

Послепожарная эволюция лесных экосистем на песчаных террасах Юго-Восточного Прибайкалья

А. Б. ГЫНИНОВА^{1, 3}, Л. Л. УБУГУНОВ^{1, 3}, А. И. КУЛИКОВ^{1, 3}, Б. Д. ГЫНИНОВА²,
Б. Н. ГОНЧИКОВ¹, Н. Б. БАДМАЕВ¹, Д. П. СЫМПИЛОВА¹

¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: ayur.gyninova@mail.ru

²Филиал ФБУ “Рослесозащита” – “ЦЗЛ Республики Бурятия”
670047, Улан-Удэ, ул. Северная, 133

³Бурятская государственная сельскохозяйственная
академия им. В. Р. Филиппова
670024, Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8

Статья поступила 11.06.2019

После доработки 24.07.2019

Принята к печати 25.07.2019

АННОТАЦИЯ

В Байкальском регионе потепление в условиях континентальности климата сопровождается увеличением площадей лесных пожаров и опасностью невозврата постпирогенных экосистем в лесопокрытые. Исследование сосновых лесов на песчаных отложениях в Юго-Восточном Прибайкалье показало, что на территории, пройденной огнем, в зависимости от типа пожара и местных условий экосистемы развиваются в разных направлениях. После низового пожара сохраняется взрослый древостой и формируются устойчивые признаки пирогенеза в почве в виде обугленных поверхностных горизонтов. В этих условиях образуются редкотравно-мертвопокровные редины практически без признаков возобновления молодняка и кустарников. Влияние угля вызывает некоторое снижение кислотности почвы, повышение содержания обменного кальция, формирование гумуса гуматного состава и ненасыщенность основаниями. Почвы с углистыми горизонтами предлагается выделить на уровне подтипа: псаммоземы гумусовые, постпирогенные. После верхового пожара растительный и почвенный покров уничтожается полностью, экосистема начинает развитие с 0-момента. Возобновление леса в понижениях и на склонах теневых и подветренных экспозиций происходит активно как естественным путем, так и на фоне выполненных лесовосстановительных работ. Под молодым лесом за послепожарный период сформировалась почва отдела Слаборазвитые – псаммозем гумусовый. На склонах соляных, наветренных экспозиций, несмотря на проведенные мероприятия по восстановлению древостоя, образуются зоны дефляции, не покрытые лесом и без признаков почвообразования. Использование дистанционных методов позволило установить, что за пятнадцать лет послепожарного развития, несмотря на выполненные лесовосстановительные работы, площадь не покрытых лесом зон дефляции увеличилась по сравнению с допожарным в 11 раз. Рекомендуется в комплекс мероприятий по восстановлению лесных экосистем после пожаров включить проведение мероприятий по содействию возобновлению древостоя в виде разрыхления обугленной почвы

на территориях, пройденных низовыми пожарами, а также неоднократное выполнение лесопосадочных работ на дефлируемых участках с учетом защищенности от ветра опушек леса.

Ключевые слова: потепление, Прибайкалье, сосновые леса, пожары, постпирогенное развитие, естественное лесовозобновление, содействие естественному возобновлению, лесные культуры, псаммоземы, углистый прослой, дефляция, дистанционное зондирование.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций констатирует, что изменение климата представляет собой прямую угрозу для лесных экосистем, в связи с чем требуется оценка воздействия изменения климата и уязвимости лесов [FAO, 2018]. Большую опасность для лесных экосистем в условиях потепления представляют пожары. Материалы, опубликованные в докладе Росгидромета [2014] “Об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”, показывают, что в России за последние 30 лет в результате потепления наблюдается увеличение длительности пожароопасного периода в среднем на 10–29 суток, а показателя горимости лесов ~ в 4 раза, при этом ежегодно регистрируется от 10 до 35 тыс. пожаров на площади от 0,5 до 2,5 млн га.

В Байкальском регионе леса располагаются в основном в горной части, занимают более 80 % территории, и более 70 % лесного фонда относится к 1–3 классу природной пожарной опасности. Значительное расширение площадей леса, пройденных пожарами, отмечается в период потепления [Антропов и др., 2013]. Ранее нами показано, что в регионе потепление происходит более высокими темпами, чем в России и в мире, и сопровождается такими экосистемными реакциями, как аридизация и опустынивание ландшафтов [Куликов и др., 2014]. Очевидно, что к указанным изменениям состояния ландшафтов следует отнести и увеличение площадей постпирогенных сукцессий, которые в условиях потепления могут приобрести нелесное направление развития, что характерно для лесов контакта леса и степи [Тишков, Шерemet, 1986]. Особенностью подтаежных ландшафтов нижней части ВПК в регионе является чередование таежных и степных экосистем, где в последние десятилетия ярко проявилась уязвимость лесов по отношению к засухам [Xu et al., 2017]. Пожарная опасность в регионе усугубляется жестким ветровым режимом [Жуков, 1960]. Не менее влиятельными могут оказаться и антропогенные факторы: близость

крупных населенных пунктов [Доржиев и др., 2017] и такие события, как ликвидация государственной лесной охраны с системой Авиалесоохраны как единой структуры в масштабах страны [Тулохонов, Пунцукова, 2016]. Согласно М. Д. Евдокименко [2013], лесные пожары в регионе нередко превращаются в ландшафтные, сопровождающиеся локальным обезлесением.

Влияние пожаров на развитие лесных экосистем может носить как негативный, так и конструктивный характер, способствуя возобновлению древостоя и увеличению разнообразия экосистем [Гришин, Фильков, 2003; Габышева, 2014; Краснощекоев, 2014; Гынинова и др., 2016; Чевычелов, Шахматова, 2018]. В условиях потепления и возникновения опасности перехода лесных экосистем в нелесные положительные аспекты влияния пожаров могут нивелироваться.

Целью работы является определение роли пожаров в развитии лесных экосистем на песчаных отложениях Юго-Восточного Прибайкалья в условиях потепления. Исследование обратных реакций лесных экосистем на термическое воздействие пожаров как триггера их перехода в состояние постпирогенной сукцессии требует использования комплексного подхода с учетом динамики растительного покрова и, особенно, процессов возобновления древостоя, строения и свойств почв, а также выполнения мониторинга с использованием данных дистанционного зондирования.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Для выявления роли пожаров в развитии лесных экосистем выбраны наиболее пожароопасные и широко распространенные по побережью оз. Байкал сосновые леса, формирующиеся на песчаных озерно-речных террасах. Территория исследования находится в ведении Кабанского лесничества и расположена в юго-восточной части Селенгинского дельтового района (рис. 1), где в 1996 г. значительные площади леса были пройдены верховыми

