

УДК 630*114:630*43

ЛЕСОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПИРОГЕННЫХ АНОМАЛИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

М. Д. Евдокименко, Ю. Н. Краснощеков

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

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, kyn47@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2017 г.

Рассматривается природа лесопирогенных аномалий в бассейне оз. Байкал, обусловленная главным образом засушливым климатом региона и преобладанием в лесных массивах высокопожароопасных типов светлохвойных насаждений. Проанализированы пирологические режимы (благополучный, умеренный, интенсивный, экстремальный) в полном высотном диапазоне при различных метеоситуациях сезонов. Лесопирогенные аномалии возникают при интенсивном и экстремальном режимах в основном в период весенне-летнего «пожарного максимума», по мере установления на большей части территории пирологической монотонности при полном отсутствии негоримых участков растительности. Отсюда высокий риск возникновения обширных ландшафтных пожаров, что реально происходило в недавних 2003 и 2015 гг. Изучены послепожарные трансформации лесных экосистем: огневые повреждения насаждений, постпирогенная динамика их жизнеспособности и продуктивности, основные вариации в ходе лесообразовательного процесса, изменения в почвенной среде, в том числе зольности и кислотности лесных подстилок, физико-химических свойств почв. Пирогенная деструкция лесных экосистем неизбежно ведет к деградации защитных функций байкальских лесов, на восстановление которых после ландшафтных пожаров уходят многие десятилетия. Продукты эрозии почв с выгоревших площадей осложняют тревожную ныне ситуацию с загрязнением прибрежных вод Байкала.

Ключевые слова: *ландшафтные пожары, пирогенные аномалии, лесная подстилка, органогенные пирогенные горизонты почв, зольные элементы, водопроницаемость почв, поверхностный жидкий и твердый сток.*

DOI: 10.15372/SJFS20170406

ВВЕДЕНИЕ

Байкальские леса, своеобразные и ценные по биосферной значимости, подвержены регулярно повторяющимся пожарам. На протяжении всего XX в. они контрастно выделялись по горимости на фоне лесных пространств сопредельных регионов. В отдельных природных округах аномальные вспышки огненной стихии происходили задолго до поселенческих рубок. На севере Прибайкалья леса страдали от палов, применяемых местным тунгусским населением с целью привлечения зверя на гари и в послепожарные молодняки. В начале 1930-х гг. экспедицией под руководством В. Н. Сукачева получены данные о последствиях такого рода хозяйствования аборигенов. Гари сосны в долине Верхней Ангары

занимали 17.6 тыс. га, а гари лиственницы – 103.1 тыс. га. Пирогенные потери в кедровниках отягощались необратимостью, несмотря на умеренные площади гарей (Поварницын, 1937). Еще раньше В. Н. Сукачев и Г. Н. Поплавская (1914) отмечали в том же районе понижение верхней границы леса после пожаров, уничтожающих подгольцовые лиственничные редколесья с густым подлеском из кедрового стланика. Следовательно, обширные ландшафтные пожары (в то время преимущественно рукотворные) значительно нарушали растительный покров по всем высотным поясам.

С появлением Транссибирской магистрали пирогенные трансформации лесов становились более масштабными. Например, в Южном Прибайкалье в результате селективного воздействия

череды пожаров в начале XX в. (Панарин, 1979) на месте коренной темнохвойной тайги образовалась зримая и весьма протяженная полоса прибрежных мелколиственных лесов. По данным А. В. Побединского (1965), пожары в байкальских лесах на протяжении этого периода возникали примерно вдвое чаще, чем в лесах Приангарья. Исторический феномен катастрофической горимости лесов наблюдался в 1915 г. Позднее тяжелый урон лесным экосистемам региона нанесли пожары 1930-х и 1950-х гг., возникавшие на разных этапах промышленного освоения лесов.

Позитивная тенденция в пирогенной динамике байкальских лесов наблюдалась в 1970–1980 гг. благодаря целенаправленным исследованиям их природы с последующими экологизацией лесопользования и совершенствованием противопожарной охраны. Научной основой этих преобразований были соответствующие разработки Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР (ныне Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН).

В последние десятилетия вследствие общего регресса в лесном комплексе ситуация с природными пожарами на территории бассейна вновь осложнилась. Тяжелые следы оставила пирогенная аномалия 2003 г. в Юго-Западном и Восточном Прибайкалье. Но еще более катастрофическими оказались ландшафтные пожары 2015 г. Подобные пожары, по образному определению И. С. Мелехова (1980), являются наиболее грандиозным и разрушительным проявлением огненной стихии, так как они охватывают большие территории и способны изменить состояние местного ландшафта.

Цель данной статьи – анализ лесозоологических последствий ландшафтных пожаров, возникающих при пирогенных аномалиях в бассейне Байкала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследовали горные леса бассейна Байкала. Территориальная схема проведения работ основывается на понятии высотно-поясного комплекса типов леса (ВПК) как таксона классификации лесного покрова зонального ранга и на диагностических признаках ВПК для гор Южной Сибири (Типы лесов..., 1980; Назимова и др., 1987).

Пирологические режимы растительных комплексов установлены по материалам прежних исследований их пожароопасности (Евдокимен-

ко, 1991), которые были проведены в центральных и южных лесных массивах региона. Объекты регулярных пирологических наблюдений площадью 0.3–0.8 га расположены в различных высотных лесорастительных поясах на горных хребтах Малханском, Приморском, Хамар-Дабане, Улан-Бургасы, а также по бассейнам рек Турка и Верхняя Ангара. Маршрутными исследованиями в районе Селенгинского среднегорья, включая долины основных притоков р. Селенга (рек Чикой, Хилок, Уда), изучены преимущественно подтаежно-лесостепные и светлохвойные таежные леса.

Лесозоологические последствия огневых воздействий разного вида и интенсивности изучали на ландшафтных пожарищах 2003 г. Пробные площади (ПП) заложили в лесах Юго-Западного (хр. Приморский) и Восточного (хр. Улан-Бургасы) Прибайкалья, преимущественно в насаждениях, которые сохранили жизнеспособность. Эти объекты представляют собой некоторую современную модель таежных и подтаежно-лесостепных лесов, которая, вероятно, может существовать в подобном пирологическом режиме на протяжении последующих 60–100 лет.

