

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

УДК 630*43

НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО ПРОБЛЕМЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ (К 30-ЛЕТИЮ БОРСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)

Г. А. Иванова, Е. К. Кисляхов

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, yegor@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 01.09.2023 г.

Представлены итоги 30-летнего международного сотрудничества по проблеме лесных пожаров с учеными из стран Европы и Америки, включающего международные конференции, встречи, совместные экспериментальные исследования по моделированию лесных пожаров и мониторингу послепожарной сукцессии в бореальных лесах Сибири. В 1993 г. в Красноярском крае был проведен Борский эксперимент по изучению горения биомассы в среднетаежном сосняке, представляющий собой смоделированный контролируемый высокоинтенсивный лесной пожар. Полученные экспериментальные данные по параметрам поведения огня и пожарным эмиссиям позволили осуществить послепожарный мониторинг и оценить последствия воздействия пожара на компоненты леса. Борский эксперимент был уникален своими размерами и продолжительным мониторингом послепожарного лесовосстановления. В 1996 г. начались совместные международные исследования по проведению контролируемых выжиганий вырубок с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов на вырубках в равнинных и горных пихтарниках разнотравно-зеленомошных. Для изучения воздействия пожаров на компоненты экосистемы в этот же период проводились эксперименты по моделированию пожаров разной интенсивности в южно- и среднетаежных сосняках. По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены для бореальных лесов России впервые. После контролируемых выжиганий и экспериментов проводился мониторинг за процессом послепожарного лесовосстановления. Научное сотрудничество и обмен опытом с коллегами из других стран обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты исследований российских ученых доступными международной научной обществу.

Ключевые слова: *пирогенные факторы в бореальных лесах Евразии, мониторинг лесных пожаров, международное сотрудничество.*

DOI: 10.15372/SJFS20230615

Произошедшие глобальные перемены в 90-х годах XX в. в государственном устройстве России повлекли изменения и в науке. В этот период международное лесное сообщество проявило большой интерес к экспериментальным исследованиям лесных пожаров в бореальных лесах.

В 1991 г. началось научное сотрудничество ученых Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН с Центром глобального мониторинга пожа-

ров (Германия), руководимым Й. Г. Голдаммером, в результате которого была создана программа работ по совместному исследованию роли пирогенного фактора в бореальных лесах Евразии. Было предложено провести международную конференцию и эксперимент в природных условиях по моделированию поведения лесного пожара и оценке пирогенных эмиссий в Сибири на базе Института леса им. В. Н. Сукачева

СО РАН. В Институте леса была создана инициативная группа по подготовке международной научной конференции по проблеме лесных пожаров, в которую вошли Й. Г. Голдаммер, Э. Н. Валендик, В. В. Фуряев и сотрудники лаборатории лесной пирологии.

В 1993 г. в Красноярске в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН состоялась международная конференция: «Пожары в экосистемах бореальной Евразии» и полевой научный эксперимент по моделированию лесного пожара. В конференции и эксперименте приняли участие ученые из России, США, Канады, Германии и других европейских стран. Проведенный после конференции полевой эксперимент был также приурочен к компании по изучению пожаров Азия-Север (FIRESCAN), которая финансировалась Международной ассоциацией исследователей бореальных лесов (IBFRA) и подпрограммой IGBP/IGAC «Воздействие горения биомассы на атмосферу».

Эксперимент по изучению горения биомассы на Борском острове, проведенный под руководством Э. Н. Валендика в июле 1993 г., имел целью моделирование поведения контролируемого высокоинтенсивного пожара с параметрами, характерными для природного пожара (Fire..., 1996; Valendik et al., 2013). Основная задача эксперимента состояла в создании высокоинтенсивного пожара, который позволил бы зарегистрировать параметры поведения огня, пожарные эмиссии, оценить краткосрочные и долгосрочные последствия горения, чтобы на основе этих измерений можно было сравнить западные и восточные методологии пожарных исследований. В эксперименте принимали участие ученые из более чем десяти зарубежных стран (рис. 1).

