

УДК 630*431.2+614.342

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСОВ В ЛАНДШАФТАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

© 2020 г. В. В. Фуряев^а, *, П. А. Цветков^а, И. В. Фуряев^а

^аИнститут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Академгородок, 50, стр. 28, г. Красноярск, 660036 Россия

*E-mail: furya_i@mail.ru

Поступила в редакцию 16.03.2018 г.

После доработки 08.11.2018 г.

Принята к публикации 29.01.2020 г.

Впервые для ландшафтов плато южной тайги Красноярского края, занятых южно-таежными сообществами, дистанционным методом определена долговременная пожароустойчивость лесов. Проведена классификация ландшафтов по классам долговременной пожароустойчивости. Оценка выполнена в связи с экологическими режимами исследуемых ландшафтов и сменой коренных фитоценозов (не горевших более 200 лет) на производные. В каждом ландшафте путем дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков определено процентное соотношение коренных и производных сообществ, что дало возможность распределить ландшафты по классам долговременной пожароустойчивости. Установлено, что производные сообщества сменили коренные на площади от 10 до 50%. Это свидетельствует о среднем и высоком классе их долговременной пожароустойчивости. Проведена экологическая оценка лесных земель по восьми основным режимам почвенного субстрата: трофности, подвижности, водности, рыхлости, дренажу, затопляемости, мерзлотности и нарушенности. Определены ступени воздействия каждого из восьми экологических режимов почвенного субстрата и показана их взаимосвязь с масштабами послепожарной смены пород. Установлено, что основными лимитирующими экологическими режимами для исследуемых ландшафтов являются: увеличенная подвижность, недостаточная рыхлость, низкий дренаж почв и грунтов, режим нарушенности лесных земель. Указанные экологические условия препятствуют развитию высокопродуктивных производительных насаждений. Ландшафты 7.13.2 “Кова-Ангарское плато” и 7.13.4 “Усолка-Бирюсинское структурное плато” отличаются малой горимостью, смена пород в них произошла на 10% площади, что позволяет отнести их к высокому классу долговременной пожароустойчивости и не прогнозировать в будущем значительного ущерба от вероятных пожаров. В то же время в двух других ландшафтах смена пород произошла на площади от 31 до 50%, что свидетельствует о среднем классе долговременной пожароустойчивости и позволяет прогнозировать значительный экономический ущерб в случае возникновения природных пожаров, особенно в экстремальных погодных условиях.

Ключевые слова: ландшафт плато, коренные и производные сообщества, смена пород, ступени экологических режимов, долговременная пожароустойчивость лесов.

DOI: 10.31857/S0024114820030031

В последние десятилетия вследствие экстремальных климатических и погодных условий крупные высокоинтенсивные природные пожары увеличились в разы по числу и площади на территории Сибири и других регионов. Это явление наблюдается не только в бореальных и лесостепных районах Евразии, но и в странах со средиземноморским климатом, таких как Греция, Турция, Испания, Португалия и др. Причем природные пожары во многих случаях принимают характер катастрофических (Hannelius, Kuusela, 1995; Forman, 2005; Голдаммер, 2006). При этом многократно возрастают трудовые и финансовые

затраты на определение ущерба. Для прогнозирования последствий пожаров и принятия решений об уровне охраны необходимо определять и оценивать пожароустойчивость крупных географических структур, таких как местности и ландшафтные области. Это важно для оптимизации распределения выделяемых средств на профилактику, обнаружение и ликвидацию пожаров.

На территориях, доступных для наземных исследований, пожароустойчивость определяют относительным или абсолютным показателем отпада деревьев (Мусин, 1973; Фуряев, 1978). Данная

