

УДК 630.6
DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.2.06

Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров

А. В. Волокитина – Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Красноярский научный центр СО РАН, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Красноярск, Российская Федерация, volokit@ksc.krasn.ru

Т. М. Софронова – Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, кандидат филологических наук, Красноярск, Российская Федерация, tmsofronova@gmail.com

Проанализирована эффективность управления пожарами в США и России. Приведен основной принцип оптимизации затрат при тушении лесных пожаров и возможности преодоления сложностей при его внедрении в практику пожаротушения в России. Предложен метод оптимизации затрат при тушении лесных пожаров на основе карт растительных горючих материалов.

Ключевые слова: тушение лесных пожаров, оптимизация затрат, ущерб от лесных пожаров, экология, баланс кислорода и углерода, карты растительных горючих материалов.

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.2.06>
Волокитина, А. В. **К вопросу об оптимизации затрат при тушении лесных пожаров** [Электронный ресурс] / А. В. Волокитина, Т. М. Софронова // Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2018. – № 2. – С. 54–64. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Введение

В условиях все возрастающего антропогенного и климатического пресса число и площади пожаров во всем мире увеличиваются, соответственно растут и затраты на их тушение. Зарубежная практика пожаротушения показывает, что наращивание технической мощности проблему не решает. Поэтому вопросы оптимизации затрат на тушение лесных пожаров остаются актуальными.

В предпринимательской деятельности расчет оптимизации затрат базируется на показателях себестоимости продукции и рентабельности производства. Однако тушение лесных пожаров не является производством товаров или услуг, оно относится к сфере охраны от стихийных бедствий.

В Научно-исследовательском и аналитическом центре экономики леса и природопользования (Москва) придерживаются мнения, что «лесные пожары представляют собой чрезвычайные ситуации, когда нельзя достоверно спрогнозировать их виды, способы и тактику их тушения и т.д.» [1]. Поэтому использовать нормативный метод при оценке затрат на тушение лесных пожаров некорректно, целесообразнее применять экспертный метод.

В то же время результаты фундаментальных исследований в лесной пирологии, посвященные изучению увлажнения, высыхания и горения растительных горючих материалов (РГМ) под влиянием метеорологических условий, а также разработке классификаций РГМ и методов их картографирования, позволяют прогнозировать возможные виды лесных пожаров на той или иной территории и планировать оптимальную тактику тушения.

Состояние вопроса

Проблемы эффективности затрат и их оптимизации при тушении лесных пожаров за рубежом рассмотрим на примере Лесной службы США [2]. Пожары 1910 г. в Айдахо и Монтане ста-

ли одними из самых крупных в истории США. Именно после них было принято решение о создании общенациональной противопожарной службы. В 1935 г. Лесная служба США начала реализацию политики подавления пожаров («10 часов утра»), которая проводилась до конца 1960-х гг. В соответствии с ее требованиями, к 10 утра дня, следующего за обнаружением лесного пожара, он должен быть локализован, или, по крайней мере, должны начаться активные работы по его тушению. В результате проведения политики исключения лесных пожаров из экосистемы в лесах образовался густой подлесок, в нем скопилось большое количество горючего материала, особенно вблизи населенных пунктов. Это создавало угрозу возникновения катастрофических лесных пожаров.

Политика управления пожарами пересматривалась в США в 1978, 1995 и в 2001 гг. При этом обсуждались вопросы планового использования огня (синоним термина «предписанный пал»), проводился анализ затрат в управлении пожарами, а также изучалась концепция о важности экологической роли лесных пожаров в экосистеме.

В последующем изменения в политике управления лесными пожарами касались требования анализа затрат на их тушение для урегулирования бюджета. В результате была разработана Национальная система анализа управления пожарами, в которой использована модель оценки эффективности [2] управления пожарами. В настоящее время в США оценивается польза предложенной модели.

Сейчас между Лесной службой США и населением проходит дискуссия о готовности владельцев частных домов оплачивать расходы на тушение лесных пожаров, поскольку «настало время для населения взять на себя ответственность за решение проживать на территориях с высокой пожарной опасностью» [2].