Для подготовки экспериментального лесного участка была создана группа под руководством Э. Н. Валендика, в которую вошли научные сотрудники Института леса Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Е. К. Кисильхов и В. Д. Перевозникова.

В результате экспедиционных работ был подобран и подготовлен для проведения эксперимента лесной участок в Красноярском крае, в 90 км южнее пос. Бор Туруханского района (60°45' с. ш., 89°25' в. д.), по наименованию которого участок, окруженный болотами, назвали «Борский остров».

Борский экспериментальный участок расположен на Сымской равнине Западно-Сибирской

равнины. Это почти плоский песчаный остров, окруженный болотами, на которых преобладали разнотравно-сфагновый покров и высокая осока (*Carex L.*). Центр острова приподнят от уровня болота на 6 м. Почвы представлены железистым подзолом с крупнозернистым песком. На острове сформировались чистые сосняки багульниково-бруснично-лишайниковые (рис. 2, а).

До пожара было проведено лесоводственно-таксационное описание насаждения и дана оценка запасов напочвенных лесных горючих материалов по методикам Н. П. Курбатского (1970) и D. J. McRae и соавт. (1979). Реконструирована хронология прошлых лесных пожаров на данном участке и во всем ландшафте с использованием дендрохронологических методов (Madany et al., 1982; Dieterich, Swetnam, 1984). В сосняках на Борском острове за последние 600 лет выявлены 6 пожаров (1481, 1638, 1753, 1796, 1867 и 1956 гг.).

Периоды между этими пожарами составляли от 43 до 157 лет, при среднем пожарном интервале 95 лет. Руководил проведением эксперимента Э. Н. Валендик, зажигание и обеспечение пожарной безопасности осуществляли сотрудники Красноярской базы авиационной охраны лесов.

Неблагоприятные погодные условия для горения, низкая скорость и смены направлений ветра в день эксперимента не способствовали развитию высокоинтенсивного пожара. Этого можно было добиться только сильной конвекцией и зажиганием по всему периметру острова. Зажигание напочвенного покрова начали с восточной стороны острова по ветру, после смены направления ветра на противоположное его провели по западной стороне острова, чтобы получить быстрое распространение кромки огня по ветру, затем – по северной и южной границам острова. В результате сформировалась кромка огня по всему периметру острова, что способствовало развитию высокоинтенсивного горения с образованием конвективной колонки (рис. 2, б). Пожар развился как высокоинтенсивный, передвигающийся за счет конвекции и включающий элементы верхового и низового пожара. Заключительная фаза горения представляла собой стену огня, так как одновременно горели все яруса растительности (рис. 2, в). В связи с сильной конвекцией при горении образовавшаяся над пожаром дымовая колонка достигала высоты 5000 м (Куценогий и др., 1996; Fire..., 1996).



Рис. 1. Участники Борского международного пожарного эксперимента.

Верховым пожаром было пройдено 57 % насаждения, при этом огонь распространялся со средней скоростью 25 м/мин. Интенсивность горения на кромке пожара составила 28 тыс. кВт/м (Fire..., 1996). Такие показатели характерны для высокоинтенсивных пожаров в бореальных лесах, зачастую приводящих к полному уничтожению насаждений (рис. 2, з).

По данным измерений при пожаре, максимальная температура горения на поверхности

лишайникового покрова в сосняке достигала 850 °С, при этом температура 500 °С и более держалась в одной точке более минуты (1.07 мин), а 100 °С – более 5 (5.64) мин. На глубине почвы 1 и 3 см температура свыше 100 °С наблюдалась 4.72 и 5.63 мин соответственно (Fire..., 1996).

