

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ / BIOLOGICAL RESOURCES

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31>

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ И ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВОГО КУСТАРНИЧКОВО-ЛИШАЙНИКОВОГО ЛЕСА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЯМЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Научная статья

Махатков И.Д.^{1,*}, Смоленцев Б.А.², Ермолов Ю.В.³

¹ ORCID : 0000-0002-2462-6038;

² ORCID : 0000-0002-9749-8233;

³ ORCID : 0000-0001-9426-2068;

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики - филиал ФИЦ КНЦ СО РАН, Норильск, Российская Федерация

^{1,2,3} Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (makhatkov[at]jissa-siberia.ru)

Аннотация

В работе, по материалам наблюдений за 1996 и 2021 год на Ноябрьском экологическом полигоне (Ямало-Ненецкий АО), представлены результаты анализа динамики соснового кустарничково-лишайникового леса на двух пробных площадях (ПП), одна из которых заложена в части леса без признаков пожара, вторая – в части леса, пройденного низовым пожаром в 1993 году. По результатам повторного учёта 2021 года выявлены особенности динамики таксационных показателей древостоев, подроста и напочвенного покрова. Показано, что после пожара восстановление запасов стволовой древесины и надземной фитомассы древостоя произошло почти исключительно за счёт сохранившегося древостоя. Увеличение радиального прироста свойственно деревьям всех ступеней толщины. Оценена продукция древостоя ПП и её динамика за 25-летний период. Показано, что за прошедшие 25 лет древостой, пройденный низовым пожаром, почти компенсировал потери стволовой древесины и запасов фитомассы в целом.

Ключевые слова: послепожарная динамика древостоя, сосна обыкновенная, северная тайга, многолетние наблюдения, мониторинг.

DYNAMICS OF STRUCTURE AND PRODUCTIVITY OF NORTHERN TAIGA PINE SUFFRUTICOUS AND LICHENOUS FOREST BASED ON DIRECT OBSERVATIONS

Research article

Makhatkov I.D.^{1,*}, Smolentsev B.A.², Yermolov Y.V.³

¹ ORCID : 0000-0002-2462-6038;

² ORCID : 0000-0002-9749-8233;

³ ORCID : 0000-0001-9426-2068;

¹ Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic FRC KSC SB RAS, Norilsk, Russian Federation

^{1,2,3} Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (makhatkov[at]jissa-siberia.ru)

Abstract

In this article, based on the observation data for 1996 and 2021 at the Noyabrsk ecological test site (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug), the results of the analysis of the dynamics of pine suffruticous and lichenous forest on two sample plots (SP), one of which is laid in the forest without signs of fire, the second – in part of the forest, passed by a low fire in 1993. The results of the 2021 resurvey showed the dynamics of forest stand, undergrowth and ground cover. It was demonstrated that after the fire, the restoration of stem wood stocks and above-ground phytomass of the stand occurred almost exclusively at the expense of the surviving stand. The increase in radial growth is common to trees of all thickness levels. The production of a growing stock of SP and its dynamics over a 25-year period was evaluated. It is shown that over the past 25 years, the stand, which underwent a lower fire, has almost compensated for the loss of stem wood and phytomass stocks as a whole.

Keywords: post-fire forest stand dynamics, Scots Pine, northern taiga, multi-year observations, monitoring.

Введение

Многолетние прямые наблюдения за развитием биогеоценозов представляют ценную информацию для построения прогнозов, в том числе – динамики древостоев и её отдельных составляющих. Построение моделей развития древостоев возможно двумя путями – историческим, когда на протяжении длительного периода каждые 5 – 10 лет фиксируются параметры модельного древостоя, и статическим, когда подбираются участки лесов разного возраста в сходных экологических условиях и на основании параметров этих лесов составляется ряд развития. Статистический способ используется для составления таблиц хода роста насаждений, которые широко применяются в таксации лесов. Однако прямые наблюдения показали, что ряды развития, построенные на основе статических моделей, не всегда соответствуют реальной возрастной динамике насаждений, и неприменимы для прогноза [16].