В России борьбу с лесными пожарами осуществляют службы государственной лесопожарной охраны (Авиалесоохрана, наземная охрана, МЧС). Политика, направленная на тушение всех возникающих пожаров, постепенно меняется в

сторону признания их значительной экологической роли в отдельных случаях. Кроме того, считается возможным не тушить лесные пожары в удаленных районах, если они не угрожают населенным пунктам и промышленным предприятиям. Однако это не исключает необходимость контролировать каждый возникающий пожар и прогнозировать его поведение, т. е. скорость распространения при данных погодных условиях, развитие (возможности перехода в верховой или низовой) и последствия.

Разработанные еще в 2012 г. в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН методические рекомендации «Управление действующими лесными пожарами» до сих пор не применяются на практике, так как у Рослесхоза нет средств на их опытно-производственную проверку и внедрение. Вместе с тем данные рекомендации позволят обеспечить научную основу принятия эффективных решений при управлении возникающими лесными пожарами и, как следствие, оптимизацию затрат на их тушение.

Методы оценки эффективности и оптимизации затрат при тушении пожаров

Методы оценки эффективности затрат и их оптимизации при тушении лесных пожаров разрабатываются давно. Главная идея метода оптимизации сформулирована еще в 1920-е гг. в США [3] и состоит в том, что контролирование и тушение лесных пожаров осуществляются с целью снизить ущерб от их последствий.

Ущерб от последствий пожаров, затраты на их предупреждение (профилактику) и контролирование (управление пожарами) являются прямыми потерями для общества. Поэтому величина затрат будет оптимальной, когда сумма затрат и ущерба минимальна.

В начале формирования Лесной службы США сравнительно небольшие затраты на охрану лесов от пожаров обуславливали значительное снижение площади пожаров и ущерба от них. В дальнейшем увеличение затрат все меньше стимулировало снижение ущерба, т. е. сумма затрат и

ущерба снижалась все медленнее, а затем начала возрастать, поскольку увеличение затрат на тушение пожаров перестало компенсироваться снижением ущерба от последствий пожаров. Это означает, что дальнейшее увеличение затрат на управление пожарами, т.е. на их контролирование и тушение, становится не выгодно для общества. Такое состояние наступает, когда затраты на управление пожарами приблизительно равны величине ущерба от них, а точнее, когда тренд увеличения затрат совпадает с трендом снижения ущерба. Правильная оценка этих трендов является очень сложной задачей по ряду причин.

Прежде всего оценка осложняется значительными флуктуациями по годам площади пожаров, ущерба от них и затрат на их контролирование. Флуктуации имеют случайный характер в пространстве и во времени и наблюдаются не только на относительно небольших территориях (до 1 млн га), но и в пределах больших государств. Отсутствие закономерностей во флуктуациях затрудняет выбор обоснованной методики для расчета трендов.

До сих пор остается спорной оценка ущерба от последствий лесных пожаров (особенно косвенного ущерба и прогнозируемого экологического ущерба, экономическая оценка пирогенных сукцессий и т. п.). Оценка ущерба осложняется еще и тем, что отдельные лесные пожары могут наносить не только вред, но и приносить определенную «пользу», способствуя процессу лесовозобновления.

Кроме того, необходимо учитывать и цель оценки ущерба. Например, в России главной целью оценки ущерба от пожаров является обоснование величины судебных исков (в денежном выражении), которые предъявляются виновникам пожаров. Очевидно, что в подобных случаях оценка ущерба должна быть точной и бесспорной, т. е. она должна учитывать только прямые убытки (от гибели древесины, другого имущества и т. п.). В размер иска также обязательно включают затраты на контролирование и ликвидацию пожара.

Е. Е. Моисеевой и Д. В. Южаковым [4] описан метод определения экономической эффективности