При постановке исследований использовали нижеследующие методики. Закладку ПП, а также их лесоводственно-геоботанические характеристики осуществляли согласно методическим указаниям (Сукачев, Зонн, 1961; Программа..., 1974). На ПП определяли давность и интенсивность пожара по высоте нагара (обугливания) на стволах деревьев, степени повреждения крон, полноте сгорания горючих материалов и др. (Курбатский, 1970). Радиальный прирост деревьев измеряли по цилиндрическим образцам древесины (кернам), высверливаемым из периферической зоны ствола (4–5 см) с помощью возрастного бура. Образцы брали на стандартной высоте 1.3 м, принятой в лесной таксации для измерения диаметра деревьев. Постпирогенные изменения прироста выявляли сравнением его величины за 3 года до пожара и 3 года после него.

Пирогенные вариации лесообразовательного процесса исследовали на ландшафтных пожарищах разной давности. В Южном и Юго-Восточном Прибайкалье наблюдали лесоводственные последствия пожаров вековой давности, возникших при хозяйственном освоении лесных массивов вслед за сооружением Транссиба, в том числе от лесопирогенной аномалии 1915 г. Для более основательного анализа вековых аспек-

тов роли пирогенного фактора в лесообразовании использовали опубликованные материалы ряда авторов (Поварницын, 1937; Побединский, 1965; Поликарпов и др., 1978; Панарин, 1979).

Водно-физические, физико-химические и химические свойства почв определены общепринятыми методами (Вадюнина, Корчагина, 1986; Воробьева, 1998). Учет мощности, запаса, фракционного состава подстилки, определение ее зольного химического состава сделаны по методике Л. Е. Родина с соавт. (1968). Жидкий и твердый поверхностный сток определяли объемным методом на стоковых площадках. В маршрутных исследованиях при изучении этого вопроса использовали метод искусственного дождевания микроплощадок (Лебедев и др., 1979). Названия почв даны по «Классификации и диагностике почв России» (2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К настоящему времени проведены фундаментальные исследования по влиянию климата на структуру горных лесов Байкала, включая связи составов и продуктивности насаждений с климатом и эдафическими факторами (Лебедев и др., 1979; Поликарпов и др., 1986). Разработана картографическая схема ВПК растительности, отражающая связи географии лесов с климатическими характеристиками высотных поясов и макросклонов (Поликарпов и др., 1993). На этой основе экспериментально определены показатели потенциальной пожароопасности байкальских лесов (Евдокименко, 1991).

Предрасположенность региона к возникновению лесопирогенных аномалий с обширными ландшафтными пожарами обусловлена специфическими природными предпосылками:

засушливым климатом на большей части территории; малоснежной зимой, сопровождаемой глубокой и длительной весенне-летней засухой с часто повторяющимися сильными ветрами; абсолютным доминированием в лесных массивах пожароопасных типов светлохвойных насаждений (Евдокименко, 2000, 2008).

Сообразно широкому высотному диапазону атмосферного увлажнения закономерно дифференцируются пирологические режимы по ВПК, характеризующие пожароопасность конкретных категорий растительности, а также лесоэкологические последствия пожаров (табл. 1).

Наши названия режимов акцентированы на потенциальную экологическую ситуацию после пожаров: благополучный, умеренный, интенсивный, экстремальный.

Установлена зависимость пирологических режимов от метеорологической ситуации и оценены размеры пожароопасной территории, а также вероятной длительности пожароопасного состояния – как суммарной за год, так и непрерывной в течение весенне-летнего пожарного максимума. При благополучном режиме пожароопасное состояние возможно лишь фрагментарно (до 10 % территории соответствующего ВПК); его суммарная длительность за год не превышает 40 дней, а максимальная непрерывная – до 10 дней. При умеренном варианте эти показатели составят соответственно 11–30 % территории, суммарная длительность 41–70, а максимальная непрерывная – 11–20 дней, при интенсивном – 31–70 %, 71–100 и 21–30 дней, при экстремальном – более 70 %, 101–140 и 31–70 дней.

Каждому ВПК свойственны свои особенности состава и доминанты в растительности. В условиях крайне недостаточного увлажнения

Таблица 1. Пирологические режимы ВПК в бассейне Байкала (весенне-летний период)

ВПК растительности	Пирологические режимы в сезоны		
	обычные	засушливые	влажные
Лугово-степной (горная степь)	Экстремальный	Экстремальный	Интенсивный
Подтаежно-лесостепной (сосняки разнотравные и рододендроновые)	Интенсивный	»	Умеренный
Светлохвойный таежный (сосняки и лиственничники кустарниково-зеленомошные, брусничные и ерниковые)	»	»	»
Кедровый таежный (кедровники бруснично-зеленомошные)	Умеренный	Интенсивный	Благополучный
Кедрово-пихтовый (кедровники и пихтарники чернично-зеленомошные)	»	»	»
Субальпийско-подгольцовый (хвойные редколесья и заросли кедрового стланика)	Благополучный	Умеренный	»

по долинам крупных рек и низкогорьям преобладают степные комплексы с лесостепью и подтайгой, которые регулярно подвержены экстремальному режиму. Лесистость территории составляет всего 20–40 %, а в составе лесов доминирует сосна обыкновенная *Pinus sylvestris*. В зоне умеренного увлажнения на холодных и мерзлотных почвах среднегорий господствуют таежные лиственничники *Larix sibirica*, *L. gmelinii*. Там при обычной метеоситуации преобладает интенсивный режим.

Пожарное созревание насаждений в светлехвойном таежном ВПК более растянуто во времени: примерно вдвое по сравнению с лесостепью и подтайгой. Сосняки рододендрово-брусничные приходят в пожароопасное состояние за 3–4 дня, а сосняки зеленомошные – лишь через 6–10 дней сухой погоды. В лиственничниках рододендрово-брусничных и в сходных по характеру напочвенного покрова березняках критическая длительность сухой погоды составляет 4–6 дней. А вот для пожарного созревания лиственничников багульниковых и зеленомошных необходимо 10–15 дней.