В 1995 – 97 годах, вблизи г. Ноябрьска, в рамках локального экологического мониторинга, были начаты работы по закладке наблюдательных пунктов, предназначенных для периодических режимных наблюдений, включая постоянные пробные площади (ПП). Позже эти работы были прекращены, но в 2021 году, через 25 лет, была проведена повторная ревизия древостоя и напочвенного покрова. Обе ПП расположены в одном массиве соснового кустарничково-

лишайникового леса, на расстоянии 20-30 м одна от другой. Отличие этих ПП связано с низовым пожаром, который, судя по зарастанию пожарных подсушин на стволах, прошёл часть лесного массива в 1993 году, т.е. за три года до закладки ПП, одна из которых была заложена в горелой части массива, а другая – в части массива без видимых признаков пожара. Граница пожара хорошо определялась визуально, по характеру напочвенного покрова. Целью настоящей работы был сравнительный анализ динамики древостоя и напочвенного покрова по результатам прямых наблюдений за 25-летний период и влияние на эту динамику низового пожара.

Методы и принципы исследования

Район исследований расположен в центральном секторе подзоны северной тайги [9], [15], зональная растительность которой представлена лиственничными с елью и берёзой кустарничково-зеленомошными лесами на суглинистых подзолах. По лесорастительному районированию район работ относится к Западно-Сибирскому северо-таёжному району [12]. Интразональные сосновые кустарничково-лишайниковые леса в северной тайге распространены на дренированных участках обширных песчаных флювиогляциальных отложениях, на которых формируются подзолы альфегумусовые, отличающиеся чрезвычайно низким содержанием питательных веществ – гумуса и зольных элементов [17].

ПП 1 со сторонами 90x50 м (0,45 га) была заложена в той части массива, которая была пройдена пожаром, а ПП 2, со сторонами 60x70 м (0,42 га) – в сохранившейся части леса. На ПП все деревья обмерялись (высота, диаметр), картографировались, каждое дерево получало индивидуальный номер. По 14 модельным деревьям, отобраным вблизи ПП, были определены видовые числа всех пород, возрастная структура древостоя на обеих ПП была определена как условно одновозрастная, со средним возрастом 150 лет. Соответственно, класс возраста для данных 2021 года был принят 180 лет. Возобновление, включая всходы, учитывалось на нумерованных регулярных учётных площадках (УП) 2x2 м (порода, высота и возраст каждого экземпляра) по 33 площадки на каждой ПП. На этих же визуально определялось проективное покрытие видов [14], включая наиболее распространённые мхи и лишайники. В натуре закреплялись углы ПП и один из углов УП, на стволы наносился номер. Предварительное обследование показало, что древостой северо-восточного угла ПП 1 был нарушен из-за проложенного вблизи ПП трубопровода. В результате учётная площадь ПП 1 была сокращена до 0,37 га, учёт подроста и описание напочвенного покрова проводились на 21 сохранившейся площадке.

Для определения таксационных показателей древостоев использовались таблицы нормальных сосновых древостоев экорегиона Обь-Тазовской редкостойной тайги [18].

Основные результаты

В горелом лесу, на ПП1, травяно-кустарничковый ярус за период наблюдений практически полностью восстановился, что вообще характерно для пирогенной сукцессии лишайниковых типов сосновых лесов [4], [8]. Здесь произошло резкое увеличение обилия *Ledum palustre*, с 1,0 до 13,6% проективного покрытия. Обилие других кустарничков, *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea* и *Betula nana* хотя и увеличилось, но незначительно, оставаясь в пределах нескольких процентов. К 2021 году ярус стал почти таким же, как в лесу, не пройденном пожаром (ПП 2). В напочвенном покрове ПП 2 за период наблюдений практически не произошло никаких изменений. Отмеченное небольшое изменение обилия большинства видов можно отнести к естественным флуктуациям напочвенного покрова или погрешности глазомерной оценки проективного покрытия. Наиболее существенные изменения произошли в травяно-кустарничковом ярусе. Здесь заметно увеличилось обилие *Vaccinium vitis-idaea* (с 1,2 до 5,3%) и *Ledum palustre* (с 3,3 до 10,8%). Увеличение обилия *Ledum palustre* на обеих ПП, вероятно, связано с климатическими трендами или с локальными изменениями гидрологического режима из-за строительства коммуникаций нефтепромысла вблизи ПП.