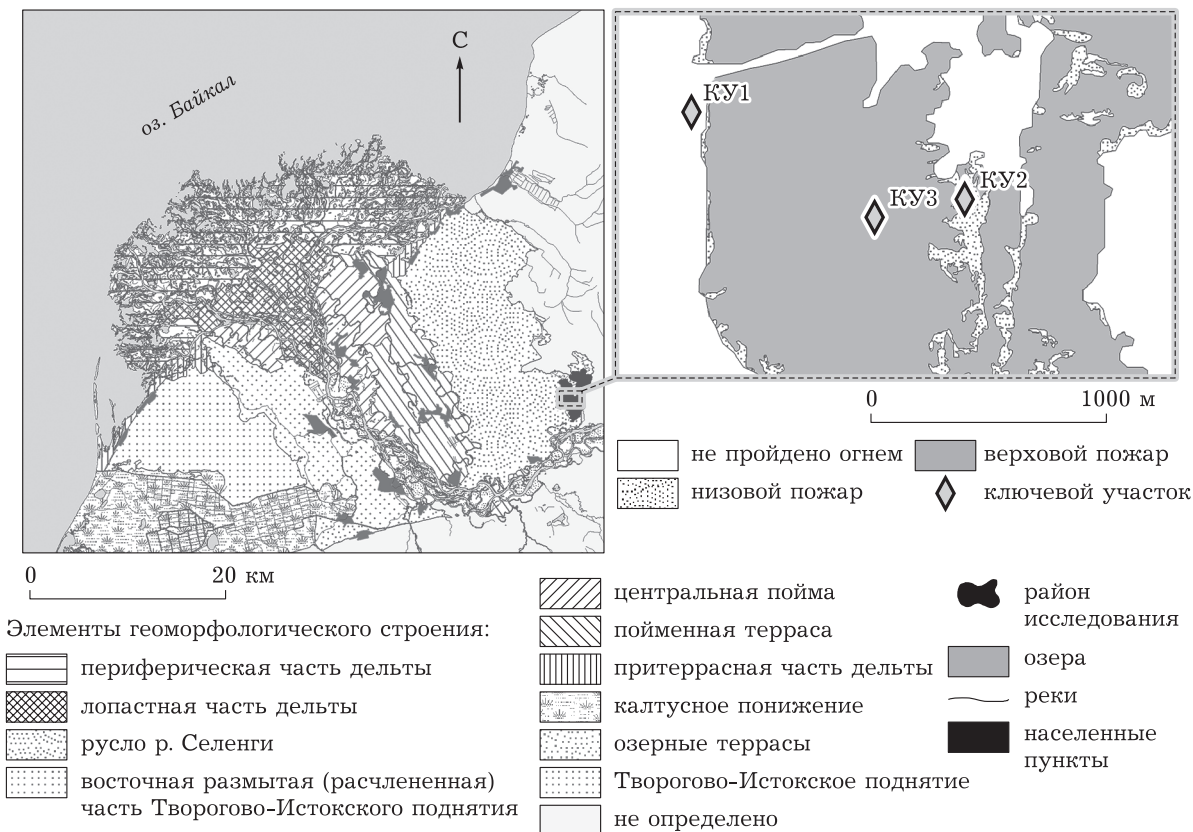


Рис. 1. Местоположение объекта исследования

и низовыми пожарами. Натурные почвенные и геоботанические исследования выполнялись полевым маршрутным методом и методом ключевых участков через 15 лет после пожара (2011 г.). Оценка лесовосстановления проводилась в соответствии с Методическими указаниями по планированию, проектированию, приемке, инвентаризации, списанию объектов лесовосстановления и лесоразведения и оценке эффективности мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению [Методические указания..., 2011]. Полученные данные дополнялись таксационными материалами Кабанского лесничества. Для оценки лесовосстановления также использовались данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). По снимкам Landsat 5 1995 г. (до пожара) были выделены не покрытые лесом участки в пределах гари, Landsat 5 1997 г. – контуры границы гари, разделены участки, поврежденные низовыми и верховыми пожарами, дистанционная оценка лесовосстановления проведена по снимку Digital Globe от 08.07.2013.

Ключевые участки закладывались в верхней пологой части склонов песчаных холмов. Всего заложено три ключевых участка (КУ): 1) контрольный – КУ1, 2) после низового пожара – КУ2, 3) после верхового пожара – КУ3 с активным (а) и с весьма слабым (б) возобновлением древесной растительности. Показатели состояния послепожарных экосистем, пройденных верховыми и низовыми пожарами, сравнивались с показателями контрольного участка в пределах этого же лесного массива с аналогичными условиями формирования, но где, по данным Кабанского лесничества, за последние 100 лет пожары не были зарегистрированы. На ключевых участках описывались растительные сообщества [Андреева и др., 2002], исследовались морфологическое строение [Розанов, 2004], химические и физико-химические свойства почв [Теория..., 2006].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследованные послепожарные экосистемы гарей сосняков лишайниковых располагаются

на озерно-речных террасах оз. Байкал и р. Селенги и примыкающих к ним делювиальных шлейфах нижней части склонов предгорий хр. Морской с общим уклоном 1–2° на запад. С севера и востока территория исследования оконтуривается речкой, представляющей собой естественную преграду для пожара. Площадь гари составляет 6,8 км². В связи с тем что в районе исследования долина р. Селенги сужается, ветры с Байкала достигают большой силы, и песчаные отложения террас и подножий склонов гор частично перевеяны.

Составленные на основе дешифрирования допожарных и послепожарных космоснимков карты-схемы (рис. 2) и диаграмма (рис. 3) позволяют констатировать, что на исследованном лесном массиве до пожара было покрыто лесом 98,8 % территории. Не покрытые лесом участки – вытянутые по направлению ветров с запада на восток дефлированные песчаные полосы со своеобразным бугристым эоловым рельефом, имели ширину ~100 м и общую площадь 0,08 км², что составляло 1,2 % площади территории исследования. Дешифриро-

вание космоснимков 1997 г. показывает, что после пожара лесной покров на территории, пройденной верховым пожаром (87,6 %), был уничтожен. Покрытыми лесом остались только территории, трансформированные низовым пожаром. Они занимают 11,2 % общей площади гари. Контуры этих территорий имеют вид вытянутых с севера на юг полос, что обусловлено расположением противопожарных объектов (канал, полевых дорог).

Данные, полученные при дешифрировании космоснимков 2013 г. (рис. 4), показывают, что площадь, занятая дефлированными полосами, увеличилась, полосы довольно равномерно распределены практически по всей территории гари и приурочены к пологим склонам наветренной солярной экспозиции.

Для выявления специфики в развитии экосистем разных типов гарей и негорелого леса исследован растительный и почвенный покров КУ, заложенных в сосновых лесах песчаных террас через 15 лет после пожара (2011 г.).

КУ1 (контрольный), не измененный пожарами, заложен в 100 м западнее гари.