К влажным поясам с умеренным пирологическим режимом приурочены темнохвойные комплексы из кедра *Pinus sibirica*, пихты *Abies sibirica* и ели *Picea obovata*. Растительность, образующая и окаймляющая верхнюю границу леса с характерным для нее избыточным увлажнением и недостатком тепла, представлена сложными субальпийскими комплексами, в которых при обычной метеоситуации превалирует благополучный режим.

Лиственные породы представлены в нарушенных пожарами и рубками комплексах преимущественно в виде примеси к насаждениям из перечисленных хвойных доминант. Это береза (*Betula platyphylla*, *B. ermani*) и осина *Populus tremula*. После интенсивных пожаров, сопровождающихся значительным изреживанием и отмиранием коренных хвойных насаждений, они образуют собственные производные сообщества.

С пирологической точки зрения на большей части Селенгинского среднегорья отмечается неблагоприятное сочетание ксерофитной степной растительности и высокопожароопасных лесов, произрастающих в условиях засушливого климата. Годовая норма атмосферных осадков здесь в пределах светлехвойного таежного ВПК составляет 250–350 мм, а в подтайге и лесостепи она еще меньше. Причем на долю снега приходится лишь 5–10 % от годовой суммы.

Поэтому маломощный снежный покров сходит рано, обычно уже в марте, по мере установления положительных значений дневной температуры воздуха, преимущественно испаряясь в сухой в эту пору воздушной среде. В результате напочвенный слой горючих материалов, особенно на инсолируемых горных склонах, почти не увлажняется талой водой из-за ее скудности или полного отсутствия.

Весной и в начале лета на территории, занимаемой лугово-степным, подтаежно-лесостепным и светлехвойным таежным ВПК, как правило, не бывает осадков, способных устранить или хотя бы ослабить пожароопасность. Испаряемость влаги в это время превышает величину осадков в 5–10 раз. На огромных пространствах при интенсивном, а тем более при экстремальном режиме устанавливается на длительное время специфическая пирологическая монотонность, при которой отсутствуют какие-либо естественные препятствия для огня из негоримых участков леса. К тому же озера, реки да еще относительно влажные гребни горных хребтов разрознены и поэтому не задерживают распространение пожаров. Более того, луга и заросли горючих кустарников (ерников), изобилующие в долинах небольших рек (падей), только усиливают интенсивность горения. При порывах ветра огонь легко преодолевает узкие водные преграды, оставшиеся снежники и наледи. Причем хаотически разветвляемые по горным падям шлейфы пламени стремительно переходят на таежные территории в широком высотном диапазоне. Такова спонтанная схема возникновения ландшафтных пожаров.

Пожароопасность в Прибайкалье и Забайкалье горно-таежных темнохвойных ВПК наступает существенно позже, по мере схода относительно мощного для Байкальского региона снежного покрова. В таежном кедровом и в кедрово-пихтовом ВПК таяние снега растягивается на весь май, а в субальпийско-подгольцовом ВПК, где распространены заросли весьма пожароопасного кедрового стланика, снег сходит лишь к середине июня. К тому же здесь вследствие высокой влажности мощного мохового покрова пожарное созревание протекает медленно и регулярно прерывается обильными атмосферными осадками, но и там встречаются весьма уязвимые для огня лишайниковые парцеллы.

Ландшафтные пожары на территории верхних лесорастительных поясов возникают редко, однако в отдельные годы во время длительных летне-осенних засух они приводят к потерям

особо важных для Байкальского природного комплекса кедровых лесов, а в субальпийском поясе после выгорания местообитаний с кедровыми, кедрово-пихтовыми и лиственничными редколесьями и кедровым стлаником понижают верхнюю границу леса.

Согласно лесопожарной статистике, общий фон горимости лесов определяется низовыми пожарами, после которых большая часть горевших насаждений сохраняет жизнеспособность в меру их собственной пожароопасности и огнестойкости, а также сообразно фактической интенсивности огня на данном участке. Ландшафтный пожар, распространившись на большую территорию, представляет собой крайнее многообразие физических вариаций стихийного горения в лесных массивах, оставляющих за собой разнообразную картину морфологических трансформаций фитоценозов на пожарах: от умеренных огневых повреждений под пологом древостоев до их ослабления и полного отмирания от интенсивного низового огня или до тотальной гибели после прохождения верхового пожара.

Умеренную картину последствий низового огня средней интенсивности наблюдали в подтаежно-лесостепных сосновых насаждениях в Юго-Западном Прибайкалье, нарушенных катастрофическим (свыше 40 тыс. га) ландшафтным пожаром 2003 г., произошедшим в Голоустненском лесничестве (табл. 2). Через 5 лет после пожара жизнеспособность многих деревьев V, IV, части особей III и единично II класса по росту и развитию внешне представляется ослабленной. У деревьев с наиболее высоким нагаром на стволах происходит одностороннее отслоение коры (подсушины). Сильно повреждены кроны мелких и средних деревьев. Вначале от непосредственного термического воздействия засохли нижние ветви, а по мере ухудшения состояния

поврежденных огнем деревьев последовательно отмирали и верхние.

Наиболее достоверным показателем жизнеспособности деревьев является их текущий прирост. Применительно к нашей категории объектов будет справедливым допущение, что стабильный прирост указывает на нормальную жизнеспособность дерева после пожара. В качестве количественной меры деструкции древостоев, вызванной пожарами, приводятся данные об отпаде древесины.

Несмотря на разницу в возрасте древостоев, реакция всех трех категорий деревьев на огневое воздействие оказалась сходной, т. е. адекватной интенсивности пожара. Возраст в данном случае не имеет существенного значения, так как в обоих случаях толщина деревьев и кора на стволах примерно одинаковы. Отсюда была сходной повреждаемость насаждений огнем.