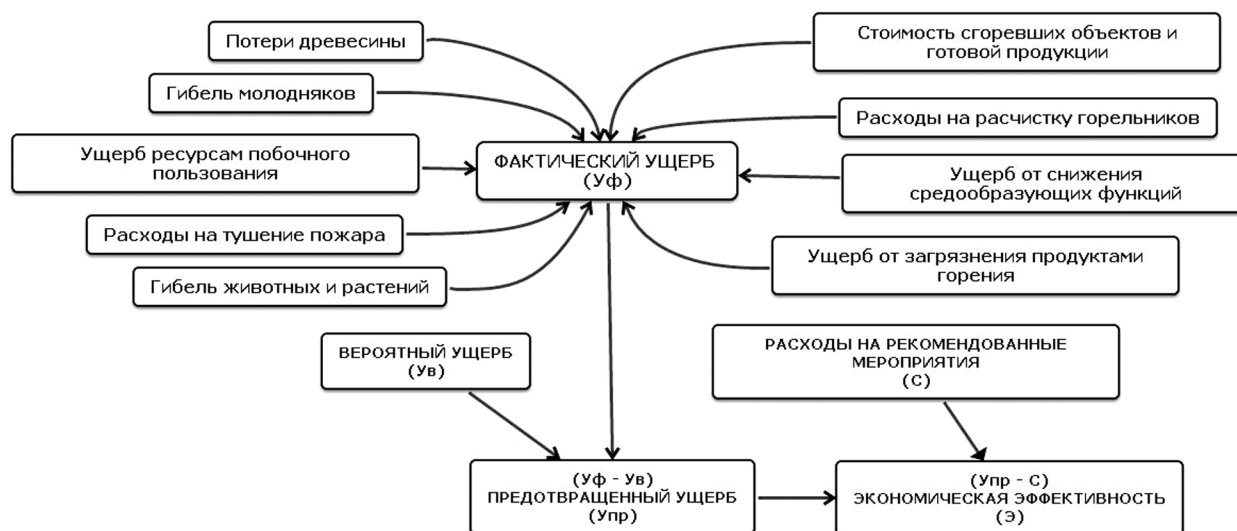
ти использования средств, вкладываемых в охрану леса от пожаров, на основе учета фактического ущерба, вероятного ущерба, предотвращенного ущерба и затрат по профилактике лесных пожаров. Данный метод для наглядности можно представить в виде общей схемы (рисунок). Она построена с использованием результатов анализа горимости конкретного лесничества за 5 лет. Все отраженные на схеме компоненты определены на основе существующих нормативов. Экономическая эффективность использованных средств при этом определяется как разность между предотвращенным ущербом и стоимостью предлагаемых противопожарных мероприятий.

По нашему мнению, предъявление денежных исков виновникам лесных пожаров для возмещения ущерба является неверным с моральной точки зрения. Ведь величина площади, пройденной огнем, и, следовательно, размер ущерба во многом зависят от оперативности и качества работы лесных пожарных. Виновник пожара не должен нести ответственность за качество их работы. Поэтому виновника пожара, который совершил неумышленный поджог, следует наказывать штрафом. Размер штрафа должен зависеть от места, времени и обстоятельств неумышленного поджога, наличия других смягчающих или отягчающих обстоятельств и лишь частично от размера ущерба от пожара.

Таким образом, оценка ущерба от последствий пожаров должна проводиться, главным образом, с целью оптимизации затрат на управление пожарами. При оценке должны учитываться все виды ущерба, как прямого, так и косвенного, включая учет длительных последствий, а также возможную «пользу» от воздействия огня, т. е. оценка ущерба должна быть комплексной.

Комплексная оценка ущерба от пожаров в достаточной мере условна, поскольку в ее основе лежит прогноз изменений в лесу (гибель деревьев, подрост, напочвенного покрова и т.д.). Многие части совокупного ущерба нельзя определять с высокой степенью точности. Отсюда можно сделать вывод, что не имеет смысла определять с высокой степенью точности и другие части (слагаемые) совокупного ущерба. Комплексная оценка ущерба от последствий пожаров должна выполняться без сложных вычислений, простыми методами, лучше всего с помощью таблиц.

Оценка ущерба, нанесенного крупными пожарами, затруднена из-за значительного варьирования в пространстве и во времени характера горения и его последствий. Крупные пожары формируют более 80% выгоревшей площади за сезон. Обследовать крупные пожарища наземным способом затруднительно, необходимо использовать и совершенствовать дистанционные методы [5, 6]. Много неясного существует и в де-



Общая схема расчета экономической эффективности использования средств при тушении лесных пожаров [4]

нежной оценке ущерба, который наносят пожары «невесомым полезностям леса» (водоохранным, почвозащитным, гидрологическим, эстетическим, лечебным, рекреационным и другим свойствам); методы определения их стоимости остаются дискуссионными.

