Leningrad: LenNIILH, 1957, 52 p.
- Vostochnoevropejskie lesa: istoriya v golocene i sovremennost'* (Eastern European forests: history in Holocene and contemporaneity), Moscow: Nauka, 2004, Vol. 1, 479 p.
- Waldrop M. P., Harden W. J., Interactive effects of wildfire and permafrost on microbial communities and soil processes in an Alaskan black spruce forest, *Global Change Biology*, 2008, Vol. 14, No 11, pp. 2591–2602.
- Walker X. J., Rogers B. M., Baltzer J. L., Cumming S. G., Day N. J., Goetz S. J., ... & Mack M. C., Cross-scale controls on carbon emissions from boreal forest megafires, *Global Change Biology*, 2018, Vol. 24, No 9, pp. 4251–4265.
- Walker X. J., Baltzer J. L., Cumming S. G., Day N. J., Ebert C., Goet, S., ... & Mack M. C., Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils, *Nature*, 2019, Vol. 572, No 7770, pp. 520–523.
- Weatherspoon C. P., *Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz Giant Sequoia, *Silvics of North America*, 1990, Vol. 1, pp. 552–562.
- Wells C. G., DeBano L. F., Lewis C. E., Fredriksen R. L., Franklin E. C., Froelich R. C., Dunn P. H., Effects of Fire on Soil: a State-of-knowledge Review, *General Technical Report WO-7.1. USDA Forest Service*, Washington, DC, 1979, 134 p.
- Whitlock C., Higuera P. E., McWethy D. B., Briles C. E., Paleocological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept, *The Open Ecology Journal*, 2010, Vol. 3, pp. 6–23.

- Wiedinmyer C., Quayle B., Geron C., Belote A., McKenzie D., Zhang X., O'Neill S., Wynne K. K., Estimating emissions from fires in North America for air quality modeling, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, No 19, pp. 3419–3432.
- Wikars L. O., Schimmel J., Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests, *Forest Ecology and Management*, 2001, Vol. 141, No 3, pp. 189–200.
- Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora, *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2*, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000, 257 p.
- Winfrey R., Reilly J. R., Bartomeus I., Cariveau D. P., Williams N. M., Gibbs J., Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales, *Science*, 2018, Vol. 359, No 6377, pp. 791–793.
- Xu R. Yu. P., Abramson M. J., Johnston F. H., Samet J. M., Bell M. L., ... & Guo Y., Wildfires, global climate change, and human health, *New England Journal of Medicine*, 2020, Vol. 383, No. 22, pp. 2173–2181.
- Yadav I. C., Devi N. L., Biomass burning, regional air quality, and climate change [in:] *Earth Systems and Environmental Sciences. Edition: Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 2018, pp. 386–391.
- Yao J., Brauer M., Wei J., McGrail K. M., Johnston F. H., Henderson S. B., Sub-daily exposure to fine particulate matter and ambulance dispatches during wildfire seasons: a case-crossover study in British Columbia, Canada, *Environmental health perspectives*, 2020, Vol. 128, No 6, Article 067006.
- Yaroshenko A. Yu., S chego nachinayutsya krupnye lesnye pozhary v tajge: primery iz Irkutskoj oblasti (How large forest fires in the taiga begin: examples from the Irkutsk region), *Lesnoj forum Grinpis*, 2021, URL: <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=25720> (06.07.21).
- Ying Y. A. N. G., Xiewen H. U., Yan W. A. N. G., Tao J. I. N., Xichao C. A. O., Mei H. A. N., Preliminary study on methods to calculate dynamic reserves of slope eroding materials transported by post-fire debris flow, *Journal of Engineering Geology*, 2021, Vol. 29, No. 1, pp. 151–161.
- Zalesov A. S., *Klassifikaciya lesnyh pozharov*, Ekaterinburg: UGLTU, 2011, 15 p.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskii V. I., Shulyak P. P., Chestnykh O. V., Recent decrease in carbon sink to Russian forests, *Doklady Biological Sciences*, 2017, Vol. 476, No 1. pp. 200–202.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., SHulyak P. P., Chestnyh O. V. Vliyanie pozharov i zagotovok drevesiny na uglerodnyj balans lesov Rossii (The impacts of fires and clear-cuts on the carbon balance of Russian forests), *Lesovedenie*, 2013, No 5, pp. 36–49.
- Zav'yalov N. A., Petrosyan V. G., Goryajnova Z. I., Mishin A. S., Mogut li bobry pomoch' v bor'be s lesnymi pozharami v Evropejskoj chasti Rossii? (Can beavers help fight forest fires in European Russia?) *Nauchnye issledovaniya v zapovednikah i nacional'nyh parkah Rossii*, Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2016, p. 76.
- Zurbriggen N., Nabel J. E. M. S., Teich M., Bebi P., Lischke H., Explicit avalanche-forest feedback simulations improve the performance of a coupled avalanche-forest model, *Ecological Complexity*, 2014, Vol. 17, pp. 56–66.

## WILDFIRES AS A FACTOR OF THE LOSS OF BIODIVERSITY AND FUNCTIONS OF FOREST ECOSYSTEMS

A. P. Geraskina\*, D. N. Tebenkova, D. V. Ershov, E. V. Ruchinskaya, N. V. Sibirtseva,  
N.V. Lukina

*Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences  
117997 Moscow, Russian Federation, Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14*

\*E-mail: [angersgma@gmail.com](mailto:angersgma@gmail.com)

Received 07.07.2021

Revised 12.08.2021

Accepted 18.08.2021

Due to ever-increasing anthropogenic impact and global climate change, wildfires are becoming more frequent and intense all over the world. The wildfire factor is turning into an acute problem for forested countries that requires prompt solutions as the areas of forest ecosystems are reducing catastrophically, which results in an irreparable loss of biodiversity that provides all ecosystem functions and forest services. Many biologists consider wildfires a factor destructive to biota that results in permanent loss of some species and groups of living organisms; even if it is possible for them to recover after a wildfire, they may need a lot of time to do so. However, some studies argue that not only do wildfires reduce the biodiversity in forest ecosystems, but they also increase it, thus contributing to species conservation and sustainable functioning of forests.

This article is aimed at analyzing the works that study how wildfires impact the main components, biodiversity, and functions of forest ecosystems. The authors answer the question why wildfires, while being an obvious destruction factor, are sometimes considered a factor for increase in biodiversity. The "positive" influence wildfires have on biodiversity can mostly be reduced to mosaic patterns, that is, forest canopy gaps that occur after a wildfire. However, reference analysis shows that the persistent opinion found in a number of works that a certain frequency of wildfires is necessary to maintain forest communities may be associated with ignored or misunderstood importance of biotic factors in the functioning of forests. In contemporary forest ecosystems, populations of key large mammal species disappeared or are greatly reduced; therefore, there are no microsites they usually form, including large forest canopy leaps (gaps, glades) that provide both opportunities for photophilous flora and pollinating insects to develop and generally sufficient conditions for multi-aged polydominant forest ecosystems with high biodiversity. In the forestry practice, measures are known to maintain mosaics. They include special types of felling, supporting populations of key animal species, etc., and are both significantly less catastrophic in comparison with the wildfire factor and substantiated biologically. The authors provide recommendations for the conservation and maintenance of biodiversity and ecosystem functions in contemporary forests.

**Key words:** *forest, fires, vegetation, animals, key species, greenhouse gases, soil, climate, carbon, ecosystem services, emissions*

**Рецензенты:** д. б. н. Гонгальский К. Б., к. б. н. Коротков В. Н.