В послепожарном лесу обще проективное покрытие мохово-лишайникового яруса за период наблюдений увеличилось с 4% до 80%. В 1996 году, через 3 года после пожара, среднее обилие большинства видов мхов и лишайников оценивалось как присутствие, меньше 0,5% проективного покрытия. Только проективное покрытие накипных лишайников составляло 3,3%. К 2021 году формирование мохово-лишайникового яруса произошло большей частью за счёт послепожарных пионерных кустистых кладоний, в основном *Cladonia gracilis* (18,3%), *C. crispata* (28,7%), *C. sulfurina* (15,3%), в меньшей степени – *C. deformis* и *C. coccifera*. Доминанты поздних стадий восстановления так же внесли значительный вклад в состав яруса, *Cladonia stellaris* (8,2%), *C. mitis* (2,5%), *C. rangiferina* (4,4%). Накипные лишайники так же увеличили обилие, до 7,7%. Из мхов наибольшее увеличение обилия отмечено для *Pleurozium schreberi* (10,4%). В целом наблюдается характерная восстановительная сукцессия мохово-лишайникового яруса, свойственная другим соснякам лишайникового типа, и соответствует начальной стадии восстановления [4]. В негорелом лесу, на ПП 2, за период наблюдений заметного изменения не произошло. Доминирует *Cladonia stellaris* (94%), участие других кустистых кладоний незначительно, *Cladonia mitis* (0,7%), *C. rangiferina* (1,0%). Примечательно, что в ненарушенном мохово-лишайниковом ярусе ПП 2 обилие *Pleurozium schreberi* составляет всего 0,5%, намного меньше, чем на ПП 1. Вероятно, на начальной стадии восстановления, когда ещё не сформировался сплошной покров кустистых кладоний, зелёные мхи получают временное преимущество.

За период наблюдений в структуре возобновления послепожарного леса произошли существенные изменения. Здесь в 1996 году отмечалось многочисленное возобновление, особенно сосны. Всё возобновление кедра, 85,4% сосны и 30,8% берёзы было представлено всходами (табл. 1). Без учёта всходов возобновление было представлено только сосной и берёзой средней густоты.

Таблица 1 - Характеристика возобновления на ПП 1

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.1>

Порода		1996 год			2021 год		
		Численность, тыс/га	Высота, см	Возраст, лет	Численность, тыс/га	Высота, см	Возраст, лет
Береза	Всходы	0,30	17,0±1,969	-	-	-	-
	Подрост	0,68	89,3±14,82	4,7±0,63	-	-	-
Кедр	Всходы	0,53	4,7±0,171	-	0,24	3,0±0,707	-
	Подрост	0,45	5,2±0,585	2,2±0,15	0,48	25,0±5,59	10,5±1,89
Сосна	Всходы	5,30	1,5±0,065	-	7,86	2,0±0,095	-
	Подрост	0,91	5,5±1,483	4,1±0,62	24,05	12,2±0,86	7,5±0,50

Примечание: горелый лес

К 2021 году весь подрост берёзы выпал. Численность подроста, представленного сосной и кедром, увеличилась в четыре раза, в основном за счёт сосны. Всходы сосны составляли только половину возобновления, и только треть – кедр. Увеличилась средняя высота и возраст подроста. Обильный подрост сосны был отмечен почти на всех площадках, а больше 10 экземпляров, отмечался на 8 площадках из 21. В 1996 году подрост сосны был отмечен только на 19 площадках из 33, а обильный подрост был отмечен только на двух.