В 1986 г. Х. С. Сингх [7] высказал интересную мысль: «Если общество запрещает промышленную рубку леса на отдельных частях территории, где лес имеет особые свойства и качества, то, значит, общество оценивает стоимость этих свойств леса на таких участках выше стоимости древесины». Следовательно, для денежной оценки неизмеримых физически свойств и качеств леса необходимо сначала осуществить денежную оценку древесины на таких участках, затем умножить ее на некоторый коэффициент больше 1 в зависимости от функций лесного участка. Пожар снижает денежную оценку особых свойств леса пропорционально уменьшению густоты и запаса древостоя. В России средняя величина коэффициента равна 2.

Принято считать, что нельзя не учитывать влияние пожаров на баланс кислорода и углерода в атмосфере. При этом распространено мнение, что главными поставщиками кислорода в атмосферу планеты являются леса. При уничтожении лесов и активном сжигании ископаемого топлива содержание кислорода в атмосфере будет снижаться, вследствие чего человечество «задохнется». Поэтому главная продукция лесов – не древесина, а кислород, и это необходимо учитывать при оценке ущерба от пожаров [8].

Однако М. А. Софронов [9] считал такое мнение ошибочным, поскольку выделение кислорода растениями происходит в процессе фотосинтеза при образовании живого органического вещества и росте растений. Но растения и их части отмирают, а затем перегнивают, окисляются, минерализуются. При этом весь выделенный кислород поглощается, и образуется углекислый газ. Лес – это экосистема; в ее составе есть растения, которые выделяют кислород, и почва, которая его поглощает. Положительный кислородный баланс с постоянным, а не временным выделением кислорода в атмосферу отмечается только в тех

экосистемах, где происходит постоянное накопление «законсервированного» органического вещества на неограниченный срок. Подобный процесс наблюдается почти исключительно в водной среде: в донных отложениях океанов, морей и озер и в торфе болот. Донные отложения со временем образуют толщи осадочных пород, которые содержат в рассеянном виде органическое вещество – кероген. Его количество на планете огромно, содержание углерода в нем оценивается в $15\,000 \cdot 10^{12}$ т [10]. Следовательно, основными «поставщиками» кислорода в атмосферу всегда были и остаются водные экосистемы. Лесная растительность в целом (исключая заболоченные леса) не может формировать положительный кислородный баланс.

По мнению М. А. Софронова [9], ошибкой является также предположение о возможности кислородного дефицита в атмосфере. Количество кислорода в атмосфере планеты очень велико. В столбе воздуха над каждым 1 м^2 поверхности суши и океана содержится около 2 т кислорода, а вся масса кислорода в атмосфере составляет $1\,140 \cdot 10^{12}$ т. В разведанных запасах ископаемого топлива содержится $4 \cdot 10^{12}$ т углерода; в почве и торфе – еще $3 \cdot 10^{12}$ т, в живых организмах (преимущественно, растениях) – $0,56 \cdot 10^{12}$ т [10]. Таким образом, количество углерода в органическом веществе, которое доступно для окисления, насчитывает $7,56 \cdot 10^{12}$ т. Легко подсчитать, что для окисления (горения, гниения) всего органического вещества на планете требуется $17,4 \cdot 10^{12}$ т кислорода, т.е. только 1,5% массы кислорода, содержащегося в атмосфере Земли. Следовательно, даже если человечество сожжет все доступные запасы топлива, включая всю растительность, дефицита кислорода в атмосфере не будет [9].

Итак, можно было бы сделать вывод, что при оценке ущерба от пожаров не нужно учитывать и оценивать нарушение пожарами «кислородопроизводящей» функции леса. Однако нельзя забывать об очищающей роли лесной растительности, поскольку даже при достаточном количестве кислорода на Земле качество воздуха без лесной растительности будет другим. К сожалению, как это учесть в расчетах, пока неясно.

В последние годы все больше уделяется внимания балансу углерода в связи с потеплением климата. Какова роль леса и лесных пожаров в этом балансе? Известно, что при фотосинтезе объем выделяемого кислорода (O_2) равен объему поглощаемого углекислого газа (CO_2), а при горении или гниении – наоборот: объем поглощаемого O_2 равен объему выделяемого CO_2 . Но следует учитывать, что CO_2 в атмосфере в 700 раз меньше, чем O_2 (всего 0,03% против 20,95%). И если содержание O_2 на несколько сотых долей процента уменьшится, это будет незаметно. Когда же на эти сотые доли процента увеличится содержание CO_2 , произойдут климатические изменения.