После пожара на экспериментальном участке в течение 25 лет осуществляли мониторинг за состоянием компонентов насаждения, изменением их фитомассы и послепожарной сукцес-

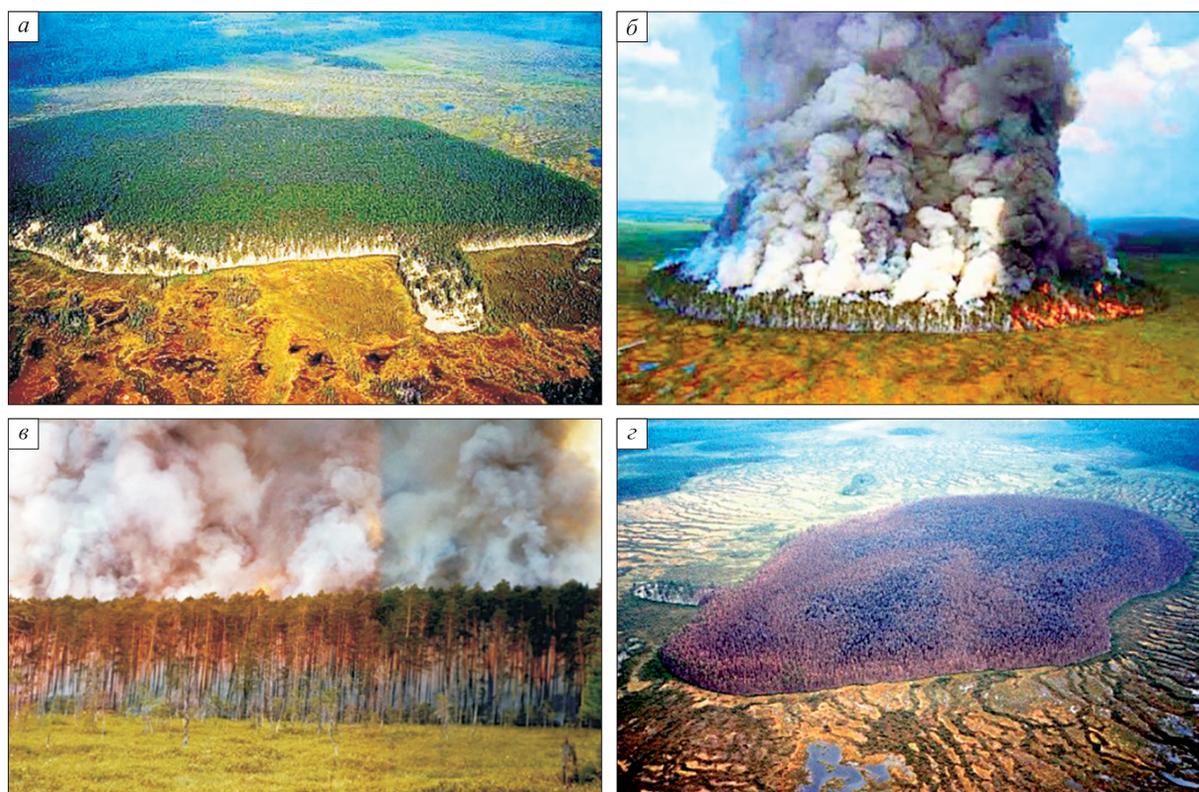


Рис. 2. Борский эксперимент.

а – сосняки на острове до пожара; б – конвекционная колонка пожара; в – высокоинтенсивный пожар; г – острова сразу после пожара.



Рис. 3. На послепожарном обследовании сосняков Борского острова, 1996 г.

сий. Экспедиции на остров проводились в 1994–1996, 1999, 2003, 2005, 2008, 2012, 2013, и 2018 гг. В полевых международных исследованиях принимали участие не только сотрудники Института леса, но и ученые из других стран (рис. 3).

На участках леса, пройденных высокоинтенсивным верховым пожаром, в год после пирогенного воздействия все деревья погибли. Это связано с тем, что они длительное время находились в зоне летальных температур. При воздействии высоких температур и при переходе огня в полог древостоя у многих сосен (*Pinus L.*) обгорели кроны.

Через год после пожара на участках леса, пройденных высокоинтенсивным низовым пожаром, погибло более половины деревьев. Почти все деревья были заселены энтомовреди-

телями. Через 2 года у большинства деревьев полностью облетела хвоя и кора. В последующие годы отпад деревьев продолжался и, по нашим наблюдениям, количество живых деревьев после пирогенного воздействия, составляло через 5 лет – 26.3 %, через 12 лет – 13.4 % и через 20 лет – лишь 2.5 % (Иванова и др., 2018).