В лесу, не пройденном пожаром (ПП 2) в 1996 и 2021 году отмечался сравнительно густой подрост из сосны и кедр (табл. 2). За период наблюдений в составе подроста произошли незначительные изменения – некоторое снижение численности, увеличение высоты и возраста. Доля всходов в составе возобновления сосны с 1996 по 2021 год осталось почти неизменным и составило 14 и 18,4%, соответственно. Всходов кедр в 1996 году на учётных площадках не было отмечено, а в 2021 году они составили 62,5% от общего возобновления. Такие различия, вероятно, связаны с особенностями плодоношения кедр.

Таблица 2 - Характеристика возобновления на ПП 2

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.2>

Порода		1996 год			2021 год		
		Численность, тыс/га	Высота, см	Возраст, лет	Численность, тыс/га	Высота, см	Возраст, лет
Кедр	Всходы	-	-	-	0,45	1,0	-
	Подрост	0,91	9,0±1,333	6,3±1,36	0,15	6,0	8,0
Сосна	Всходы	0,53	1,5±0,143	-	0,15	1,2±0,60	-
	Подрост	3,26	30,1±4,495	14,3±1,68	2,73	56,3±8,97	28,9±4,15

Примечание: негорелый лес

Исходя из того, что обе ПП представляют один массив леса, потери подроста сосны в результате низового пожара 1993 года (по количеству подроста старше 3 лет, учтённого в 1996 году) можно оценить в 91,4%. Больше всего пострадал крупный подрост, Средняя высота подроста в негорелой части составила 36,2±5,0, а в горелой – 13,3±2,3 см. К 2021 году сосновый подрост в негорелой части также был крупнее, но его численность была почти в 9 раз меньше по сравнению с горелой.

Стимулирующее влияние низового пожара на возобновительный процесс связано с ослаблением конкуренции со стороны напочвенного покрова, обогащением почвы зольными элементами [1]. В целом наблюдавшаяся динамика возобновления в первые годы после пожара и через 25 лет вполне ожидаема и характерна для сосновых лесов Сибири [6].

За период наблюдений в послепожарном лесу произошло существенное изменение полноты древостоя, с 0,41 до 0,72 за счёт значительного увеличения диаметра и высоты стволов сосны, сохранившихся после пожара, запас древесины которых увеличился почти в два раза, на 37,92 м³/га (табл. 3). Вклад молодняка сосны и берёзы, появившийся после пожара, оказался ничтожным. При этом из состава древостоя 6% отстающих в росте сосен, со средним диаметром 12,0 перешли в отпад, и 1,8% – в сухостой. В негорелой части леса, ПП 2, полнота древостоя

также увеличилась, но не так сильно, как в горелой, с 0,60 до 0,77 (табл. 4). Как и на ПП 1 увеличение объёма стволовой древесины на 19,9 м³/га, примерно на треть от исходного, произошло почти исключительно за счёт роста деревьев, учтённых в 1996 году. За период наблюдений выпало 4,6% стволов сосны, а 5,5% перешло в сухостой.

Таблица 3 - Таксационные характеристики ПП1

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.3>

Состав	Порода	Состояние	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт/га	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га
1996 год								
10	Сосна	Живые	150	9,3±0,2	13,4±0,4	451	6,32	35,01
-	Сосна	Сухие	-	8,8±0,3	12,3±0,5	238	2,85	12,94
-	Береза	Сухие	-	6,6±1,1	8,5±2,5	8	0,02	-
2021 год								
10	Сосна	Живые	180	11,3±0,1	18,5±0,4	416	11,20	72,93
-	Сосна	Сухие	-	9±0,3	12,7±0,6	119	1,51	8,09
+	Береза	Живые	30	2,5±0,2	2,9±0,2	43	0,03	0,04
+	Сосна	Живые	40	2,9±0,3	3,4±0,3	19	0,02	0,03

Примечание: горелый лес

Отпад живых деревьев сосны в негорелом лесу оказался несколько больше, чем в горелом. Это можно объяснить интенсивным отмиранием части деревьев в горелом лесу в самые первые годы после пожара, до учётов 1996 года. Очевидно, с этим же связан и меньший запас стволовой древесины, и полнота древостоя горелого леса в 1996 году при сходных значениях средней высоты и диаметра сосен на обеих ПП в 1996 году. Отношение сумм площадей сечения 1996 года на ПП 1 и ПП 2 составляет 31,2%, что соответствует слабой степени пирогенного повреждения древостоя [4].