методика отработана и на практике не вызывает никаких затруднений. Такой подход возможен при оценке пожароустойчивости лишь элементарных ландшафтных структур, таких как фация, урочище. Актуальным же на сегодняшний день остается выявление и оценка долговременной пожароустойчивости более крупных ландшафтных структур. Определение пожароустойчивости усложняется, если рассматривать воздействие не одного, а множества природных пожаров, действующих на протяжении двух – трех столетий (Попов, 1967; Санников, 1973; Евдокименко, 1974; Бузыкин, 1975; Киреев, 1979; Фуряев, 1996). В данном случае основой для дистанционного определения долговременной пожароустойчивости крупных ландшафтов являются аэрокосмические фотоснимки. Представляется очевидным, что чем крупнее ландшафт и сложнее его структура, тем более генерализованно выглядит его изображение на снимках (Киреев, 1997). Это обстоятельство не позволяет использовать отпад деревьев в качестве диагностического признака для индикации пожароустойчивости насаждений крупных ландшафтных структур. Наш опыт показал, что при исследовании лесообразовательного процесса на малообжитых и труднодоступных территориях объективным показателем долговременной пожароустойчивости насаждений может быть смена коренных фитоценозов послепожарными производными сообществами, т.е. их соотношение в ландшафте. К тому же этот показатель с высокой объективностью может служить индикатором пожароустойчивости фитоценозов с учетом воздействия пирогенного фактора в прошлом на протяжении многих десятилетий.

В лесных экосистемах решающее влияние на развитие растительности оказывают литогенная основа, атмосфера и вода. Изменение этих компонентов неживой природы непременно воздействует на экологические режимы экосистем и растительность. Экологические режимы создают оптимальные условия развития одних группировок растительности и в то же самое время препятствуют существованию других растений, не соответствующих данным условиям. В результате, группы растений с оптимальными условиями для их развития занимают господствующее место в сообществе.

Целью исследования являлась классификация ландшафтов по классам долговременной пожароустойчивости через смену коренных сообществ на производные, а также экологическая оценка лесных земель для понимания того, в каких условиях формируются ландшафты различного класса долговременной пожароустойчивости.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследованная территория ограничена географическими координатами: 50–51° с.ш. и 56–58° в.д., т.е. включает часть подзоны южной тайги в границах Красноярского края. В основном это южная и юго-восточная части Среднесибирского плоскогорья.

Объектами исследования послужили лиственные, сосновые, еловые, пихтовые, реже кедровые леса ландшафтов плато, сменившиеся в результате неоднократно повторяющихся пожаров березняками, осинниками и смешанными хвойно-лиственными насаждениями. В качестве природной основы для географического анализа послепожарной смены пород использованы ландшафты, выделенные на исследуемой территории (Киреев, Сергеева, 1995). Полевые исследования проведены в границах ландшафтов – 7.13.1–7.13.4 (рис. 1). При этом изучена история происхождения и формирования производных лесов. Маршруты обследования ландшафтов намечались таким образом, чтобы они охватывали все многообразие производных сообществ. Особое внимание уделялось возрастной структуре древостоев, обилию и составу подроста, наличию пожарных подсушин, по которым определяли годы действия пожаров и рассчитывалась их повторяемость.

Для оценки масштабов смены пород использовался структурно-экологический метод дешифрирования и интерпретации крупномасштабных аэрофотоснимков. По крупномасштабным аэрофотоснимкам выявляли характеристики лесорастительных показателей лесных сообществ: состав, высоту, сомкнутость полога, густоту, равномерность размещения деревьев, размеры крон, особенности роста различных древесных пород.

В результате дешифрирования снимков в границах каждого ландшафта установлено соотношение лесных площадей, представляющих разные стадии формирования лесов или их сочетания. Этот материал послужил основой для классификации пожароустойчивости ландшафтов по масштабам смены коренных формаций на производные послепожарные (Фуряев, Киреев, 1979).

Для экологической оценки мы воспользовались материалами карты экологической оценки лесных земель Красноярского края (Киреев, Сергеева, 1995). На этой карте особый интерес представляет экологическая оценка лесных земель, которая определялась по восьми экологическим режимам: трофности (Т), водности (В), рыхлости (Р), подвижности (П), мерзлотности (М), затопляемости (З), дренажу (Д) и нарушенности (Н). Каждый режим указан с одной из ступеней градации, которая определяет степень воздействия на рост и продуктивность древесной растительности. Определив степень воздействия каждого из восьми экологических режимов почвенного субстрата,



Рис. 1. Схема природного районирования Красноярского края (Киреев, Сергеева, 1995). I – арктическая пустыня; II – тундра и лесотундра; III – северная тайга; IV – средняя тайга; V – южная тайга; VI – травянистые леса лесостепи и степи; VII – степи и лесостепи. Рельеф: А – равнинный (равнинно-холмистый); Б – возвышенный и плато; В – среднегорный; Г – горный. Стрелкой показан район исследований из фрагмента ландшафтной карты Красноярского края.