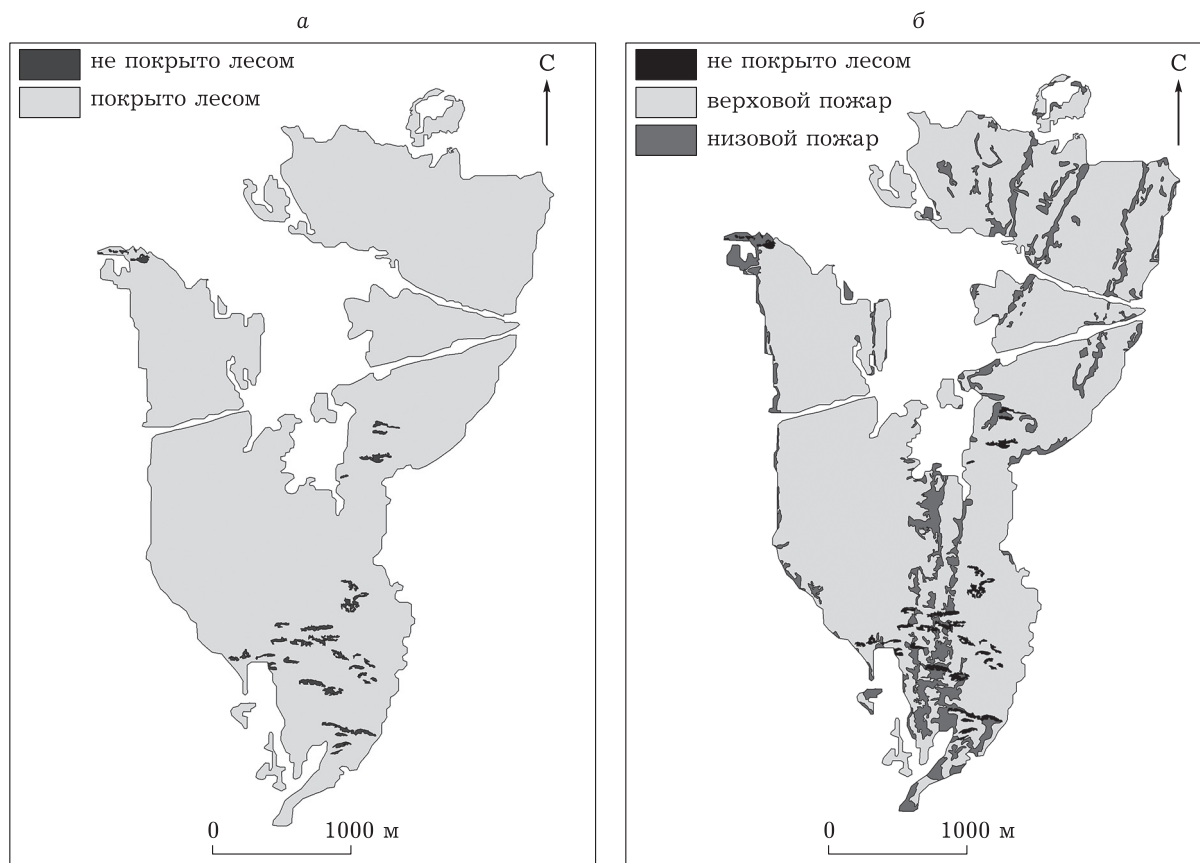


Рис. 2. Степень покрытости лесом: а – до пожара (1995 г.), б – после пожара (1997 г.)

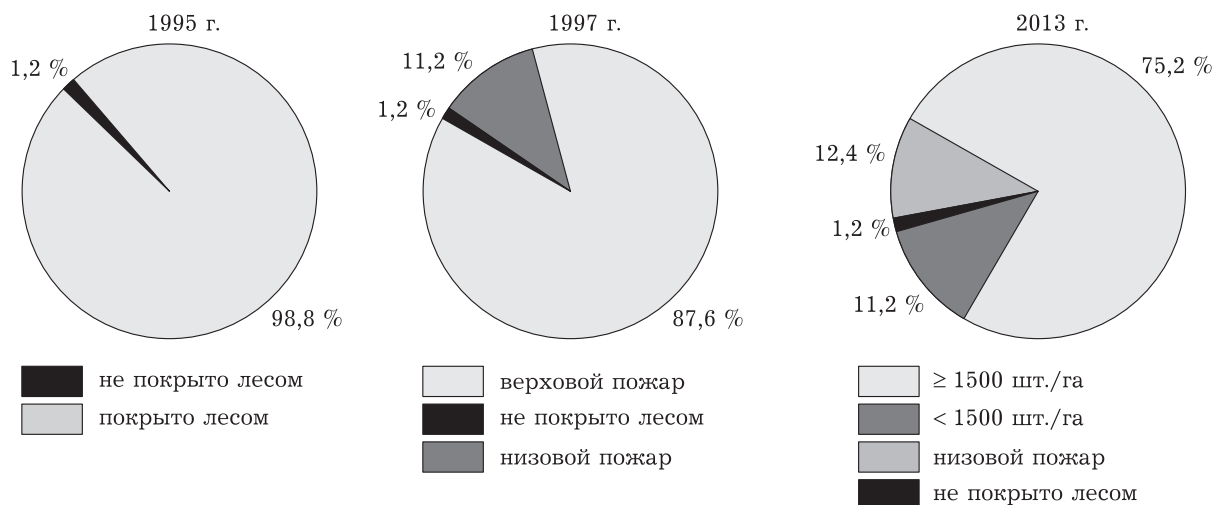


Рис. 3. Изменение структуры лесной экосистемы под влиянием пожара и в процессе постпирогенного развития

ординаты: 52°07'44,1" с. ш.; 106°55'08,0" в. д.; $h = 531$ м. Рельеф полого-бугристый. Участок заложен в верхней части склона южной экспозиции крутизной ~1–2°. В микрорельефе отмечены приствольные повышения и противопожарные борозды. Лесное сообщество представлено сосняком бруснично-лишайниковым (10С) IV класса бонитета. Высота взрослых деревьев сосны обыкновенной *Pinus silvestris* L. составляет 25–30 м, возраст 50–60 лет, сомкнутость крон 0,7–0,8. В напочвенном покрове доминирует лишайник *Cladonia rangiferina* L. Web., участками произрастает брусника обыкновенная *Vaccinium vitis-idaea* L. Разнотравье редкое, представлено прострелом Турчанинова *Pulsatilla turczaninovii* Krylov et Serg. и осокой стоповидной *Carex pediformis* C. A. Meyer. Проективное покрытие напочвенного растительного покрова ~20 %. В кустарниковом ярусе – рододендрон даурский *Rhododendron dauricum* L. Видимых признаков пожара не обнаруживается. Возобновление древостоя представлено разновозрастным подростом сосны с полнотой 0,7 тыс. шт./0,01 км².

Почва КУ1 представлена разрезом 15Д-11. В строении профиля выделяется лесная подстилка (О) мощностью 4 см, неоднородного сложения и состоящая преимущественно из хвои сосны. В верхней части подстилка рыхлая, признаки разложения слабые, с глубиной они усиливаются, и в нижней уплотненной части растительные остатки практически полностью преобразованы в темно-серые (10YR 4/1) бесформенные обрывки тканей

и покрыты грибным мицелием. Ниже расположен горизонт We мощностью 5 см. Горизонт характеризуется буровато-светло-серым цветом (10YR 5/2) с признаками оподзоливания в нижней части в виде осветленных пятен (10YR 6/2). Почвообразующая порода представлена песчаными отложениями с весьма слабыми признаками почвообразования в виде включений небольших участков, покрашенных в слабоохристые тона (7.5YR 5/4, 6/4) и (10YR 6/4).