Таблица 4 - Таксационные характеристики ПП 2

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.4>

Состав	Порода	Состояние	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Число стволов, шт/га	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га
1996 год								
10	Сосна	Живые	150	10,6±0,2	13,7±0,4	626	9,19	54,26
-	Сосна	Сухие	-	12,7±0,5	16,7±1,1	110	2,41	14,63
-	Береза	Живые	20	4±1,3	4,3±1,3	14	0,02	0,36
-	Кедр	Живые	150	6,6±2,7	8±2,4	5	0,02	0,08
2021 год								
10	Сосна	Живые	180	12,5±0,2	16,4±0,4	557	11,78	74,14
+	Сосна	Живые	40	4,2±0,1	4,5±0,2	131	0,21	0,57
-	Сосна	Сухие	-	12,1±0,5	15,8±1	126	2,49	14,67
-	Кедр	Живые	180	12,9	16,9	2	0,05	0,32
-	Кедр	Живые	40	3,4±0,2	3,5±0,4	19	0,02	0,04
-	Береза	Живые	30	3,2±0,2	3,2±0,4	14	0,01	0,02

Примечание: негорелый лес

В первые 3 года после пожара, к моменту проведения учёта 1996 года, древостой горелой части леса потерял 28% стволов, в основном – тонкомера с диаметром 2-8 см и крупных деревьев с диаметром более 20 см. Такая

избирательность пироженного отпада деревьев, особенно тонкомера, отмечается и для других сосновых лесов [10], [19], и связана с большей уязвимостью ослабленных деревьев [3], и наиболее интенсивно происходит в первые 2-3 года после пожара [13], [19], причём в первый год – 70-75% всего отпада [7]. Интенсивность последующего изреживания древостоя в горелом лесу была намного ниже, за период наблюдений из деревьев, учтенных в 1996 году на ПП 1, было потеряно 7,8% стволов, а на ПП – 2-11%.

На обоих ПП запас сухостоя в 1996 году оказался существенно больше величины, в которую оцениваются запасы детрита сухостоя в лесотундре, в редкостойной и северной тайге [21]. В горелом лесу за период наблюдений произошло резкое снижение доли сухостоя, от 37,0% до 11,1% от общего количества стволов. В лесу, не пройденным пожаром, это снижение оказалось более плавным – с 30% до 19,8%.

Усиленный рост после пожара на ПП 1 показали деревья всех диаметров. Относительный прирост (отношение разницы диаметра ствола 1996 и 2021 года к диаметру ствола в 1996 году, т.е. – кратность увеличения диаметра) в целом снижается с увеличением диаметра (рис. 1). Если условно разделить деревья на преуспевающие и отстающие по линии тренда для ПП 2, доля отстающих деревьев на ПП 2 составит примерно половину, 54,7%. Доля отстающих деревьев на ПП 1 по тренду ПП 2 составляет только пятую часть стволов, 20,8%. При этом линия тренда для ПП 1 проходит практически по границе самых преуспевающих деревьев ПП 2. Таким образом, почти весь древостой ПП 1 после пожара показывает энергию роста, которая, вероятно, близка к максимально возможной для местных природных условий. Наиболее явное усиление роста после пожара показали стволы с диаметром более 6 см, из которых половина стволов показала такую энергию роста, которая не наблюдается в негорелой части леса.