После пожара на Борском острове лесовосстановление происходило без смены пород. Несмотря на гибель части всходов и самосева сосны, численность возобновления довольно существенно возросла со временем. При этом, если в первые 5 лет после пожара возобновление было представлено исключительно самосевом, то через 12 лет – 24 % молодого поколения сосны относилось к категории подроста, произрастающего преимущественно одиночно (рис. 4, а).

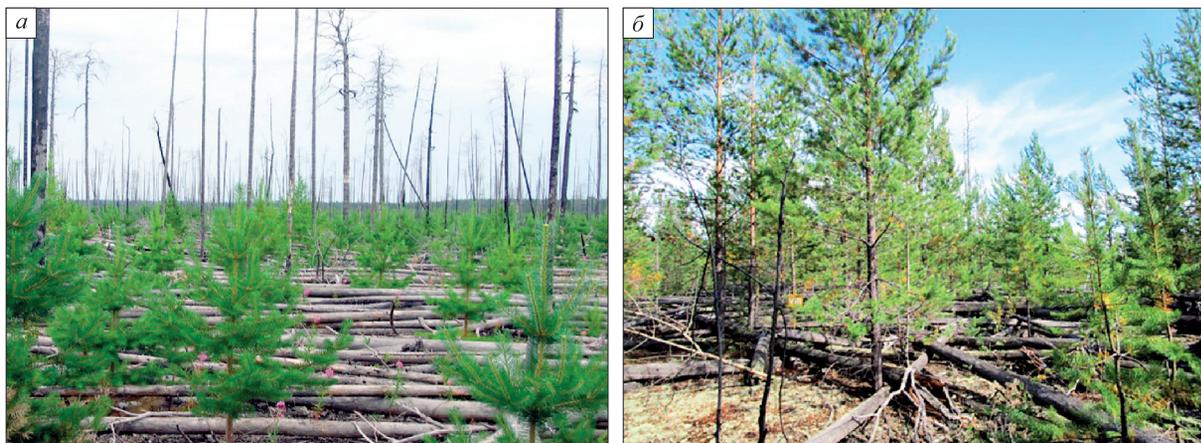


Рис. 4. Возобновление сосной через 12 (а) и через 20 (б) лет после пожара.

Спустя 20 лет после пожара (в 2013 г.) численность возобновления достигала более 13 тыс. экз./га и 62 % составлял подрост. Он распределен по площади равномерно и произрастает одиночно (рис. 4, б). Преобладание благонадежного подростка сосны с индексом жизненного состояния до 92 % дает основание оценивать естественное послепожарное возобновление под пологом сосняков как здоровую ценопопуляцию (Иванова и др., 2018). Через 25 лет после указанного пирогенного воздействия лесовосстановительный процесс сосняков на Борском острове успешно продолжалось.

В 2023 г. исполнилось 30 лет со дня проведения Борского эксперимента. Он был уникален своими размерами и продолжительным мониторингом послепожарного лесовосстановления. В 1993 г. на Борском острове началась совместная работа исследователей лесных пожаров разных стран по пожароуправлению. По ее результатам были изданы две монографии – «Fire in Ecosystems of boreal Eurasia» (1996) и «Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia» (2013) – и ряд научных статей.

Научное сотрудничество и обмен опытом с коллегами из других стран обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты российских ученых доступными международной научной лесной общественности. В результатах длительного послепожарного мониторинга состояния экосистемы и лесовосстановления на Борском участке заинтересованы специалисты лесного хозяйства по всему миру.

Международное сотрудничество по пожароуправлению. Исследования по использованию огня в лесохозяйственных целях длительное время проводятся специалистами европейских стран, США, Канады и Австралии, где контролируемые выжигания применяются в широких масштабах с начала прошлого столетия. В России контролируемые выжигания длительное время были запрещены. Проводилось лишь сжигание порубочных остатков в кучах и отжиг от дорог общего пользования. И до настоящего времени исследования по применению огня в лесном хозяйстве находятся в стадии опытно-производственных.