Таким образом, гибель и восстановление лесов на обширных территориях (например, в результате массовых пожаров) практически не отражаются на балансе атмосферного O_2 , но могут оказывать заметное влияние на баланс CO_2 в атмосфере со всеми вытекающими последствиями [11, 12]. Однако, как учитывать ущерб от влияния пожаров на баланс CO_2 , пока до конца неясно.

Экономическая эффективность охраны лесов от пожаров

В России предлагали оценивать экономическую эффективность охраны лесов от пожаров в каждом регионе за год, сравнивая затраты на лесопожарную охрану с гипотетической величиной предотвращенного ущерба [4, 13]. Предотвращенный ущерб определяется по разности между величиной ущерба, который был бы возможен в данном году при отсутствии лесопожарной охраны, и реальным ущербом при ее работе. На первый взгляд, метод кажется идеальным, но в нем есть скрытый порок, который лучше пояснить на примере.

Например, имеется лесной массив стоимостью 1 млн руб. В нем возникает пожар, который быстро ликвидируют. Ущерб ничтожен, но если бы пожар не потушили, то лесной массив сгорел бы и ущерб составил бы 1 млн руб. Это и есть

предотвращенный ущерб. На следующий год снова возникает пожар, опять лесной массив спасают и опять предотвращенный ущерб равен 1 млн руб. На третий год все повторяется. В итоге сумма предотвращенного ущерба при охране лесного массива за 3 года составила 3 млн руб. при стоимости лесного массива в 1 млн руб. Это абсурд, такого быть не должно!

Эффективность управления лесными пожарами можно значительно повысить при использовании прогноза поведения лесных пожаров на основе карт растительных горючих материалов (карт РГМ). Методы составления карт РГМ разработаны в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Информационные базы данных для составления таких карт по материалам лесоустройства имеются на Чунское лесничество (Красноярский край) и заповедники («Столбы», «Саяно-Шушенский», «Кузнецкий Алатау», «Убсунурская котловина») [14–16]. Там, где лесоустроительная информация отсутствует или не актуальна, можно использовать метод составления карт РГМ на основе космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения [17, 18].

Карты РГМ отражают растительные горючие материалы и их состояние в связи с конкретными метеорологическими условиями. При этом сама карта содержит информацию о главной группе РГМ – основных проводниках горения и их распределении по территории. В прилагаемом к карте пирологическом описании дается характеристика других групп растительных горючих материалов, которые в зависимости от вида пожара могут принимать или не принимать участия в горении [14]. Разработана компьютерная программа в ГИС, позволяющая прогнозировать вид пожара на основе карт РГМ, скорость распространения его тактических частей, необходимое количество людей и техники для тушения, а также возможный ущерб от пожара в виде отпада в древостое в зависимости от среднего диаметра древесной породы и интенсивности горения в данном таксационном выделе при данных погодных условиях [19]. Прогноз «поведения» лесных пожаров позволяет принимать оптимальные решения о необходимости тушения того или

иною пожара, а также дает возможность контролировать их возможное распространение.

Зачастую быстро и надежно ликвидировать пожар с наименьшими затратами бывает сложно. Основные трудности возникают при ликвидации скрытых очагов тления подстилки на кромке пожара или создании условий, препятствующих распространению тления. От очагов тления плохо потушенные пожары могут возобновляться и затем распространяться на большие площади.

Анализ показывает, что в России около 70% крупных пожаров развиваются из потушенных, но возобновившихся пожаров. В отличие от производства товаров, при тушении пожаров «брак» в принципе недопустим. В связи с этим необходимо использовать прогноз развития лесного пожара, т. е. устанавливать возможность его перехода из низового в верховой или почвенный.

Однако даже при самых недорогих и надежных технологиях тушения нельзя обойтись без хорошо обученных и опытных лесных пожарных: решать задачу в каждом конкретном случае сложно без их таланта и опыта. Существующая система оплаты труда пожарных не стимулирует эффективную ликвидацию пожаров. Так, если действующих пожаров станет немного, заработок лесных пожарных значительно снизится.