можно вывести формулу экологического режима исследуемого ландшафта. Долговременная пожароустойчивость ландшафтов оценена в связи с экологическими режимами, влияющими на развитие растительности в исследуемых экотопах. В таблице 1 приведены оптимальные и лимитирующие для фитоценозов ступени градаций экологических режимов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены четыре плато, достаточно контрастно различающиеся по смене пород (от 10 до 50%) и соответствующим классам пожароустойчивости. Классы долговременной пожароустойчивости лесов приведены по следующей шкале: 1 – высокий, площадь производных

Таблица 1. Оптимальные и лимитирующие ступени экологических режимов (Киреев, Сергеева, 1995)

№№	Экологический режим почвы	Степень воздействия экологических режимов		
1	Трофность	**T ₀	*T ₁	**T ₂
2	Водность	**B ₀	*B ₁	**B ₂
3	Рыхлость	**P ₀	**P ₁	*P ₂
4	Подвижность	*Π ₀	**Π ₁	**Π ₂
5	Мерзлотность	*M ₀	**M ₁	**M ₂
6	Затопляемость	*Z ₀	**Z ₁	**Z ₂
7	Дренаж	**D ₀	**D ₁	*D ₂
8	Нарушенность	*H ₀	**H ₁	**H ₂

* Оптимальная степень.

** Лимитирующая степень

Таблица 2. Классы долговременной пожароустойчивости лесов и их взаимосвязь с послепожарной сменой пород в ландшафтах плато подзоны южной тайги Красноярского края

Индекс ландшафтной страны, ландшафтной области, ландшафта	Географическое название и адрес ландшафта (Киреев, Сергеева, 1995)	Формула экологического режима	Площадь производных сообществ, %	Класс пожароустойчивости
7.13.1	Приангарское плато трапповое с южнотаежными сосняками, лиственничными и темнохвойными лесами	T ₁ B ₁ P ₁ Π ₁ M ₀ Z ₀ D ₂ H ₁	31%	2 (средний)
7.13.2	Кова-Ангарское плато структурное с южнотаежными сосняками и лиственничниками	T ₁ B ₁ P ₁ Π ₁ M ₀ Z ₀ D ₂ H ₀₋₁	10%	1 (высокий)
7.13.3	Чуно-Бирюсинское плато структурное с сосновыми и темнохвойными лесами	T ₁ B ₁ P ₁₋₂ Π ₀ M ₀ Z ₀ D ₁ H ₁	50%	2 (средний)
7.13.4	Усолка-Бирюсинское плато с южнотаежными сосновыми и темнохвойными лесами	T ₁ B ₁ P ₂ Π ₀ M ₀ Z ₀ D ₂ H ₁	10%	1 (высокий)

сообществ составляет от 1 до 30% площади ландшафта; 2 – средний, от 31 до 60% площади; 3 – низкий, выше 61% площади (Фурьев и др., 2015).

В ландшафте 7.13.1 “Приангарское плато трапповое с южнотаежными сосняками, лиственничными и темнохвойными лесами” смена пород произошла на 31% площади, класс долговременной пожароустойчивости средний – 2. Формула экологического режима выглядит следующим образом: T₁ B₁ P₁ Π₁ M₀ Z₀ D₂ H₁. Здесь и далее подчеркнуты экологические режимы, лимитирующие продуктивность древесной растительности (Киреев, Сергеева, 1995). В данном случае это режимы рыхлости (P), подвижности (Π) и нарушенности (H). Режим рыхлости (P₁) свидетельствует, что литогенную основу ландшафта составляют каменистые и маломощные рыхлые отложения на

скальных породах, препятствующие нормальному развитию и производительности лесных формаций. Режим подвижности (Π₁) указывает на нестабильность субстрата корнеобитаемых горизонтов почвы, что также негативно влияет на развитие древесной растительности. Нарушенность (H₁) характеризует лесные земли со значительным распространением производных сообществ, но с еще возможным восстановлением исходных фитоценозов и ненарушенной литогенной основой.