КУ2 заложен в 1200 м на юго-восток от КУ1 (координаты 52°07'31,0" с. ш.; 106°56'08,8" в. д., $h = 539$ м) на пологом склоне западной экспозиции крутизной ~1–2° в пределах лесного массива, пройденного низовым пожаром за 15 лет до проводимых исследований. В пределах исследованной территории низовым пожаром пройдено 0,76 км², что составляет 11,2 % площади гари. Лес сосновый (10С), редкотравно-мертвопокровный, IV класса бонитета. Древостой изрежен, сомкнутость крон 0,4–0,5. Высота древостоя ~25–30 м, кора стволов в нижней части повреждена огнем. Кустарниковый ярус и подрост отсутствуют. Напочвенный покров неоднородный: чередуются мертвопокровные участки и травянистые парцеллы (прострел Турчанинова, осока стоповидная, вейник наземный *Calamagrostis epigaeios* L., полынь монгольская *Artemisia mongolica* (Bess) Fisch. Ex Nakai с брусникой обыкновенной, политрихумом волосоносным *Polytrichum piliferum* Hedwig и кладонией оленьей. Проективное покрытие неравномерное и в зави-

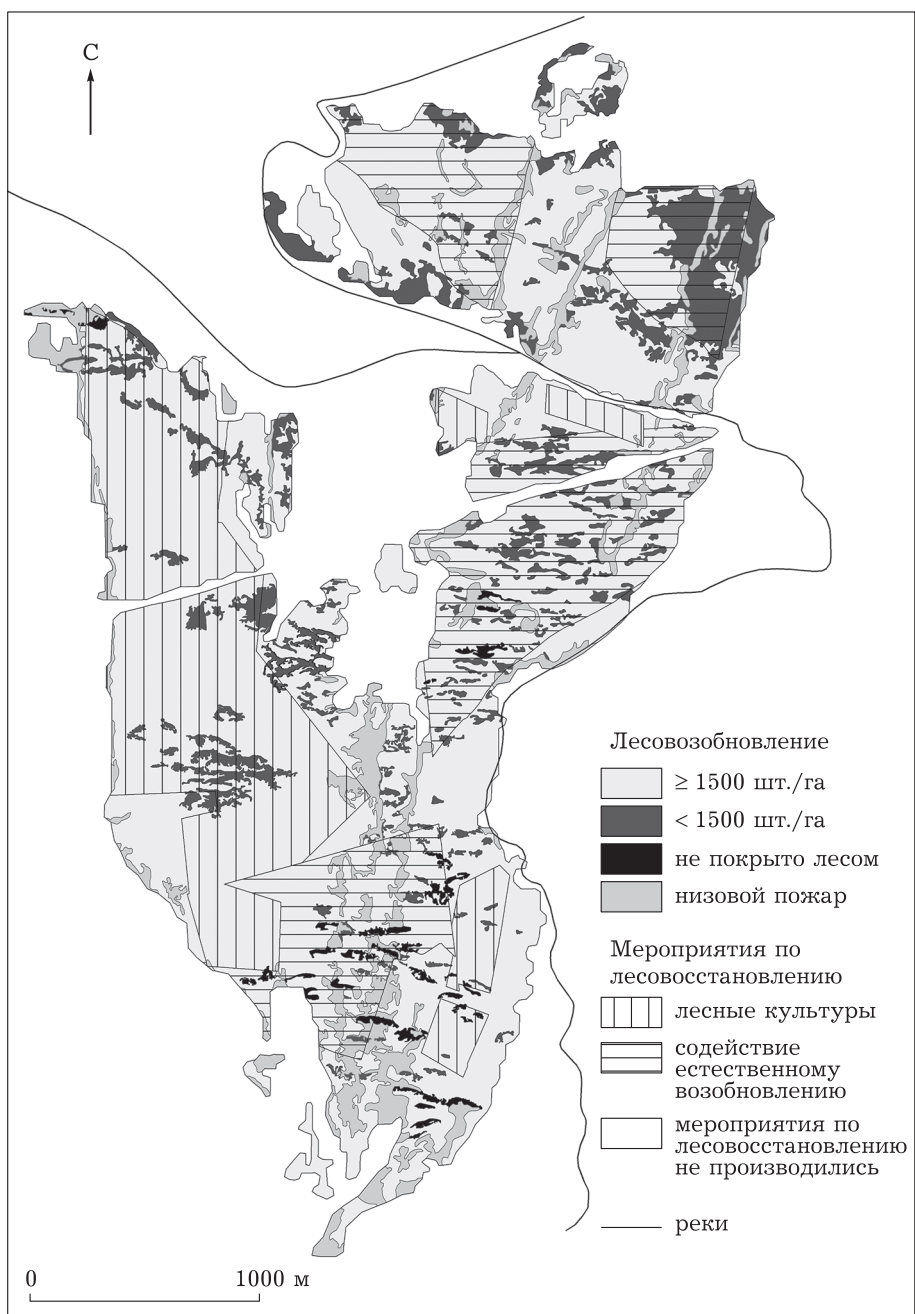


Рис. 4. Степень покрытости лесом через 17 лет после пожара

симости от степени затенения варьирует от 0 до 15 %. Учет лесовозобновления на территориях, пройденных низовыми пожарами, обнаруживает практическое отсутствие подроста.

В профиле почвы КУ2 (Р.13Д-11) присутствуют пирогенные горизонты: обугленная подстилка О_{пг} темно-серого цвета (7.5YR 4/1) мощностью 2 см, перекрытая свежим опадом, гумусовый горизонт АУ_{пг} мощностью 6 см, характеризующийся интенсивным серова-

то-бурым цветом (7.5YR 5/2) из-за включения большого количества обугленных остатков растений размером 0,5–3,0 мм. Подгумусовый горизонт С''_г также отличается от горизонта с аналогичным названием Р. 15Д-11 и имеет более тусклую буроватую окраску (7.5YR 6/3) и несколько большую плотность.