Если судить по данным ширины годичного кольца у тонких и средних деревьев, то их современная жизнеспособность заметно отстает от нормы, поэтому продолжается изреживание древостоев. Но потенциалы ценогической устойчивости отдельных объектов существенно различаются. Полнота 65-летнего древостоя пока близка к оптимальной, в то время как 90–95-летний древостой приблизился к категории низкополнотных (согласно нормативам лесоустройства). Заметим, что в данном случае анализируется ситуация, наблюдаемая после низовых пожаров средней интенсивности.

Известно, что при одинаковой потенциальной пожароопасности отдельных фаций и урочищ их фактическая горимость зависит от многих факторов. Так, на горных склонах наиболее сильный огонь бывает при его движении снизу вверх. Большую роль в распространении кромки пожаров играют скорость и направление ветра, а также суточная ритмика температуры и влаж-

Таблица 2. Послепожарный отпад древесины и динамика ширины годичных колец

Состав насаждения (возраст)	Отпад древесины, м ³ /га	Вариации ширины годичного кольца деревьев, % от допожарного уровня		
		тонких	средних	крупных
4С6Л ед.Б (65) – контроль	4.4	Уменьшение, 18–28	Норма, до ±15	Норма, до ±15
5С5Л (65)	19.0	Уменьшение, 32–65	Уменьшение, 20–36	Уменьшение, 15–20
10С (90) – контроль	–	Уменьшение, 16–26	Норма, до ±15	Норма, до ±10
10С (95)	18.5	Уменьшение, 25–52	Уменьшение, 22–35	Уменьшение, 15–25



Рис. 1. Схема пирогенной динамики таежных светлохвойных лесов в бассейне Байкала.

ности воздуха. Огонь ослабевает к концу дня, а ночью едва тлеет. Отсюда следует неравномерность воздействия долговременных ландшафтных пожаров на лесные массивы. С другой стороны, отмеченные вариации используются лесной охраной при выборе тактических решений для остановки и локализации пожаров.

Обширные ландшафтные пожары в светлохвойных лесах в зависимости от вида и интенсивности огневого воздействия оставляют за собой хаотическую мозаику из участков поврежденных и погибших насаждений. В процессе послепожарного лесовозобновления формируется сложная чересполосица группово- или куртинно-разновозрастных древостоев, периодически модифицируемая повторными пожарами. В соответствии с известной гипотезой об эволюционно обусловленной пирофитности сосны обыкновенной (Санников, Санникова, 1985) подобная структура древостоев обусловлена главным механизмом циклически импульсной пирогенной стабильности лесов. При тяжелых поражениях древостоев восстановление их допожарной полноты и запаса растягивается на длительное время, а после повторных пожаров развивается пирогенная дигрессия с катаценозом и неизбежной утратой экологического значения насаждений (Yevdokimenko, 1996). На сухих местоположениях, особенно в подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных лесах на крутых инсолируемых склонах, катаценоз заканчивается локальным обезлесением. Обобщенная схема основных вариаций лесов

образования на ландшафтных пожарных приведена на рис. 1.

Лесные пожары являются мощнейшим дестабилизирующим фактором для лесных экосистем. Низовые подстилочно-гумусовые пожары, преобладающие в данном регионе, в зависимости от интенсивности огня по-разному трансформируют основные компоненты лесной экосистемы. Независимо от вида и интенсивности пожара в сферу горения всегда попадают напочвенный покров и поверхностный органогенный горизонт почв – лесная подстилка. При сильном воздействии огня и полном сгорании подстилки происходит трансформация верхних органоминеральных и минеральных горизонтов почв. В результате резкого изменения экологических условий, а также поступления большого количества золы на поверхность происходит изменение физических и физико-химических свойств, а также гидротермического режима почв, что приводит к перераспределению поверхностного и внутрпочвенного стока и в итоге к ярко выраженному активизированию процессов ускоренной денудации (сноса и переотложения мелкозема), под влиянием которых наблюдаются обеднение верхних горизонтов почв и их деградация.

В первые годы после пожаров высокой и средней интенсивности на пожарных приходах наблюдается значительное изменение в поверхностных органогенных и грубогумусовых горизонтах почв за счет их выгорания. Вновь образованные на пожарных приходах поверхностные органогенные пи-

рогенные горизонты (O_{pir} , OL_{pir} , OA_{pir}) по мощности, запасам и физико-химическим свойствам значительно отличаются от аналогов под пологом не тронутого пожаром леса.

В темнохвойных лесах Байкальского региона, где в почвенном покрове представлены подбуры и подзолы грубогумусовые, средняя мощность горизонтов $O + AO$ равна (20.0 ± 2.8) см, коэффициент вариации составляет 22–24 %. При низовых подстилочно-гумусовых пожарах слабой и средней интенсивности мощность горизонтов $O + AO$ уменьшается до (16.3 ± 2.4) см, коэффициент вариации возрастает до 26–35 %. При высокой интенсивности пожара мощность этих горизонтов (3.0 ± 0.6) см, коэффициент вариации равен 40–45 %. В таежных, подтаежных и подтаежно-лесостепных светлохвойных травяных лесах в почвенном покрове широко развиты серогумусовые, дерново-подзолистые, дерново-подбуры и темногумусовые почвы. При пожарах средней и высокой интенсивности мощность поверхностного органогенного горизонта здесь снижается до 70–80 %, а в отдельных случаях он сгорает полностью до минеральной части профиля.

При горении поверхностных органогенных и грубогумусовых горизонтов почв часть углерода и азота улетучивается в атмосферу. Обнаружено, что на 7–8-летних гарях со слабой и средней интенсивностью пожара в кустарничково-зеленомошных кедровниках потеря углерода составляет 26–34 %, азота – 24–27 %. При пожарах высокой интенсивности потеря углерода ~ 80 %, азота – 63–65 %. Это вполне согласуется с данными многих исследователей (Уткин, 1965; Горбачев и др., 1982; Тарабукина, Саввинов, 1990 и др.).