Вопрос со стимулирующей оплатой труда лесных пожарных, по нашему мнению, может быть решен следующим образом. В каждом небольшом регионе на основании опыта за прошлые годы необходимо разработать нормативы ежедневных затрат на сдерживание пожарной ситуации в зависимости от сезона (весна, лето, осень, зима) и величины метеорологического индекса пожарной опасности. В конце сезона

подсчитывают реальные затраты и сравнивают с нормативными. Если реальные затраты меньше нормативных, то разница (при эффективном сдерживании пожарной ситуации) выплачивается лесным пожарным в виде дополнительного вознаграждения.

Заключение

С целью оптимизации затрат на тушение лесных пожаров предлагается сравнивать тренды увеличения затрат на управление и уменьшения ущерба от пожаров. Равенство трендов (по абсолютной величине) указывает на оптимальную среднюю ежегодную величину затрат. Расчет трендов затрудняют флуктуации ежегодной горимости лесов и сложность оценки ущерба от последствий пожаров, поскольку она должна учитывать все виды ущерба (как прямые, так и косвенные, в том числе прогностические). Денежная оценка экологических функций леса пока недостаточно разработана, поэтому комплексная оценка ущерба от последствий пожаров может быть только приблизительной. Она должна выполняться простыми способами с использованием региональных таблиц.

Рассчитанную оптимальную величину затрат на управление лесными пожарами желательно каждый год перечислять в специально созданный фонд (наподобие страхового фонда). В годы с малой горимостью лесов величина затрат бывает меньше среднего уровня, и средства в фонде накапливаются. Накопленные средства будут активно расходоваться в годы с высокой горимостью лесов.

Список использованной литературы

1. О порядке формирования нормативных затрат на тушение лесных пожаров для специализированных бюджетных (автономных) учреждений по обеспечению мер пожарной безопасности в лесах и по тушению лесных пожаров // *Новости Научно-исследоват. и аналит. центра экономики леса и природопользования*. – Режим доступа: <http://www.umocpartner.ru/http://www.umocpartner.ru/> (дата обращения: 15 сентября 2017 г.).
2. Gonzalez-Caban, A. Wildland fire management policy and fire management economic efficiency in the USDA forest service / A. Gonzalez-Caban // *Proceedings of the IV International Wildland Fire Conference; 13-17 May 2007, Seville, Spain*. – Режим доступа: URL: www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/Keynote-Gonzales-Caban (accessed September 21, 2017).
3. Sparhawk, W. N. The use of liability ratings in planning forest fire protection / W. N. Sparhawk // *Journal of Agricultural Research*. – 1925. – № 30 (8). – P. 693–702.
4. Моисеева, Е. Е. Экономическая эффективность противопожарных мероприятий / Е. Е. Моисеева, Д. В. Южаков // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2009. – № 23. – С. 211–214.
5. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Проблемы. Перспективы : аналит. обзор. – Новосибирск : изд-во ГПНТБ СО РАН, 2003. – 135 с.
6. Хамедов, В. А. Опыт разработки и применения информационно-космических технологий для управления охраной лесов / В. А. Хамедов, Ю. М. Полищук // *Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты : матер. докл. на Междунар. науч.-практ. конф.* – Томск : изд-во STT, 2005. – С. 257–259.
7. Singh, H. S. Economic evaluation of wildfire conservation / H.S. Singh // *The Indian Forester*. – 1986. – № 117 (10). – P. 119–121.
8. Нельзин, В. И. Методические основы определения ущерба от пожара по экологической функции леса / В. И. Нельзин // *Лесн. хоз-во*. – 1988. – № 9. – С. 31–33.
9. Софронов, М. А. О кислородопроизводящей функции леса / М. А. Софронов // *Лесн. хоз-во*. – 1996. – № 5. – С. 27–28.
10. Berner, R. A. Modeling the Geochemical Carbon Cycle / R. A. Berner, A. C. Lasaga // *Scientific American*. – 1989. – № 5. – P. 44–52.
11. Dixon, R. K. The global carbon cycle and climat change responses and feedback's from belowground Systems / R. K. Dixon, D. P. Turner // *Environmental Pollution*. – 1991. – № 73. – P. 245–262.
12. Levin, J. S. Global biomass burning: atmospheric climate and biospheric implications / J. S. Levin. – Cambridge, MA : MIT Press, 1991. – 460 p.
13. Овсянников, И. В. Противопожарное устройство лесов / И. В. Овсянников. – М. : Лесн. пром-сть, 1978. – 121 с.
14. Прогноз поведения лесных пожаров / А. В. Волокитина, М. А. Софронов, М. А. Корец, Т. М. Софронова, И. А. Михайлова. – Красноярск : СО РАН, Институт леса им. В.Н.Сукачева, 2010. – 211 с.
15. Волокитина, А. В. Управление действующими лесными пожарами (Методические рекомендации) / А. В. Волокитина, М. А. Корец, Т. М. Софронова. – Красноярск : СО РАН, Институт леса им. В. Н.Сукачева СО РАН, 2012. – 78 с.
16. Корец, М. А. Программа расчета пирологического описания лесостроительных выделов / М. А. Корец, А. В. Волокитина. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014660252 от 03.09.2014 г.
17. Софронова, А. В. Оценка пожарной опасности на участках освоения нефтегазовых месторождений / А. В. Софронова, А. В. Волокитина // *Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные*