КУЗ расположен в 500 м на запад от участка 2 (координаты 52°07'29,0" с. ш.; 106°55'48,7" в. д.; $h = 535$ м), в верхней части

склона холма северо-западной и западной экспозиции крутизной $\sim 1-2^\circ$, где 15 лет назад, относительно времени исследования, в результате верхового пожара растительный покров и лесная подстилка были полностью уничтожены. В пределах исследованной территории верховым пожаром было пройдено $5,95 \text{ км}^2$ при общей площади гари $6,8 \text{ км}^2$. Из них на большей части ($68,1 \%$) выполнены посадки лесных культур и мероприятия по содействию естественному возобновлению древостоя. КУЗ заложен на территории, где после пожара проведены лесопосадочные работы. Обследование лесовозобновления после верхового пожара показало, что, несмотря на лесопосадочные работы, часть участка осталась не покрытой лесом. Образовавшиеся после пожара не покрытые лесом участки представлены дефлированными песками. Дешифрирование космоснимков и сопоставление полученных материалов с наземным обследованием показывают, что дефлированные пески представляют собой ориентированные с запада на восток полосы желтого цвета шириной $100-150 \text{ м}$. В связи с этим ключевой участок 3 разделен на две части: КУЗа – покрытый молодым лесом и КУЗб – не покрытый лесом. Молодняк сосны на участке 3а имеет среднюю высоту $1,7 \text{ м}$ и среднюю полноту $4375 \text{ шт./0,01 км}^2$, территория относится к лесопокрытым [Приказ..., 2016]. В напочвенном покрове доминирует вейник наземный, присутствуют брусника обыкновенная, прострел Турчанинова, полынь пижмолистная *Artemisia tanacetifolia* L., зеленый мох *Polytrichum piliferum* Hedwig и лишайники рода Кладония *Cladonia*. Проективное покрытие $5-15 \%$.

Почвенный профиль КУЗа под молодым лесом состоит из прерывистой маломощной хрупкой непрочнокомковатой, скрепленной корешками, песчаной корочки W буровато-темно-серого цвета (7.5YR 4/1) и тусклого буроватого цвета (7.5YR 6/3) почвообразующей породы.

На ключевом участке 3б древесная растительность представлена редкими экземплярами неравномерно поселившихся всходов и подроста сосны высотой $< 1 \text{ м}$. Подрост в центральной части полосы практически отсутствует, а у стены молодого леса разновозрастные экземпляры имеют плотность $0,7 \text{ тыс. шт./0,01 км}^2$. В напочвенном покрове – отдельные экземпляры скерды кровельной *Crepis tectorum* L., астрагала хоринского *Astragalus chorinensis* Bunge, овсяницы байкальской *Festuca rubra* subsp. *baikalensis* (Griseb.) Tzvelev (F. *baikalensis* (Griseb.) V. Krecz. et Bobr.). На не покрытой растительностью части ключевого участка (КУЗб) золотые песчаные бугры и котловины выдувания не имеют признаков почвообразования. Песок в зонах дефляции более грубый, очевидно, из-за выдувания пылеватых частиц.

Для диагностики почв ключевых участков определены физико-химические свойства (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование растительного покрова показало три разных состояния экосистем через 15 лет после воздействия огневого фактора: после низового пожара – редины взрослого древостоя, но без подроста (1), после верхового пожара: молодой лес с высокой плотностью (2) и не покрытые лесом участки с дефлированными песками (3). Полученные данные пересчета подроста коррелируют с данными дешифрирования космоснимков 2013 г., где отчетливо диагностируются территории, покрытые взрослым лесом после низового пожара (темно-зеленые), молодым лесом (светло-зеленые с ровной прокраской – $4,0-7,8 \text{ тыс. шт./0,01 км}^2$), относительно редким молодым подростом (крапчатые, серовато-зеленые – $1,5-4,0 \text{ тыс. шт./0,01 км}^2$) и ориентированные с запада на восток песчаные полосы шириной $100-150 \text{ м}$, практически не покрытые лесом ($0-700 \text{ шт./0,01 км}^2$) (см. рис. 4). Дефлированные полосы расположены на пологих склонах наветренной соляриной экспозиции и распределены практически по всей территории гари (см. рис. 4). Занимаемая ими площадь составляет $11,2 \%$, $75,2$ и $(12,4 + 1,2) \%$ соответственно (см. рис. 3).

Площадь территорий, покрытых молодым лесом, значительна ($75,2 \%$) благодаря выполненным лесопосадочным работам ($27,9 \%$) и мероприятиям по содействию естественному возобновлению ($31,9 \%$). Высокая плотность молодняка ($> 4 \text{ тыс. шт./0,01 км}^2$) при естественном возобновлении после верхового пожара наблюдается на территории с дополнительным поступлением влаги грунтовых

Т а б л и ц а 1
Физико-химические свойства почв

Горизонт (глубина, см)	рН		Гумус, %	$\frac{C_{ГК}}{C_{ФК}}$	Запасы гумуса, т/га		Обменные катионы		H_r	ЕКО	$S^{\#}$, %	
	H ₂ O	KCl			а	б	Ca ²⁺	Mg ²⁺				H ⁺
	смоль(экв)/кг почвы											
Р. 15Д-11. Псаммозем гумусовый, оподзоленный												
O(0-4)	5,0	4,8	15,0*	-	-	-	6,2	3,1	48,1	57,4	16	
We (4-9)	5,3	4,8	1,7	0,52	10,4	-	3,1	1,2	3,5	7,8	55	
C*f (9-33)	5,9	4,9	0,03	-	1,0	16,8**	2,2	0,2	1,8	4,2	56	
C1*f (33-70)	6,1	5,1	0,09	-	4,6	-	2,1	0,8	1,2	4,1	70	
C2*(70-110)	6,3	5,1	0,02	-	0,8**	-	1,7	1,0	1,0	3,7	73	
Р. 13-11Д. Псаммозем гумусовый, постпирогенный												
O (0-1)	5,2	4,6	64,2*	-	-	-	6,0	1,2	44,9	52,1	13	
Opir (1-2)	6,1	5,0	62,4*	-	-	-	6,0	0,5	19,1	25,6	25	
AUpir (2-8)	6,4	5,1	3,4	1,16	21,8	66,4**	5,0	0,6	4,4	10,02	55	
C*f (8-37)	5,7	4,7	0,41	0,63	19,1	-	1,6	0,3	2,7	4,6	40	
C1* (37-60)	5,6	4,9	0,55	0,26	19,9	-	1,6	0,3	1,2	3,1	61	
C2*(60-120)	6,2	5,3	0,09	-	5,7**	-	1,2	1,0	1,0	3,2	69	
Р. 14-11Д. Псаммозем гумусовый												
W (0-1)	5,8	4,4	4,4	0,63	5,3	-	2,0	1,0	6,7	9,7	30	
C*f (1-8)	5,7	4,8	0,6	0,58	5,5	28,5**	1,6	0,8	2,5	4,9	48	
C1* (8-41)	6,0	4,9	0,2	-	8,9	-	1,6	0,6	1,3	3,5	62	
C2*(41-102)	6,2	5,1	0,1	-	8,9**	-	1,7	1,0	0,9	3,6	74	

П р и м е ч а н и е. Запасы гумуса: а - по горизонтам; б - в слое 1 м; S[#] - степень насыщенности основаниями; H_r - гидролитическая кислотность.

* C_{орг.}

** До 1 м.

и склоновых вод, составляющей 29 % от площади, пройденной пожаром (табл. 2).

Таким образом, полученные материалы показывают, что более 70 % территории исследования находится в зоне затрудненного лесовоснования, где требуется проведение лесовосстановительных мероприятий. При этом, несмотря на выполненные работы, через 17 лет после пожара не покрытая лесом

дефлированная площадь увеличилась с 1,2 до 13,6 %, т. е. в 11 раз.