Для ландшафта 7.13.2 “Кова-Ангарское плато структурное, вулканогенное с южнотаежными сосняками и лиственничниками” в формуле экологического режима T₁ B₁ P₁ Π₁ M₀ Z₀ D₂ H₀₋₁ подчеркнуты режим рыхлости (P₁) и нарушенности (H₁₋₀). Смена пород произошла здесь на 10% пло-

щади ландшафта, преимущественно производными березняками. Класс долговременной пожароустойчивости в соответствии с упомянутой шкалой высокий и равен 1.

На территории ландшафта 7.13.3 – “Чуно-Бирюсинское трапповое структурное плато с коренными сосновыми и темнохвойными лесами” смена коренных пород производными произошла на 50% площади лесных земель. Основную часть производных лесов составляют березняки (40%) и осинники (10%). Формула экологического режима: $T_1 B_1 P_1 P_0 M_0 Z_0 D_1 H_1 K$ основным лимитирующим режимам (P_1) и (H_1) добавляется режим дренажа (D_1), свидетельствующий о наличии приповерхностных вод, условиях малоподвижных слабопроточных ложбин, стоков. Исходя из процентного замещения коренных лесов производными (50%), пожароустойчивость лесов ландшафта в данных экологических условиях является средней и соответствует 2 классу.

Около 40% территории ландшафта 7.13.4 “Усолка-Бирюсинская озерно-аллювиальная равнина и структурное плато с южно-таежными сосновыми, темнохвойными лесами” используются как земли сельскохозяйственного назначения. Сосняки сохранились на 40% площади, ельники с пихтой – на 10%, производные березняки составляют 10% земель ландшафта. Формула экологического режима ландшафта выглядит как: $T_1 B_1 P_2 P_0 M_0 Z_0 D_2 H_1$. В данном ландшафте лишь один экологический режим негативно влияет на рост и продуктивность древесной растительности – нарушенности лесных земель H_1 , который может свидетельствовать об активной хозяйственной деятельности человека в этих местах (охота, рыбалка, сбор дикоросов и т.п.). Смена пород в этом ландшафте произошла только на 10% площади, что свидетельствует о высокой долговременной пожароустойчивости лесов (1 класс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Смена коренных пород на послепожарные производные произошла на 25% площадей ландшафтов плато. Как правило, лиственные сообщества возникли на месте бывших темнохвойных лесов, произрастающих на относительно богатых суглинистых почвах водоразделов и склонов. Для этих ландшафтов наиболее важными экологическими режимами, лимитирующими развитие древесной растительности, являются наличие щебнистых почв на скальных породах, плохо дренируемых грунтов с малоподвижными приповерхностными водами, а также режим нарушенности земель, свидетельствующий об активной хозяйственной деятельности человека на этих территориях. Эти условия задерживают распространение пожаров и послепожарную смену пород, поскольку

природные территориальные комплексы (ПТК) с указанными экологическими режимами отличаются малой горимостью и средним классом долговременной пожароустойчивости лесов.

В то же время многие ландшафты характеризуются оптимальными режимами по трофности, обеспеченности влагой и хорошим дренажем, отсутствием подвижности, мерзлоты и затопляемости. Эти режимы способствуют формированию ПТК с высокой продуктивностью сообществ и высокой вероятностью смены коренных лесов на производные. В некоторых ландшафтах размеры ее достигают 50% площади, что характеризует многолетнюю пожароустойчивость как среднюю. Фактическую смену лиственнично-сосновых лесов на производные в ландшафтах плато с южно-таежной растительностью можно охарактеризовать как умеренную. Это может быть обусловлено высокой огнестойкостью сосны и лиственницы, пожароустойчивостью сосново-лиственничных сообществ, а также пирогенностью популяций сосны и лиственницы, т.е. способностью восстанавливаться в условиях гаревого экотопа, а в некоторых случаях даже расширять свои ареалы (Цветков, 2004; Шешуков, Пешков, 1984).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бузыкин А.И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1975. С. 141–153.
- Голдаммер И.Г. Природные пожары – глобальные перспективы и проблемы // Северо-Восточная Азия: вклад в глобальный лесопожарный цикл. – Хабаровск, 2006. С. 14–49.
- Евдокименко М.Д. Жизнеспособность деревьев после низового пожара // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1974. С. 238–277.
- Киреев Д.М., Сергеева В.Л. Экологическая оценка и картографирование земель Красноярского края. М.; СПб.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1995. 34 с.
- Киреев Д.М. Методы изучения лесов по аэрофотоснимкам. Новосибирск: Наука, 1997. 212 с.
- Мусин М.З. Определение отпада деревьев и методы повышения пожароустойчивости древостоев в борах Казахского мелкосопочника // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 278–300.
- Попов Л.В. Динамика южнотаежных лесов Средней Сибири // Сибирский географический сборник. М.; Л.: Наука, 1967. С. 151–196.
- Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
- Фуряев В.В. Пожароустойчивость лесов и методы ее повышения // Прогнозирование лесных пожаров.