Известно, что подстилки представляют собой саморегулирующуюся систему, где состав и структура химических элементов отражают характер биологического круговорота веществ между почвой и растительностью. Как показали исследования (табл. 3), на контрольных участках в кедровниках кустарничково-зеленомошных зольность подстилок равна (17.75 ± 1.10) %, коэффициент вариации – 15.2 %. На гарях со средней и высокой интенсивностью огня зольность подстилок составляет (32.69 ± 2.83) %, коэффициент вариации – 19.4 %. В таежном сосновом ВПК, в сосняках рододендроновых бруснично-разнотравных зольность подстилок (15.95 ± 1.13) %, коэффициент вариации равен 12.3 %. На участках соснового леса, пройденных пожаром средней и высокой интенсивно-

сти 5–8 лет назад, зольность поверхностного органогенного пирогенного горизонта OL/O_{pir} (35.30 ± 10.00) %. В подтаежно-лесостепном сосновом ВПК зольность подстилок составляет (20.56 ± 2.79) %. При низовых подстилочно-гумусовых пожарах средней интенсивности зольность органогенного пирогенного горизонта возрастает до (40.32 ± 7.52) %.

Пожары привели к заметному возрастанию концентрации химических элементов в горизонтах O/O_{pir} . Даже спустя 5–8 лет после прохождения огня средней и высокой интенсивности в таежном кедровом ВПК концентрация Si на этих участках по сравнению с контролем в среднем увеличилась в 1.15 раза, Fe – в 1.69; Al – в 1.55; Ca – в 1.05; Mn – в 1.17; K – в 2.50 раза. В то же время концентрация Mg и P снизилась в 1.13 и 1.70 раза.

В поверхностных органогенных пирогенных горизонтах, образовавшихся после воздействия огня средней и высокой интенсивности, в таежном сосновом ВПК наблюдается более высокая концентрация химических элементов по сравнению с контролем: Si – в 1.65 раза; Fe – в 2.33; Al – в 2.26; Ca – в 1.65; K – в 1.70; P – в 1.50 раза.

В подтаежно-лесостепном сосновом ВПК пожары средней интенсивности приводят к еще более заметному возрастанию концентрации химических элементов в горизонте OL/O_{pir} . Даже спустя 5–6 лет после пожара в органогенных пирогенных горизонтах почв отмечается увеличение концентрации всех исследуемых химических элементов. Такое резкое изменение в соотношении зольных элементов в поверхностных органогенных пирогенных горизонтах в пределах отдельного ВПК связано в первую очередь с изменением их зольности, фракционного состава, направленностью сукцессий живого напочвенного покрова. Поведение и содержание химических элементов в лесных подстилках помимо воздействия пожара и послепожарных сукцессий растительности обусловлены геохимической обстановкой в регионе – скоростью водной миграции и биологического поглощения.

Пирогенная трансформация сопровождается сдвигом кислотности в сторону нейтрализации кислых растворов. Если под пологом негоревших горно-таежных кедровых, лиственничных и сосновых насаждений органогенные горизонты обладают сильноокислой и кислой реакцией, то на свежих горельниках поверхностные органогенные пирогенные горизонты O_{pir} при пожарах средней и высокой интенсивности имеют слабощелочную и щелочную реакцию.

Таблица 3. Изменчивость содержания зольных элементов в лесных подстилках, % на абсолютно сухое вещество

Элемент	Горно-таежный кедровый ВПК					
	Кедровники кустарничково-зеленомошные (n = 6)			Кедровники, пройденные пожарами (5–8 лет) средней и высокой интенсивности (n = 6)		
	lim	$M \pm m$	V, %	lim	$M \pm m$	V, %
Si	0.75–0.98	0.86 ± 0.04	11.6	0.87–1.17	0.99 ± 0.06	15.2
Fe	0.26–0.31	0.29 ± 0.007	6.9	0.32–0.74	0.49 ± 0.08	34.7
Al	0.24–0.29	0.27 ± 0.007	7.4	0.23–0.60	0.42 ± 0.07	35.7
Ca	0.73–1.42	1.37 ± 0.11	21.2	1.09–2.39	1.44 ± 0.24	37.5
Mg	0.31–0.43	0.34 ± 0.02	11.8	0.27–0.38	0.30 ± 0.02	13.3
Mn	0.05–0.07	0.06 ± 0.003	13.3	0.06–0.08	0.07 ± 0.001	14.3
P	0.13–0.19	0.17 ± 0.009	14.1	0.09–0.14	0.10 ± 0.009	20.0
K	0.07–0.09	0.08 ± 0.003	10.0	0.10–0.31	0.20 ± 0.04	45.0
Зольность, %	12.30–19.03	17.75 ± 1.10	15.2	25.44–39.44	32.69 ± 2.83	19.4
Элемент	Горно-таежный сосновый ВПК					
	Сосняки рододендроновые бруснично-разнотравные (n = 5)			Сосняки, пройденные пожарами (5–6 лет) средней и высокой интенсивности (n = 5)		
	lim	$M \pm m$	V, %	lim	$M \pm m$	V, %
Si	0.65–0.97	0.86 ± 0.10	20.9	1.18–1.83	1.42 ± 0.20	25.3
Fe	0.31–0.36	0.33 ± 0.01	9.1	0.55–0.98	0.77 ± 0.12	27.3
Al	0.23–0.30	0.27 ± 0.02	12.9	0.35–0.95	0.61 ± 0.18	50.8
Ca	0.94–1.56	1.29 ± 0.18	24.0	1.54–3.22	2.13 ± 0.54	44.1
Mg	0.30–0.38	0.33 ± 0.02	12.1	0.35–0.64	0.46 ± 0.09	32.6
Mn	0.05–0.06	0.05 ± 0.005	10.0	0.06–0.07	0.07 ± 0.003	7.2
P	0.07–0.10	0.08 ± 0.01	25.0	0.04–0.15	0.12 ± 0.03	33.3
K	0.05–0.10	0.10 ± 0.014	20.0	0.08–0.26	0.17 ± 0.05	58.8
Зольность, %	13.71–17.37	15.95 ± 1.13	12.3	22.47–55.00	35.30 ± 10.0	49.0
Элемент	Подтаежно-лесостепной сосновый ВПК					
	Сосняки остепненные осочково-разнотравные и разнотравные (n = 5)			Сосняки, пройденные пожарами (5–6 лет) средней интенсивности (n = 5)		
	lim	$M \pm m$	V, %	lim	$M \pm m$	V, %
Si	0.29–1.09	0.77 ± 0.23	51.9	1.14–1.83	1.39 ± 0.22	27.3
Fe	0.17–0.52	0.35 ± 0.10	48.5	0.66–0.98	0.78 ± 0.10	21.8
Al	0.19–0.41	0.27 ± 0.07	44.4	0.62–0.95	0.73 ± 0.11	26.0
Ca	1.12–1.68	1.38 ± 0.16	20.3	1.47–2.99	2.36 ± 0.44	32.2
Mg	0.26–0.32	0.29 ± 0.02	10.3	0.37–0.64	0.47 ± 0.08	29.8
Mn	0.04–0.06	0.05 ± 0.006	20.0	0.05–0.08	0.07 ± 0.008	14.3
P	0.01–0.09	0.07 ± 0.01	42.8	0.08–0.15	0.11 ± 0.02	36.4
K	0.02–0.09	0.06 ± 0.02	50.0	0.09–0.26	0.18 ± 0.05	44.4
Зольность, %	16.25–25.81	20.56 ± 2.79	23.6	30.12–55.00	40.32 ± 7.52	32.3