В процессе послепожарного восстановления леса динамика растительных сообществ в значительной степени определялась морфологическим строением и свойствами почвы.

Почва контрольного КУ1 имеет профиль O (0-4) - We (4-9) - C*f (9-33) - C1*f (33-70) - C2*(70-110). Свойства и классификаци-

Т а б л и ц а 2
Соотношение площадей с проведенными мероприятиями по восстановлению лесной растительности и естественным возобновлением

Тип пожара	Мероприятие	S, км ²	%
Верховой	Посадка лесных культур	1,9	27,9
	Содействие естественному возобновлению	2,2	31,9
	Естественное возобновление	1,9	29
Низовой	Естественное возобновление	0,8	11,2
Всего		6,8	100

онное положение почвы определяются мощной подстилкой и слабо развитым гумусовым горизонтом с признаками оподзоливания. Почвообразующей породой служат хорошо сортированные переветренные желтовато-светло-бурого цвета (10YR 6/4) песчаные отложения террас. Указанное строение профиля, согласно [Полевой определитель..., 2008], свидетельствуют о принадлежности почвы к типу псаммозем гумусовый, подтипу оподзоленный отдела слабо развитых, по World Reference Base [2014] – к слабогумусированным кислым песчаным почвам Eutric Arenosols (Ochric).

Почва КУ2 трансформирована низовым пожаром и имеет строение O (0–1) – O_{pir} (1–2) – A_{Ypir} (2–8) – C[•]f (8–37) – C 1[•] (37–60) – C2[•] (60–120). При пожаре основным фактором воздействия на свойства почв являются высокие температуры, обуславливающие обугливание и озоление органического вещества. При низовых пожарах температура на поверхности почвы обычно составляет 200–300 °С [Горбатенко и др., 2015]. Выполненное нами в лабораторных условиях прокалывание почвы при температурах 300, 600 и 900 °С показало, что при температуре 300 °С органическое вещество в основном обугливается и частично озоляется. При более высоких температурах происходит полное озоление органического вещества, а минеральная часть приобретает красноватые тона окраски, что является косвенным признаком трансформаций форм соединений железа. Этим, очевидно, и объясняется отсутствие признаков оподзоливания в пирогенных почвах. Морфологическое строение профиля свидетельствует о хорошей сохранности пирогенных признаков за 15 лет послепожарного развития. Влияние пожаров на развитие почв многообразно. Согласно В. Г. Мордковичу [2005], в пройденных пожаром лесных насаждениях подстилка, не уничтоженная пожаром, при сгорании верхнего слоя становится более плотной. За счет угля уменьшается альbedo поверхности, и температура почвы на горелых участках становится значительно выше. Усиливаются и перепады температуры в почве. Очевидно, обугленная подстилка препятствует прорастанию семян сосны. Этим, предположительно, объясняется практическое отсутствие возобновления древостоя на ключевом участке КУ2, пройденном низовым пожаром,

где лесовозобновительные работы не проводились. В то же время отмечающееся образование за послепожарный период нового элемента строения – свежей лесной подстилки над углистым слоем, в будущем, по мере ее разложения и поселения грибной микрофлоры и лишайников, создаст условия для развития альфегумусового процесса. Учитывая роль пожаров в формировании профиля лесных почв и высокую сохранность признаков пирогенеза, нами предложено выделить подтип почвы “постпирогенный” [Гынинова и др., 2019]. Среди исследованных почв к этому подтипу могут быть отнесены почвы, развивающиеся после воздействия низовых пожаров.

Профиль почвы ключевого участка КУ3а состоит из горизонтов: W(0–1)–C[•] (1–8)–C 1[•] (8–41)–C2[•] (41–102). О пирогенности почвы свидетельствует прокрашенность горизонта С до глубины 8 см в аналогичный цвет горизонта C[•]f постпирогенной почвы разреза 13Д-11. Горизонты с признаками пирогенеза в виде углистых частиц отсутствуют. Очевидно, что это связано с более высокими температурами верхового пожара, обуславливающими образование преимущественно золы. Известно, что при верховых пожарах температура может превышать 900 °С и достигать до 1500 °С [Горбатенко и др., 2015], при этом полностью уничтожается почвенный и растительный покров. Отсутствие признаков пирогенеза также связано с выдуванием продуктов сгорания с поверхности почвы, освобожденной от растительного покрова. Сформировавшийся за 15 лет после пожара профиль почвы под возобновляющимся молодым лесом свидетельствует о принадлежности почвы к отделу Слаборазвитые, типу псаммозем гумусовый.

Выполненное нами обследование лесовозобновления на территории КУЗ, пройденного верховым пожаром, показало, что после проведения лесопосадочных работ большая часть участка переведена в лесопокрытую, но некоторая часть осталась не покрытой лесом.

Заложенный в этой части ключевой участок (КУЗб) показал, что у стены молодого леса высотой около 2 м поселились редкие разновозрастные экземпляры сосны высотой <1 м. В связи с чем можно предположить, что пески можно закреплять посадками лесных культур в относительно защищенных

от ветров зонах лесных опушек после формирования лесного полога из укрепившихся саженцев. Почвенный покров на не покрытой растительностью части ключевого участка (КУЗБ) не сформирован.

Таким образом, после пожара образовались псаммоземы гумусовые, постпирогенные и псаммоземы гумусовые, типичные, отличающиеся от почв контрольного участка – псаммоземов гумусовых, оподзоленных, наличием в первом случае пирогенных признаков, а во-втором – слаборазвитостью. Часть почвенного покрова деградировала в дефлированные пески. В Международной системе классификации [World Reference Base..., 2014] постпирогенные почвы соответствуют реферативной почвенной группе Arenosols с квалификаторами Eutric и Ochric: “Eutric Arenosols (Ochric)”.

Физико-химические свойства почв. Все горизонты профиля псаммоземов гумусовых, оподзоленных (P. 15Д-11) характеризуются кислой реакцией среды, ненасыщенностью основаниями и низкими содержанием и запасами гумуса (см. табл. 1). Псаммозем гумусовый, постпирогенный, сформировавшийся на участке, поврежденном низовым пожаром, характеризуется пониженной по сравнению с негорелой почвой кислотностью, более высоким содержанием обменного Ca^{2+} , гумуса и его запасов. Не смотря на это, насыщенность основаниями остается низкой. Согласно А. М. Гришину [2003] и J. A. González-Pérez et al. [2004], в первые годы после пожара закономерно происходит повышение плодородия почв за счет образовавшейся золы, однако через 2–3 года после пожара почвы вновь истощаются. Данные, полученные нами, показывают, что при формировании углистого слоя некоторые свойства, такие как повышенное содержание и запасы гумуса и pH, сохраняются дольше. Псаммозем гумусовый, сформировавшийся на покрытом после верхового пожара молодым лесом участке, характеризуется кислой реакцией, повышенным содержанием гумуса в корочке, но низкими его запасами в метровом слое.