Красноярск: Институт леса и древесины СО АН СССР, 1978. С. 123–146.

Фуряев В.В., Киреев Д.М. Изучение послепожарного формирования лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 162 с.

Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 251 с.

Фуряев В.В., Киреев Д.М., Самсоненко С.Д. Идентификация пожароустойчивости лесов Западной Сибири // Лесоведение. 2015. № 1. С. 3–9.

Цветков П.А. Пирофитность лиственницы Гмелина с позиций жизненных стратегий // Экология. 2004. № 4. С. 252–265.

Шешуков М.А., Пешков В.В. О соотношении понятий “огнестойкость”, “пожароустойчивость” и “пирофитность” // Лесоведение. 1984. № 5. С. 60–63.

Hannellius S., Kuusela K. Finland the country of evergreen forest. — Jonsuu: Forssan Kirjapaino oy, 1995. 195 p.

Forman R.T.T. Land mosaic // The ecology of landscapes and regions. Cambridge University press 2005. 632 p.

Ecological Conditions of the Long Term Fire Resistance in Landscapes of the Southern Taiga in Krasnoyarsk Territory

V. V. Furyaev^{1,*}, P. A. Tsvetkov¹, and I. V. Furyaev¹

¹Forest Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (FI SB RAS), Academgorodok, 50 bldg. 28, Krasnoyarsk, 660036 Russia

*E-mail: furyaev_i@mail.ru

The long-term fire resistance of forests was for the first time determined by remote sensing methods in the landscapes of the plateaus of the southern taiga in the Krasnoyarsk Territory occupied by the southern taiga communities. The landscapes are classified according to the long-term fire resistance classes. The assessment was carried out taking into account the ecological regimes of the landscapes under study and the change of indigenous phytocenoses (not being burnt for more than 200 years) to secondary ones. In each landscape the percentage ratio of indigenous and secondary communities was determined by deciphering large-scale aerial photographs, which made it possible to distribute landscapes according to long-term fire resistance classes. It was established that the secondary communities replaced the indigenous ones on the area of 10 to 50% of the whole studied territory. This indicates the middle and high class of their long-term fire resistance. An ecological assessment of forest lands was carried out according to eight main regimes of the soil substrate: trophicity, mobility, water availability, friability, drainage, flooding, permafrost and disturbance. The impact levels of each of the eight ecological regimes of the soil substrate were determined and their relationship with the extent of the post-fire species change is shown. It has been established that the main limiting ecological regimes for the studied landscapes are: increased mobility, insufficient friability, low drainage of soils and grounds, and the disturbance regime of forest lands. These environmental conditions impede the development of highly productive forest stands. Landscapes 7.13.2 “Kova-Angarsk plateau” and 7.13.4 “Usolka-Biryusinskoe structural plateau” are characterized by low combustibility, the change of species in them occurred on 10% of the area, which makes it possible to attribute them to a high class of long-term fire resistance and to predict no significant damage from potential future fires. At the same time, in two other landscapes, the change of species occurred on the area from 31 to 50%, which indicates the middle class of long-term fire resistance and allows us to predict significant economic damage in case of natural fires, especially in extreme weather conditions.

Keywords: plateau landscapes, indigenous and secondary communities, species change, ecological regimes stages, long-term fire resistance of forests.