пути решения : матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Красноярск, 19–23 сентября 2016. – Красноярск : ИЛ СО РАН, 2016. – С. 187–188.

18. Софронова, А. В. Оценка природной пожарной опасности на территории лесных нефтегазовых комплексов / А. В. Софронова, А. В. Волокитина // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 5. – С. 84–94.

19. Корец, М. А. Программа для прогноза распространения низового пожара / М. А. Корец, А. В. Волокитина. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661771 от 9.10.2015 г.

References

1. О порядке формирования нормативных затрат на тушение лесных пожаров для специализированных бюджетных (автономных) учреждений по обеспечению мер пожарной безопасности в лесах и по тушению лесных пожаров // *Novosti Nauchno-issledovat. i analit. centra ehkonomiki lesa i prirodopol'zovaniya*. – Режим доступа: <http://www.umocpartner.ru/http://www.umocpartner.ru/> (дата обращения: 15 сентября 2017 г.).

2. Gonzalez-Caban, A. Wildland fire management policy and fire management economic efficiency in the USDA forest service / A. Gonzalez-Caban // *Proceedings of the IV International Wildland Fire Conference; 13-17 May 2007, Seville, Spain*. – Режим доступа: URL: www.fire.uni-freiburg.de/sevilla-2007/ Keynote-Gonzales-Caban (accessed September 21, 2017).

3. Sparhawk, W. N. The use of liability ratings in planning forest fire protection / W. N. Sparhawk // *Journal of Agricultural Research*. – 1925. – № 30 (8). – P. 693–702.

4. Moiseeva, E. E. Ehkonomicheskaya ehffektivnost' protivopozharnykh meropriyatij / E. E. Moiseeva, D. V. Yuzhakov // *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. – 2009. – № 23. – С. 211–214.

5. Sputnikovyy monitoring lesnykh pozharov v Rossii. Problemy. Perspektivy : analit. obzor. – Novosibirsk : izd-vo GPNTB SO RAN, 2003. – 135 s.

6. Hamedov, V. A. Opyt razrabotki i primeneniya informacionno-kosmicheskikh tekhnologiy dlya upravleniya ohranoj lesov / V. A. Hamedov, Yu. M. Polishchuk // *Lesopol'zovanie, ehkologiya i ohrana lesov: fundamental'nye i prikladnye aspekty : mater. dokl. na Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* – Tomsk : izd-vo STT, 2005. – С. 257–259.

7. Singh, H. S. Economic evaluation of wildfire conservation / H.S. Singh // *The Indian Forester*. – 1986. – № 117 (10). – P. 119–121.

8. Nel'zin, V. I. Metodicheskie osnovy opredeleniya ushcherba ot pozhara po ehkologicheskoy funkcii lesa / V. I. Nel'zin // *Lesn. hoz-vo*. – 1988. – № 9. – С. 31–33.

9. Sofronov, M. A. O kislorodoproizvodyashchej funkcii lesa / M. A. Sofronov // *Lesn. hoz-vo*. – 1996. – № 5. – С. 27–28.