В связи с запретом использования контролируемых выжиганий в лесах России и сформировавшемся представлении о том, что лесной пожар – это стихийное бедствие, противников применения огня в лесу значительно больше,

чем сторонников. Между тем известные отечественные лесоводы М. Е. Ткаченко (1931), И. С. Мелехов (1954) и Е. С. Арцыбашев (1984) придавали большое значение использованию огня в лесном хозяйстве. Подобную позицию занимают и многие практики лесного хозяйства в настоящее время.

В связи с индустриализацией в последние десятилетия в Сибири накопились огромные площади вырубок, на которых возникает до 70 % всех пожаров, часто переходящих на окружающие лесные участки. Из-за большого количества горючих материалов и создавшихся благоприятных условий для их высыхания высокая пожарная опасность на вырубках сохраняется в течение всего пожароопасного сезона. Даже обилие зеленой массы трав и кустарничков не снижает ее. Как показывает зарубежный опыт, сжигание порубочных остатков дает возможность эффективно снизить пожароопасность вырубок. Ликвидация захламленности и обогащение почвы микроэлементами обеспечивают более высокую приживаемость и устойчивость сеянцев и саженцев, повышают их конкурентоспособность и содействуют успешному лесовосстановлению.

Контролируемые выжигания определяют методы и способы применения огня в природных растительных сообществах для достижения таких целей, как снижение пожарной опасности в лесу и на вырубках, стимулирование процессов лесовосстановления, уничтожение нежелательной растительности, энтомовредителей и другие. Контролируемые выжигания проводят при определенных параметрах среды, которые позволяют сдерживать горение заданной интенсивности и скорость распространения огня в заранее намеченных границах.

Международные исследования по применению контролируемых выжиганий в лесном хозяйстве в Сибири были начаты в Институте леса им. В. Н. Сукачева в конце 90-х – начале 2000-х годов под руководством Э. Н. Валендика. С 1996 по 2002 г. сотрудники Института леса им. В. Н. Сукачева совместно с Комитетом по лесу Красноярского края, в рамках международного проекта с Лесной службой США по устойчивому ведению лесного хозяйства проводили опытно-производственные работы по предписанным выжиганиям на вырубках и под пологом леса, а также на лесных участках с древостоем, погибшим в результате повреждения сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus*)



Рис. 5. Контролируемые выжигания на вырубке в пихтарниках разнотравно-зеленомошных в Большемуртинском лесничестве Красноярского края в 1999 г.

a – горение порубочных остатков; *б* – научные сотрудники Института леса СО РАН С. В. Верховец (слева) и Е. К. Кисляхов (справа) на вырубке после контролируемых выжиганий.



Рис. 6. На обследовании вырубок после выжигания в Большемуртинском лесничестве Красноярского края, 2008 г.

Слева направо, сидят – Э. Н. Валендик, С. В. Верховец, Джон Бриссет, Стив Юбэнкс, стоят – Рич Ласко, А. А. Онучин.

Tschetverikov). В выжиганиях участвовали научные сотрудники лаборатории лесной пирологии Е. К. Кисляхов, Г. А. Иванова, С. В. Верховец, А. В. Брюханов, В. А. Бычков, И. В. Косов, в выполнении проекта – сотрудники Лесной службы США Джон Бриссет, Стив Юбэнкс и Рич Ласко.

Контролируемые выжигания с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов проводились в нескольких лесничествах на вырубках в равнинных и низкогорных пихтарниках разнотравно-

зеленомошных, а также в горных лесах на склонах разной экспозиции и крутизны (рис. 5, 6).