REFERENCES

Buzykin A.I., Vliyaniye nizovykh pozharov na osnovnye lesa Srednego Priangarya (The influence of ground fires on the pine forests of the Middle Angara), In: *Okhrana lesnykh resursov Sibiri (Protection of forest resources of Siberia)* Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1975, pp. 141–153.

Evdokimenko M.D., Zhiznesposobnost' derev'ev posle nizovogo pozhara (Resilience of trees after a ground fire), In: *Voprosy lesnoi pirolologii (Challenges of the forest pyrology)*, Krasnoyarsk: Izd-vo ILiD SO AN SSSR, 1974, pp. 167–196.

Forman R.T.T., *Land mosaic: The ecology of landscapes and regions*, Cambridge: Cambridge University press, 2005.

Furyaev V.V., *Izuchenie poslepozharnoi dinamiki lesov na landshaftnoi osnove* (Landscape-based study of postfire forest dynamics), Novosibirsk: Nauka, 1979, 159 p.

Furyaev V.V., Kireev D.M., Samsonenko S.D., Identifikatsiya požaroustoichivosti lesov Zapadnoi Sibiri (Identification of the forest Fire resistance in West Siberia), *Lesovedenie*, 2015, No. 1, pp. 3–9.

Furyaev V.V., Požaroustoichivost' lesov i metody ee povysheniya (Fire resistance of forests and methods for improving it), In: *Prognozirovanie lesnykh požharov (Forecasting forest fires)*, Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1978, pp. 123–146.

Furyaev V.V., *Rol' požharov v protsesse lesoobrazovaniya*, Novosibirsk: Nauka, 1996, 253 p.

- Goldammer I.G., Prirodnye pozhary – global’nye perspektivy i problemy (Natural fires – global perspectives and challenges), In: *Severo-Vostochnaya Aziya: vklad v global’nyi lesopozharnyi tsikl (North-East Asia: the contribution to the global forest fire cycle)*, Khabarovsk: 2006, pp. 14–49.
- Hannelius S., Kuusela K.F., *Finland the country of evergreen forest*, Jonsuu: Forssan Kirjapaino oy, 1995, 195 p.
- Kireev D.M., *Metody izucheniya lesov po aerofotosnimkam* (Methods of studying forests by aerophotographs), Novosibirsk: Nauka, 1997, 212 p.
- Kireev D.M., Sergeeva V.L., *Ekologicheskaya otsenka i kartografirovaniye zemel’ Krasnoyarskogo kraya*. (Ecological assessment and mapping of lands of the Krasnoyarsk territory), Moscow, Saint Petersburg: Izd-vo VNIITslesresurs, 1995, 34 p.
- Musin M.Z., Opredelenie otpada derev’ev i metody povysheniya pozharoustoichivosti drevostoev v borakh Kazakhskogo melkosopochnika (Determination of tree fallout and methods of increasing fire resistance of stands in the forests of the Kazakh melkosopochnika), In: *Gorenie i pozhary v lesu* (*Burning and fires in the forest*), Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1973, pp. 278–300.
- Popov L.V., Dinamika yuzhnotaevzhnykh lesov Srednei Sibiri (Dynamics of southern taiga forests in Central Siberia), In: *Sibirskii geograficheskii sbornik (Siberian geographical collection)*, Moscow, Leningrad: 1967, pp. 151–196.
- Sannikov S.N., Lesnye pozhary kak evolyutsionno-ekologicheskiy faktor vozobnovleniya sosny v Zaural’e (Forest fires as an evolutionary-ecological factor of pine renewal in the Trans-Urals), In: *Gorenie i pozhary v lesu (Burning and fires in the forest)*, Krasnoyarsk: Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1973, pp. 236–277.
- Sheshukov M.A., Peshkov V.V., O sootnoshenii ponyatii “ognestoikost”, “pozharoustoichivost” i “pirofitnost” (On the relationship between the concepts of “fire resistance”, “fire resistance” and “pyrophytic”), *Lesovedenie*, 1984, No. 5, pp. 60–63.
- Tsvetkov P.A., Pyrophytic properties of the larch *Larix gmelinii* in terms of life strategies, *Russian J. Ecology*, 2004, Vol. 35, No. 4, pp. 224–229.