Примечание. lim – пределы изменчивости; M – среднее арифметическое; m – ошибка среднего; V – коэффициент вариации; n – число данных в выборке.

На пожарищах 5–8-летнего возраста поверхностные горизонты OL/O_{pir} сохраняют слабо-кислую реакцию.

Пожары кратковременно изменяют подвижность и доступность для растений большинства химических элементов. Так, наблюдается увеличение в почвенном поглощающем комплексе кальция в поверхностных горизонтах. Если до пожара доля обменного кальция в лесной подстилке сосняка рододендронного бруснично-разнотравного составляла 39–69 %, магния – 18–22, водорода – 9–43 %, то на свежих гарях после

низового пожара на участках с воздействием огня высокой интенсивности в горизонтах O_{pir} в составе обменных катионов доля кальция – 70–75, магния – 24–27, а водорода – 1–3 %. Спустя 5 лет после пожара в поверхностном горизонте OL/O_{pir} их доли соответственно равны 50–69, 24–29 и 2–26 % (Краснощевков, 2014).

Одной из важных почвенно-гидрологических характеристик, влияющих на размеры поверхностного склонового стока, является водопроницаемость почв. Водопроницаемость играет существенную роль в водном режиме почв и

почвообразовании. Особенно важно изучение водопроницаемости почв для оценки защитных функций леса, выделения лесов водоохранного, водорегулирующего и почвозащитного значения. Чем выше показатели водопроницаемости, тем эффективнее леса выполняют эти полезные функции (Краснощеков, 2004).

Если в кедровниках кустарничково-зеленомошных на контроле подзолы и подбуры грубогумусовые хрящевато-суглинистого и супесчаного гранулометрического состава имеют водопроницаемость, равную 65–170 мм/мин, то на свежих и трехлетних гарях на участках, пройденных огнем высокой и средней интенсивности, она уменьшается до 0.4–15.0 мм/мин. На гарях 10–15-летнего возраста почвы имеют водопроницаемость 48–150 мм/мин.

В пределах подтаежных сосновых и лиственных лесов (на контроле) серогумусовые хрящевато-среднесуглинистые и тяжелосуглинистые почвы имеют водопроницаемость 22.0–36.4 мм/мин. На свежих и трехлетних гарях она уменьшается до 0.2–4.0, а на 5–8-летних – до 3.2–11.8 мм/мин. Почвы 10–15-летних гарей имеют водопроницаемость 10.8–16.5 мм/мин. В данном случае относительно плохая водопроницаемость почв даже на гарях 10–15-летнего возраста связана с их эродированностью, следовательно, с невозстановившимися физическими и водно-физическими свойствами (Краснощеков, 2013).

Огневая трансформация органогенных горизонтов, ухудшение физических и водно-физических свойств почв на гарях сопровождаются резким возрастанием размеров поверхностного склонового стока и развитием эрозионных процессов, приводящих к разрушению почвы как природного тела.

Исследования показали, что развитие эрозионных процессов на гарях наблюдается в основном в виде плоскостного смыва и мелкоструйчатого размыва. Кроме этого, большое влияние на разрушение почвы здесь оказывают вывалы поврежденных и ослабленных огнем деревьев.

В горно-таежном кедровом ВПК типов леса на свежих гарях на склонах крутизной 5°–15° суммарный размер эрозии изменяется от 600 до 1800 т/км² в год. Наиболее интенсивный снос почвы наблюдается на свежих гарях, пройденных пожарами высокой и средней интенсивности. Здесь при поверхностном стоке 320–350 мм в год суммарный размер эрозии на склонах 15°–25° достигает 3000–3400 т/км². На гарях 3–5-летнего возраста на склонах крутизной

5°–15° суммарная эрозия равна 250–600 т/км², а при крутизне 15°–25° – 1000–1500 т/км² в год. На давних гарях (более 10 лет) при условии восстановления растительности на них эрозионные процессы незначительны и не превышают естественную эрозию под пологом леса.

На свежих гарях таежных сосновых лесов на склонах крутизной 5°–15° суммарный размер эрозии составляет 800–1100 т/км², а при крутизне 15°–25° и стоке 230–250 мм увеличивается до 3500–4800 т/км² в год. На 3–5-летних гарях на склонах 5°–15° суммарный размер эрозии равен 680–950 т/км², а при крутизне 15°–25° возрастает до 1400–1900 т/км² в год. Относительно длительное время эрозионные процессы развиты на давних гарях (10–15-летних), где процессы восстановления растительного покрова замедлены повторными пожарами. Даже на склонах 15°–25° суммарный размер эрозии при стоке 50–90 мм составляет 270–350 т/км² в год. На старых возобновившихся гарях интенсивность развития эрозии не выше, чем на облесенных территориях. Это связано с хорошим возобновлением и интенсивным зарастанием гарей травянистой растительностью. Верхние горизонты почв хорошо скреплены корневыми системами травянистой растительности: сформировавшийся органогенный и дерновый горизонты противодействуют размыву.