В 1999 г. контролируемые выжигания, проводимые сотрудниками Института леса, вышли за рамки экспериментальных и перешли в разряд производственных. В пяти лесничествах Красноярского края были созданы мобильные бригады, которые и проводили контролируемые выжигания. Накопленный опыт проведения контролируемых выжиганий обобщен в монографиях (Валендик и др., 2000, 2001, 2011; Valendik et al., 2013), научных статьях и методических

рекомендациях и рекомендован как для научных работников, так и практиков лесного хозяйства. По материалам научных исследований были защищены три кандидатские диссертации.

Следует отметить, что выжигание растительных остатков является единственным эффективным и экономичным методом очистки мест рубок, содействия естественному лесовозобновлению и предупреждению возникновения высокоинтенсивных пожаров. Метод также эффективен и для очистки территории от усохших лесов после дефолиации сибирским шелкопрядом, где другие методы по техническим причинам неприемлемы.

В настоящее время в России разрешено применение огня только для очистки вырубок от порубочных остатков, предварительно сложенных в кучи и валы (Постановление..., 2020), а также для создания защитных противопожарных полос сжиганием сухой травы (Приказ..., 2019).

Проведенные в Красноярске международные «Недели пожароуправления» в 2012 и 2013 гг. показали необходимость разработки эффективных и экономически приемлемых технологий применения контролируемых выжиганий в лесах и включения их в процессы планирования лесоуправления и лесопользования в лесах Сибири (Goldammer et al., 2017).

Международное сотрудничество по исследованию роли пожаров в бореальных лесах. Пожары являются одним из основных дестабилизирующих факторов лесных экосистем. Помимо воздействия на компоненты экосистемы, важным экологическим последствием является воздействие пожаров на запасы углерода в лесах и углеродный баланс атмосферы. Лесные пожары являются источником не только прямой эмиссии углерода при горении, но и обуславливают послепожарную эмиссию при разложении поврежденной огнем растительности.

Последние исследования показали, что воздействие пожаров в бореальных регионах на глобальный баланс углерода сильно недооценивается, и потенциально это воздействие претерпевает очень значительные изменения в связи с изменениями климата и систем пожароуправления (Wotton et al., 2017). Ожидается также, что повышение температуры в бореальных районах будет значительнее, чем в среднем на нашей планете, и риск увеличения частоты пожаров в связи с изменениями климата в России выше, чем в Канаде (Weber, Flannigan, 1997). Наиболее серьезное влияние пожаров на химию атмосферы

предполагается через изменения в накоплении углерода, связанные с переменами в пользовании и в пожарных режимах (Kasischke et al., 1995). В то же время эти оценки не включают возможные изменения послепожарных биогенных эмиссий.

В рамках международного сотрудничества учеными Института леса им. В. Н. Сукачева совместно с представителями лесных служб США и Канады С. Г. Конард и Д. Д. Макреем разработана и осуществлялась научная программа по исследованию роли пожаров в бореальных лесах в период с 1999 по 2015 г. С целью оценки влияния пожаров на эмиссии углерода и устойчивость лесных экосистем в сосняках и лиственничниках Средней Сибири в этот период была проведена серия экспериментов по моделированию поведения лесных пожаров разной интенсивности, максимально приближенных к естественным пожарам, под руководством Г. А. Ивановой.

В международных экспериментах по моделированию лесных пожаров принимали участие научные сотрудники Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Института химической кинетики и горения СО РАН, лесных служб США и Канады, а также преподаватели и студенты Сибирского федерального университета, Сибирского государственного технологического университета, Сибирского государственного университета геосистем и технологий и сотрудники Красноярской базы авиационной охраны лесов (рис. 7).

По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены впервые для бореальных лесов России. В ходе исследований использовался многоуровневый подход – сочетание спутниковых данных разного разрешения с аэросъемкой и наземными данными для оценки пространственной динамики интенсивности горения, последствий лесных пожаров, воздействия пожаров разной интенсивности на эмиссии углерода и на компоненты экосистемы. Моделируемые лесные пожары были низовыми, периодически переходившими в кроны деревьев, и носили устойчивый характер. Такие пожары репрезентативны для светлохвойных насаждений Средней Сибири (рис. 8).