10. Berner, R. A. Modeling the Geochemical Carbon Cycle / R. A. Berner, A. C. Lasaga // *Scientific American*. – 1989. – № 5. – P. 44–52.

11. Dixon, R. K. The global carbon cycle and climate change responses and feedback's from belowground Systems / R. K. Dixon, D. P. Turner // *Environmental Pollution*. – 1991. – № 73. – P. 245–262.

12. Levin, J. S. Global biomass burning: atmospheric climate and biospheric implications / J. S. Levin. – Cambridge, MA: MIT Press, 1991. – 460 p.

13. Ovsyannikov, I. V. Protivopozharnoe ustrojstvo lesov / I. V. Ovsyannikov. – М. : Lesn. prom-st', 1978. – 121 s.

14. Prognoz povedeniya lesnykh pozharov / A. V. Volokitina, M. A. Sofronov, M. A. Korec, T. M. Sofronova, I. A. Mihajlova. – Krasnoyarsk : SO RAN, Institut lesa im. V.N.Sukacheva, 2010. – 211 s.

15. Volokitina, A. V. Upravlenie dejstvuyushchimi lesnymi pozharemi (Metodicheskie rekomendacii) / A. V. Volokitina, M. A. Korec, T.M. Sofronova. – Krasnoyarsk : SO RAN, Institut lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN, 2012. – 78 s.

16. Korec, M. A. Programma rascheta pirologicheskogo opisaniya lesoustroitel'nyh vydelov / M. A. Korec, A. V. Volokitina. – Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVM №2014660252 ot 3.09.2014 g.
17. Sofronova, A. V. Ocenka pozharnoj opasnosti na uchastkah osvoeniya neftegazovyh mestorozhdenij / A. V. Sofronova, A. V. Volokitina // Intensifikaciya lesnogo hozyajstva Rossii: problemy i innovacionnye puti resheniya : mater. Vseross. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. – Krasnoyarsk, 19-23 sentyabrya 2016. – Krasnoyarsk : IL SO RAN, 2016. – С. 187–188.
18. Sofronova, A. V. Ocenka prirodnoj pozharnoj opasnosti na territorii lesnyh neftegazovyh kompleksov / A. V. Sofronova, A. V. Volokitina // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2017. – № 5. – С. 84–94.
19. Korec, M. A. Programma dlya prognoza rasprostraneniya nizovogo pozhara / M. A. Korec, A. V. Volokitina. – Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHVM № 2015661771 ot 9.10.2015 g.

Optimization of Forest Fire Fighting Expenditures

A. Volokitina – Sukachev Institute of Forest SB RAS, Division of Federal Research Center, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, Senior researcher, Doctor of Agricultural Sciences

Krasnoyarsk, Russian Federation, volokit@ksc.krasn.ru

T. Sofronova – Astafiev Krasnoyarsk State Pedagogical University, Associated Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Candidate of Philological Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation, tmsofronova@gmail.com

Key words: forest fire fighting, optimization of expenditures, forest fire damage, environment, oxygen and carbon balance, vegetation fuel maps.

The relevant background is analyzed in the USA and Russia. It is pointed out that expenditures for forest fire fighting and forest fire damage are in a dynamic reverse dependence. The main principle to optimize expenditures is formulated: the sum of expenditures and damage should be in the minimum. This becomes possible when expenditures and damage are equal. However, it is obvious that it is necessary to take into account a comprehensive damage, direct and indirect, including a predicted one. This principle is difficult to realize in practice since there are undefined and considerable fluctuations of fire areas and fire damage by years, as well as uncertainties in monetary evaluation of environmental fire effects (in particular, forest fire impact on atmospheric oxygen and carbon balance). The paper considers ways to overcome some difficulties on the assumption of equal estimation accuracy for various damage components. It is suggested that forest fire behaviour prediction based on vegetation fuel (VF) maps should be used for optimization of expenditures for forest fire fighting. Methods of making VF maps are developed at the Sukachev Institute of Forest SB RAS. The information databases for making such maps using forest inventory data are available for some parts of Russia: Chunskiy Forest Office (Krasnoyarsk krai) and nature reserves (Stolby, Sayano-Shushensky, Kuznetskiy Alatau, Ubsunurskaya kotlovina). With forest inventory information being absent or not relevant, it is possible to use a method of VF maps creation based on space images of high and ultrahigh resolution.