Определение группового состава гумуса почвы контрольного участка обнаруживает преобладание фульвокислот, что инициирует развитие подзолообразовательного процесса. В почвах после верхового пожара состав

гумуса также близок к фульватному, что позволяет предполагать аналогичную направленность почвообразования. Почва после низового пожара приобрела существенные отличия не только в морфологическом строении в виде углистых горизонтов и в физико-химических свойствах, но и, особенно, в составе гумуса. В горизонте Ap₁ направленность процесса гумусообразования изменилась в сторону большего образования и накопления гуминовых кислот и формирования гумуса фульватно-гуматного состава. Однако следует отметить, что углистые вещества постпирогенных почв, согласно O. Zackrisson et al. [1996], представляют собой ароматические высокополимеризованные гумусоподобные соединения, чрезвычайно устойчивые к окислению и вовлечению в биохимические процессы. Значительное присутствие обугленного органического вещества позволяет предполагать, что увеличение отношения $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$ до 1,16 обусловлено попаданием углистых веществ в состав гуминовых кислот. Частицы угля имеют практически неограниченное время жизни в почве; достоверно датированные образцы оцениваются максимум в 360 млн лет [Wardle et al., 1998]. При этом органические новообразования токсичны, так как активно сорбируют фенольные смолы, которые подавляют всхожесть семян и рост проростков.

Таким образом, псаммоземы гумусовые, оподзоленные контрольного ключевого участка представляют собой кислые варианты почв, на которых произрастают сосновые леса IV класса бонитета с хорошо выраженным подлеском из разновозрастного подроста и кустарников. Для почвы сосновых лесов после низового пожара характерна высокая степень сохранности пирогенных морфологических признаков. Из физико-химических свойств несколько выше фоновых показатели содержания обменных катионов и ЕКО. Однако насыщенность почвенно-поглощающего комплекса очень низкая, что свидетельствует о кратковременном нейтрализующем влиянии золы. Более высокое содержание гуминовых кислот требует проверки на идентификацию углистых веществ с гумусом при исследовании его состава. Установлено, что сохранность углистого прослоя в целом отрицательно влияет на возобновление лесной растительности. В связи с этим можно рекомендовать

для более активного восстановления лесной экосистемы после низового пожара проведение разрыхления и перемешивания углистого слоя с минеральным горизонтом. После верховых пожаров восстановление лесной экосистемы происходит очень неравномерно: чередуются участки с хорошим, удовлетворительным и неудовлетворительным возобновлением древостоя. Почва под молодым лесом характеризуется слабым развитием профиля. Неудовлетворительное возобновление обусловлено иссушением и дефляцией слаборазвитой почвы. Известно, что засушливость в регионе в период потепления наступает на фоне довольно стабильного годового количества осадков [Куликов и др., 2014] и проявляется в увеличении расходов воды на испарение. В постпирогенных экосистемах, где лесной покров изрежен или уничтожен, испарение, очевидно, возрастает больше по причине различий радиационного баланса в лесах под кронами и в просветах между ними. Эти показатели имеют существенные отличия в тени деревьев, где их величина соответствует $0,83 \cdot 10^3$ МДж/м²-год, и на открытой местности – $14,72 \cdot 10^3$ МДж/м²-год, что в 18 раз больше, чем в тени [Гейгер, 1960; Гаврилова, 1978; Куликов и др., 1997]. К. Я. Кондратьевым и А. А. Григорьевым [2004] отмечается возрастание теплопроводности почвы и спад альбедо после пожаров до 50 %, что приводит к активной потере влаги почвой и напочвенным покровом. В условиях потепления подобная потеря влаги является важнейшим фактором, определяющим направленность дальнейшего развития постпирогенных экосистем.

На участках с неудовлетворительным возобновлением древостоя рекомендуется производить посадки древесных пород поэтапно, с учетом эффекта опушек. То есть подсаживать деревья на опушках и после перевода их в лесопокрываемые вновь производить посадки у стены молодого леса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях потепления в послепожарных сукцессиях сосновых лесов Юго-Западного Прибайкалья, формирующихся на песчаных отложениях, происходит перестройка во всех звеньях сложнейшей структурно-функциональной организации. При низовых пожа-

рах – это изреживание древостоя, уничтожение подроста и кустарникового яруса, обугливание поверхностных горизонтов почвы, снижение кислотности, возрастание доли гуминовых кислот в составе гумуса. При верховых пожарах растительный покров и органическое вещество почвы уничтожаются полностью. В условиях потепления климата, повышенных расходов воды на испарение, иссушения почвы и напочвенного покрова, увеличения длительности пожароопасного периода и площадей лесных пожаров постпирогенное развитие лесных экосистем приобретает различную направленность в зависимости от типа пожаров.

Через 15 лет после низового пожара под сохранившимся взрослым древостоем, где, согласно правилам проведения работ по лесовозобновлению, проведение мероприятий по содействию возобновлению не предусматривается, молодняк сосны в составе древостоя отсутствует. Факторами, препятствующими процессу возобновления, являются обугленные поверхностные горизонты псаммоземов гумусовых, постпирогенных.

Через 15 лет после верхового пожара естественное возобновление удовлетворительно лишь на 29 % территории. На слаборазвитых псаммоземах гумусовых, занимающих 75,2 % площади гари, перевод территории в лесопокрываемые произошел благодаря мероприятиям по лесовосстановлению. На вновь образовавшихся дефлированных песках, практически без признаков почвообразования, восстановление лесной растительности не происходит. Причиной неполного восстановления лесопокрываемости послужило образование многочисленных участков дефляции, в результате чего территория, не покрытая лесом, увеличилась в 11 раз, несмотря на проведенные лесопосадочные работы.

В этих условиях проведение традиционно принятых в лесном хозяйстве региона мероприятий по восстановлению лесных экосистем оказывается недостаточным. Рекомендуется при планировании мероприятий по восстановлению лесных экосистем после пожаров использовать такие адаптированные мероприятия по восстановлению леса, как проведение содействия возобновлению после низовых пожаров в виде разрыхления постпирогенной обугленной почвы, а также неоднократное вы-