Выявлены зависимости изменения поверхностного жидкого и твердого стока от давности пожара (рис. 2). Отмечено резкое снижение твердого стока на 5–7-й год при условии успешного зарастания гарей растительностью. В то же время жидкий поверхностный сток на пожарных участках сохраняется длительное время, однако эрозионной опасности не представляет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ландшафтные пожарные очаги сообразно их размерам в десятки тысяч гектаров представляют собой весьма разнообразную морфологическую картину пирогенных трансформаций лесных фитоценозов: от умеренных огневых повреждений под пологом древостоев до их значительно изреживания и полного отмирания от интенсивного низового огня либо до тотальной гибели после воздействия пламени в пологе крон.

Детальные исследования ландшафтных пожаров проведены в разных районах бассейна Байкала. По древостоям IV–V классов возраста получены количественные показатели нарушения жизнеспособности в зависимости от класса

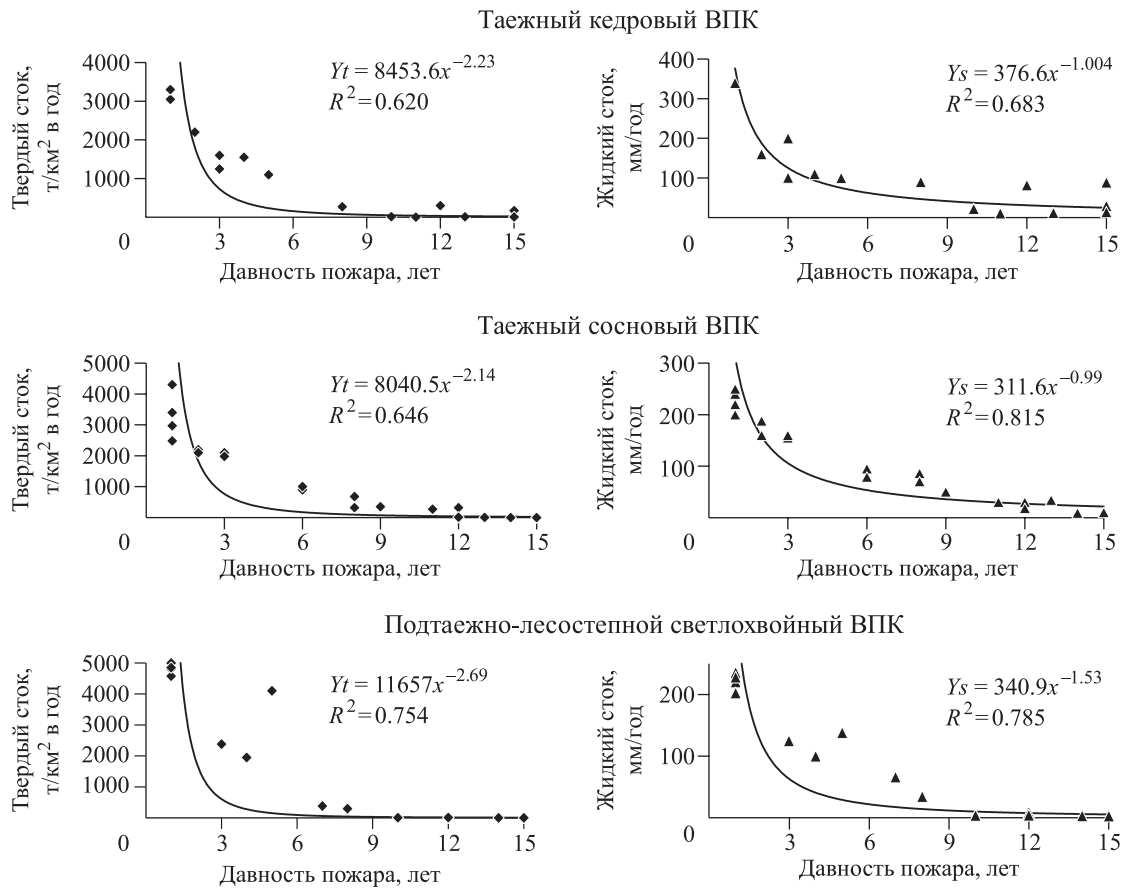


Рис. 2. Зависимость изменения поверхностного твердого и жидкого стока от давности пожаров в таежном кедровом, сосновом и подтаежно-лесостепном светлохвойном ВПК.

дерева по росту и развитию, поэтому можно оценивать степень устойчивости отдельных категорий к воздействию огня разной интенсивности.

Обширные ландшафтные пожары в горных лесах часто оставляют за собой хаотическую мозаику из участков поврежденных и погибших насаждений. В процессе послепожарного лесовозобновления на горячих и постпирогенных вариациях в уцелевших древостоях на участках с низовыми пожарами формируется сложная чересполосица группово- или куртинно-разновозрастных древостоев, периодически модифицируемая повторными пожарами. При тяжелых поражениях древостоев и под воздействием повторных пожаров развивается пирогенная дигрессия с катаценозом и локальным обезлесением.

Низовые подстильно-гумусовые пожары резко изменяют морфологический облик верхней части почвенного профиля. В первую очередь эти изменения наблюдаются в поверхностных органических и грубогумусовых (O + AO) горизонтах почв за счет их выгорания. В результате изменяется характер типодиагностических поверхностных горизонтов почв. Формируются

новые маломощные органические пирогенные горизонты (O_{pir} , OL/O_{pir} , AO_{pir}), которые по химическим, физико-химическим свойствам и биологическому круговороту зольных элементов значительно отличаются от природных аналогов.

Большое содержание золы приводит к снижению актуальной кислотности и увеличению концентрации в поверхностных горизонтах O_{pir} , OL/O_{pir} , AO_{pir} зольных элементов.