В результате моделирования получены экспериментальные данные по воздействию лесных пожаров разной интенсивности на структуру и биомассу светлохвойных насаждений, на



Рис. 7. Участники международной экспедиции на экспериментах по моделированию поведения лесных пожаров в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2003 г.

прямые пожарные эмиссии и послепожарные биогенные эмиссии. Установлено, что при пожарах в сосняках и лиственничниках эмиссии углерода составляют от 4.3 т/га при низкоинтенсивном пожаре до 15.4 т/га при высокоинтенсивном (Иванова и др., 2014, 2022).

На основе экспериментальных данных установлена связь отдельных параметров горения при пожаре с погодными условиями, которые могут быть охарактеризованы комплексными показателями пожарной опасности по погоде, широко используемым в практике охраны лесов от пожаров России, США и Канады.

В течение 15 лет после экспериментальных пожаров проводился мониторинг воздействия пожаров с известными параметрами поведения на растительность, физические и химические свойства почв и почвенную биоту, а также на параметры баланса углерода (рис. 9).

На начальных этапах послепожарного лесовосстановления индикаторами лесорастительных условий и сукцессии являются растения нижних ярусов. При анализе послепожарных сукцессий были использованы геоботанические электронные карты напочвенного покрова, созданные на основе ГИС-технологий.



Рис. 8. Эксперимент по моделированию лесного пожара в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2002 г.



Рис. 9. Лесовозобновление через 13 лет после экспериментального высокоинтенсивного пожара в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2015 г.

По нашим данным, в первые 5 лет после пирогенного воздействия, вне зависимости от интенсивности горения, увеличивается минерализационный поток, и экосистема сосняков становится источником углерода в атмосферу.

* * *

С годами наблюдается тенденция увеличения отрицательного значения сальдо баланса, что вызвано превалированием деструкционных процессов вследствие отпада деревьев и накопления подстилки над интенсивностью фотосинтетической ассимиляции. По данным С. Wirth и соавт. (1999), на восстановление функционирования экосистемы сосняков в качестве стока углерода необходимо не менее 40 лет. По нашим данным, этот период определяется степенью нарушения лесной экосистемы, которая, в свою очередь, зависит от интенсивности пожара. Лесные экосистемы, пройденные низкоинтенсивными низовыми пожарами, восстанавливаются в качестве стока углерода в более короткие сроки.

По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены впервые для бореальных лесов России. Это стало хорошей школой для молодых ученых. С использованием материалов данных исследований защищено 8 кандидатских и 3 докторских диссертации и более 20 дипломных квалификационных работ студентами. По результатам международных исследований опубликовано две коллективные монографии под общей редакцией Г. А. Ивановой: «Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири» (2014) и «Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья» (2022), более 100 статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арцыбашев Е. С. Основные задачи лесной пирологии // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1984. С. 5–7.
- Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири / Иванова Г. А., Кошард С. Г., Макрей Д. Д. и др. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Иванова Г. А., Кукавская Е. А., Безкорвайная И. Н. и др. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.
- Иванова Г. А., Жила С. В., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Кукавская Е. А. Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2018. № 3. С. 30–41.

- Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, Г. А. Иванова и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 172 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Куценкогий К. П., Валендик Э. Н., Буфетов Н. С., Барышев В. Б. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. Т. 3. № 1. С. 93–101.
- Мелехов И. С. Возобновление леса при концентрированных рубках на Севере. Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1954. 198 с.
- Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах». М.: Правительство РФ, 2020.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27.08.2019 № 580 «Об утверждении Методических указаний по организации и проведению профилактических контролируемых противопожарных выжиганий хвороста, лесной подстилки, сухой травы и других лесных горючих материалов в лесах, расположенных на землях лесного фонда». М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2019.
- Ткаченко М. Е. Очистка лесосек. М.; Л.: Сельхозиздат, 1931. 112 с.
- Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири / Валендик Э. Н., Верховец С. В., Кисляхов Е. К. и др. Красноярск: СФУ, 2011. 160 с.
- Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, С. В. Верховец и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 209 с.
- Dieterich J. H., Swetnam T. W. Dendrochronology of fire scarred ponderosa pine // For. Sci. 1984. V. 30. Iss. 1. P. 238–247.
- Fire in ecosystems of boreal Eurasia / J. Goldammer, V. V. Furjaev (Eds.). London: Kluwer Acad. Publ., 1996. 528 p.
- Goldammer J. G., Eritsov A. M., Kisilyakhov E. K. The need for development of pragmatic and science-based solutions for forest management and fire management for the Russian Federation // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 5. P. 114–124.
- Kasischke E. S., Christensen N. L., Stocks B. J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests // Ecol. Appl. 1995. V. 5. Iss. 2. P. 437–451.
- Madany M. N., Swetnam T. W., West N. E. Comparison of two approaches for determining fire dates from tree scars // For. Sci. 1982. V. 28. N. 4. P. 856–861.
- McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Rep. O-X-287. Sault Ste. Marie, Ontario: Environ. Can., Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., 1979. 44 p. + Append.
- Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia / E. N. Valendik, J. G. Goldammer, E. K. Kisilyakhov et al.; J. G. Goldammer (Ed.). Remagen, Germany: Kessel Publ. House, 2013. 324 p.
- Weber M. G., Flannigan M. D. Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impact on fire regimes // Environ. Rev. 1997. V. 5. N. 3–4. P. 145–166.
- Wirth C., Schulze E. D., Schulze W., Stünzner-Karbe D. von, Ziegler W., Miljukova I. M., Sogatchev A., Varlagin A. B., Pamyorov M., Grigoriev S., Kusnetzova W., Siry M.,

Hardes G., Zimmermann R., Vygodskaya N. N. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by completion and fire // *Oecologia*. 1999. V. 121. N. 1. P. 66–80.

Wotton B. M., Flannigan M. D., Marshall G. A. Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada // *Environ. Res. Lett.* 2017. V. 12. N. 9. Article 095003. 12 p.

SCIENTIFIC COOPERATION ON THE PROBLEM OF FOREST FIRES IN SIBERIA (TO THE 30TH ANNIVERSARY OF THE BOR INTERNATIONAL EXPERIMENT)

G. A. Ivanova, E. K. Kisilyakhov

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, yegor@ksc.krasn.ru

The article presents the results of thirty years of international cooperation on the problem of forest fires with scientists from Europe and America. During this period, international conferences, meetings, and joint experimental studies were conducted on forest fires modeling and post-fire succession monitoring in the boreal forests of Siberia. The Bor Forest Island Fire Experiment was conducted in 1993 in the Krasnoyarsk Region to study the burning of biomass in the Middle Taiga pine forest. The experiment was a simulated controlled high-intensity forest fire. The experimental fire behavior and fire emissions parameters obtained made it possible to conduct post-fire monitoring and assess the effects of fire on forest components. The Bor Forest Island Fire Experiment was unique in its size and long-term monitoring of post-fire reforestation. In 1996, joint international studies were launched to conduct controlled burning of logged sites in order to reduce fire danger and stimulate reforestation processes in clear-cuts in lowland and mountain fir forests with ground vegetation as mixed grasses and green mosses. In order to study the impact of fires on ecosystem components, experiments were conducted during the same period to simulate fires of varying intensity in Southern Taiga and Middle Taiga pine forests. In terms of the level of comprehensive research and the depth of their study, the experiments are unique and were conducted for the first time for the boreal forests of Russia. After controlled burning and experiments, the process of post-fire reforestation was monitored. Scientific cooperation and exchange of experience with colleagues from other countries have enriched domestic forest fire science with foreign experience and knowledge, and also made the results of research by Russian scientists available to the international scientific community.

Keywords: *pyrogenic factors in boreal forests of Eurasia, forest fire monitoring, international cooperation.*

How to cite: *Ivanova G. A., Kisilyakhov E. K. Scientific cooperation on the problem of forest fires in Siberia (to the 30th anniversary of the Bor international experiment) // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 155–164 (in Russian with English abstract and references).*