полнение лесопосадочных работ на дефлируемых участках с учетом защищенности от ветра опушек леса.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме “Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами” (AAAA-A1-117011810038-7); частично при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов: № 19-29-05250 “Температурное поле почв криолитозоны Забайкалья: закономерности развития и прогноз изменений”, № 18-45-030022 p_a “Разработка радиометрических методов раннего обнаружения очагов торфяных пожаров в Байкальском регионе”, № 18-45-030033 “Количественное исследование динамики изменения климата почв на южной границе ареала многолетней мерзлоты под влиянием процесса глобального потепления в Западном Забайкалье”.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева Е. Н., Баккал И. Ю., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Мазная Е. А., Нешатаев В. Ю., Нешатаева В. Ю., Ставрова Н. И., Ярмишко В. Т., Ярмишко М. А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Антропов В. Ф., Середкин А. Д., Щепин А. А. Лесное хозяйство Бурятии. Улан-Удэ: ЭКОС, 2013. 184 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2014. 1008 с.
- Габышева Л. П. Роль пожаров в возобновлении лесов Центральной Якутии // Вестн. Том. ун-та. Биология. 2014. № 1 (25). С. 154–166.
- Гаврилова М. К. Климат и многолетнее промерзание горных пород. Новосибирск, 1978. 213 с.
- Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 486 с.
- Горбатенко В. П., Громницкая А. А., Константинова Д. А., Ершова Т. В., Нечепуренко О. Е. Оценка роли климатических факторов в возникновении и распространении лесных пожаров на территории Томской области // Вестн. Том. ун-та. 2015. № 395. С. 233–240.
- Гришин А. М., Фильков А. И. Об одной модели прогноза лесной пожарной опасности // Инж.-физ. журн. 2003. Т. 76, № 5. С. 154–158.
- Гынинова А. Б., Дыржинов Ж. Д., Гончиков Б.-М. Н., Бешенцев А. Н. Антропогенная трансформация подтаежных почв дельты р. Селенга // География и природ. ресурсы. 2016. № 5. С. 83–91.
- Гынинова А. Б., Дыржинов Ж. Д., Куликов А. И., Гынинова Б. Д., Гончиков Б.-М. Н. Послепожарная эволюция песчаных почв под сосновыми лесами в Прибайкалье // Почвоведение. 2019. № 4. С. 451–463.
- Доржиев Ц. З., Бао Юухай, Бадмаева Е. Н., Батсайхан В., Урбазаев Ч. Б. Юшань. Лесные пожары в Республике Бурятия за 2002–2016 гг. // Природа Внутр. Азии. 2017. № 3 (4). С. 22–37.
- Евдокименко М. Д. География и причины пожаров в Байкальских лесах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 4. С. 55–74.
- Жуков В. М. Климат Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1960. 188 с.
- Кондратьев К. Я., Григорьев А. А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 7, № 4. С. 279–292.
- Краснощекоев 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.
- Куликов А. И., Дугаров В. И., Корсунов В. М. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1997. 312 с.
- Куликов А. И., Убугунов Л. Л., Мангатаев А. Ц. О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20, № 3 (60). С. 5–13.
- Методические указания по планированию, проектированию, приемке, инвентаризации, списанию объектов лесовосстановления и лесоразведения и оценке эффективности мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению. М.: ВНИИЛМ, 2011. 98 с.
- Мордкович В. Г. Основы биогеографии. М.: КМК-Пресс, 2005. 430 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 375. г. Москва “Об утверждении Правил лесовосстановления”.
- Розанов Б. Г. Морфология почв: учеб. М.: Академический Проект, 2004. 432 с.
- Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Тишков А. А., Шеремет Л. Г. Продуктивность и динамика биоты луговых степей Михайловской целины // Динамика биоты в экосистемах Центральной лесостепи. М.: Ин-т географии АН СССР, 1986. С. 200–210.
- Тулохонов А. К., Пунцукова С. Д. Лесные пожары в РБ в условиях изменения климата // Общество: политика, экономика, право. 2016. № 3. С. 72–78.
- Чевычелов А. Л., Шахматова Е. Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 3. С. 273–277. [Chevychelov A. L., Shakhmatova E. Yu. Pyrogenesis and postpyrogenic transformation of permafrost-affected soils // Contemporary Problems of Ecology. 2012. Vol. 19, N 3. P. 273–278.]
- FAO. Climate change for forest policy-makers – An approach for integrating climate change into national forest policy in support of sustainable forest management – Version 2.0 // FAO Forestry Paper. Rome. 2018. N 181. 68 p.
- González-Pérez J. A., González-Vila F. J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter – a review // Environ. International. 2004. N 30. P. 855–870.
- Wardle D. A., Barker G. M., Bonner K. I., Nicholson K. S. Can comparative approaches based on plant ecophysiological traits predict the nature of biotic interactions and individual plant species effects in ecosystems? // J. Ecol. 1998. N 86. P. 405–420.

Xu Chongyang, Liu Hongyan, Anenkhonov O. A., Korolyuk A. Yu., Sandanov D. V., Balsanova L. D., Naidanov B. B., Wu X. Iuchen. Long-term forest resilience to climate change indicated by mortality, regeneration, and growth in semiarid southern Siberia // *Global Change Biol.* 2017. N 23. P. 2370–2382.

Zackrisson O., Nilsson M.-C., Wardle D. A. Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest // *Oikos*. 1996. N 77. P. 10–19.

World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. FAO. Rome, 2014. P. 181.

Post-fire evolution of forest ecosystems on sandy terraces in the South-Eastern Baikal region

A. B. GYNINOVA^{1, 3}, L. L. UBUGUNOV^{1, 3}, A. I. KULIKOV^{1, 3}, B. D. GYNINOVA²,
B. N. GONCHIKOV¹, N. B. BADMAEV¹, D. P. SYMPILOVA¹

¹*The Institute of the General and Experimental Biology of SB RAS
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6
E-mail: ayur.gyninova@mail.ru*

²*Department of FSI “Russian Centre of Forest Health” –
“Russian Centre of Forest Health of The Republic of Buryatia”
670047, Ulan-Ude, Severnaya str., 133*

³*Buryat State Academy of Agriculture
670024, Ulan-Ude, Pushkina str., 8*

In the Baikal region, warming under conditions of climate continentality is accompanied by increasing of the area of forest fires and the risk of post-pyrogenic ecosystems not turning back into the forest cover. The study of pine forests on sand sediments in the South-Eastern Baikal region showed that ecosystems, located on the territory damaged by fire, develop in different directions depending on the type of a fire and local conditions. After a ground fire, the adult forest stand is preserved and stable signs of pyrogenesis in the soil are developed in the form of charred epipedons. Under these conditions, sparse-grass and dead-cover open stands are formed with almost no signs of renewed young growth and shrubs. The coal influence causes a decrease in soil acidity, an increase in the content of calcium exchange, the formation of humus of humate composition and the base unsaturation. It is proposed to identify the soils with coal epipedons at the level of subtype: psammosoils humus post-perogenic. After a top fire, the plant cover and the soil cover are completely destroyed, the ecosystem begins its development from the 0-moment. Forest renewal in lowlands and on the slopes of shadow and leeward expositions occurs actively in a natural way, as well as against the background of the performed reforestation works. During the post-fire period the soil of Underdeveloped section, psammosoil humus, was formed under the young forest. On the slopes of solar, upwind expositions, despite the actions taken to restore the forest stand, deflation zones, not covered with forest and with no signs of soil formation, are formed. Remote sensing methods made it possible to ascertain that for fifteen years of post-fire development, despite the performed reforestation, the area of uncovered deflation zones has increased in eleven times compared to the pre-fire period. It is recommended to include forest stand restoration in the form of loosening the charred soil on the territories damaged by ground fires, as well as repeated execution of forest planting works in the deflated areas considering protection of the forest edges from wind, into a set of measures to restore forest ecosystems after wildfires.

Key words: Warming, pine forests, fires, post-pyrogenic development, natural reforestation, assistance to natural reforestation, forest plantations, psammosoils, coal band, deflation, remote sensing.