Ландшафтные пожары в горах часто вызывают необратимые деструктивные процессы, ведущие к разрушению почвы как природного тела. Пожары средней и высокой интенсивности на горных склонах при частичном или полном сгорании защитного растительного слоя способствуют резкому снижению водопоглотительной способности трансформированных лесных подстилок и водопроницаемости почв. Это создает условия для формирования жидкого поверхностного стока и усиления эрозионных процессов. На свежих горячих в зависимости от интенсивности огня поверхностный сток возрастает в 3–15 раз, а твердый – в десятки и сотни раз. Восстановление этой функции леса растягивается на многие десятилетия. Масштабы развития

эрозионных процессов на пожарищах бывают более внушительными по сравнению с последствиями концентрированных рубок.

Особенно тяжелыми для Байкальской природной территории оказались последствия лесопирогенной аномалии 2015 г. По данным космосъемки, она охватила (без учета территории Монголии) свыше 2 млн га, т. е. более 10 % от общей площади. Это многократно превышает эволюционно обусловленную норму. Безотрадная в целом картина катастрофических последствий ландшафтных пожаров 2015 г. осложнялась торфяными пожарами, действовавшими на обширных участках южного и восточного побережий Байкала. Нынешнее состояние лесов как основного компонента в природном комплексе Байкала весьма тревожно и может усугубить неблагоприятную экологическую ситуацию на побережье Байкала и в его акватории. Охрана горных лесов от пожаров, поддержание на высоком уровне их защитных функций обеспечат чистоту и качество воды, поступающей в озеро.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследований физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- Горбачев В. Н., Дмитриенко В. К., Попова Э. П., Сорокин Н. Д. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 185 с.
- Евдокименко М. Д. Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал // Лесоведение. 1991. № 5. С. 14–25.
- Евдокименко М. Д. Пирогенные аномалии в лесах Забайкалья и их прогнозирование // География и природ. ресурсы. 2000. № 4. С. 64–71.
- Евдокименко М. Д. Природа пожаров в байкальских лесах и совершенствование их противопожарной охраны // Леса бассейна Байкала (состояние, использование и охрана). Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 159–227.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.
- Краснощеков Ю. Н. Трансформация почвозащитных функций горных лесов под влиянием пожаров в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // География и природ. ресурсы. 2013. № 4. С. 64–72.
- Краснощеков Ю. Н. Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Сиб. лесн. журн. 2014. № 2. С. 43–52.
- 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.
- Лебедев А. В., Горбатенко В. М., Краснощеков Ю. Н., Решеткова Н. Б., Протопопов В. В. Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 256 с.
- Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Изд-во Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- Назимова Д. И., Коротков И. А., Чередникова Ю. С. Основные высотно-поясные подразделения лесного покрова в горах Южной Сибири и их диагностические признаки // В чтения памяти В. Н. Сукачева. М.: Наука, 1987. С. 30–64.
- Панарин И. И. Леса Прибайкалья. М.: Наука, 1979. 263 с.
- Побединский А. В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
- Поварницын В. А. Почвы и растительность бассейна р. Верхней Ангары // Бурят-Монголия (почвенно-ботанический, лесоводственный и охотоведческий очерки Северо-Байкальского района). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С. 7–132.
- Поликарпов Н. П., Бабинцева Р. М., Чередникова Ю. С. Экологические основы ведения лесного хозяйства в бассейне оз. Байкал // Растительные ресурсы Забайкалья, их охрана и использование. Улан-Удэ, 1978. С. 52–57.
- Поликарпов Н. П., Бабинцева Р. М., Чередникова Ю. С. Карта высотно-поясных комплексов растительности // Байкал. Атлас. М.: Федеральная служба геодезии и картографии, 1993. С. 134.
- Поликарпов Н. П., Чебакова Н. М., Назимова Д. И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 226 с.
- Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. 403 с.
- Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1968. 143 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 149 с.

- Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания по изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
- Сукачев В. Н., Поплавская Г. И. Ботанические исследования северного побережья Байкала // Изв. Императорской Академии наук. Сер. VI. Т. 8. № 7. СПб., 1914. С. 1309–1328.
- Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 120 с.
- Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.
- Уткин А. И. Влияние огня на природу и формирование лиственничников Центральной Якутии // Лесн. хоз-во. 1965. № 1. С. 46–50.
- Yevdokimenko M. D. Fire-induced transformations in the productivity of light coniferous stands of the Trans-Baikal Region and Mongolia // Fire in ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 1996. P. 211–218.

FOREST ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF PYROGENOUS ANOMALIES IN THE BASIN OF BAIKAL LAKE

M. D. Evdokimenko, Yu. N. Krasnoshchekov

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

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru, kyn47@mail.ru

The nature of forest pyrogenous anomalies in the basin of Baikal, due to mainly arid climate of the region and the predominance of highly inflammable types of light needle coniferous forests discussed in the paper. Pyrological regimes (placid, moderate, intense, and extreme) in the full altitudinal range at different meteorological situations of the seasons analyzed. Forest pyrogenous anomalies occur under intense and extreme conditions, especially during the spring and summer «high fire» season, as the establishment on a large part of the territory pyrological monotony with the full absence of incombustible areas of vegetation. Hence, a high risk of extensive landscape fires that really happened in recent times, in 2003 and 2015. The forest ecosystems' post-fire transformation have been studied: fire damages of forests; post pyrogenous dynamics of their viability and productivity; the main variations in forest forming process; changes in soil environment, including the ash content and acidity of forest litter, physical and chemical soil properties. Pyrogenic degradation of forest ecosystems will inevitably lead to degradation of the protective functions of the Baikal forests, the restoration of which after landscape fires takes many decades. Products of soils erosion from the burned areas complicate current alarming situation with the pollution of coastal waters in Baikal lake.

Keywords: *landscape fires, pyrogenous anomalies, forest formation process, organogenic pyrogenous soil horizons, ash constituents, water permeability of soils, surface sludge liquor and flood of solid matter.*

How to cite: *Evdokimenko M. D., Krasnoshchekov Yu. N., Forest environmental consequences of pyrogenous anomalies in the basin of Baikal lake // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2017. N. 4: 66–77 (in Russian with English abstract).*