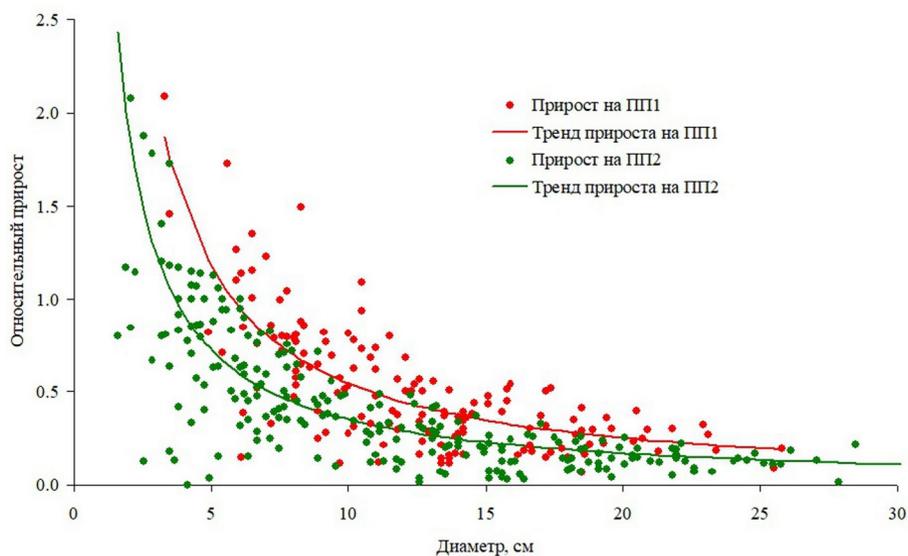


Рисунок 1 - Относительный радиальный прирост стволов за 25 период
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.5>

Увеличение среднего диаметра насаждений после пожара низкой интенсивности можно было бы связать только с выпадением тонкомера из состава древостоя, но в нашем случае, благодаря повторному обмеру деревьев индивидуально, ясно видно усиление радиального прироста в горельнике, по сравнению с негорелой частью насаждения. На пробных площадях средний относительный радиальный прирост деревьев за период наблюдений статистически различен ($p = 0,036$). Такое усиление роста сохранившихся стволов можно объяснить совместным влиянием двух факторов. Как уже отмечалось, изреживание древостоя в результате слабого пироженного повреждения имеет селективный характер – из состава древостоя выпадают большей частью наименее продуктивные, ослабленные деревья. К этому добавляется ослабление, или даже полное отсутствие конкуренции со стороны напочвенного покрова, который в нашем случае был практически полностью уничтожен пожаром. Это снижение конкуренции прежде всего, относится к педосфере – конкуренции за питательные вещества, что особенно значимо в условиях крайнего недостатка элементов питания в местных почвах. При этом верхние почвенные горизонты обогащаются зольными элементами в результате сгорания напочвенного покрова [6]. Улучшение роста сосен, оставшихся после низового пожара низкой интенсивности, и ранее отмечалось в литературе [10], [5]. При слабом повреждении древостоя восстановление прироста происходит в первые 2-3 года, а затем – заметное увеличение прироста [2]. В целом усиление роста оставшихся деревьев в течение 28 лет привело к почти полному восстановлению запасов стволовой древесины, что оказалось достаточно неожиданным результатом наблюдений.

Неожиданными оказались и результаты определения запасов фитомассы древостоя. К настоящему времени разработано несколько методов определения фитомассы древесных растений, в том числе и для двухвойных сосен. Определение фракций сосны обыкновенной разными методами дало несколько разные результаты (табл. 5). Величины запасов, определённые по таблицам биологической продуктивности [21] для возрастов 140 и 180 лет полных сосновых лесов северотаёжных экорегионов Va бонитета, дали самые большие оценки запасов стволов, в том числе – коры. При этом оценка фитомассы скелета кроны и хвои оказалась сравнительно низкой. Эти оценки основаны на таблицах хода роста, которые применяются для таксации леса, но подвергаются критике в качестве основы прогноза роста или

ретроспективного анализа [16]. Вполне вероятно, что оценка биологической продуктивности редкостойных лесов северной тайги по эти таблицам оказывается несколько завышенной.

Таблица 5 - Расчётные запасы фракций фитомассы древостоя ПП

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.31.6>

Метод	ПП	Год	Фитомасса насаждения, т/га							Текущий прирост фитомассы	Углерод фитомассы	
			Ствол	в т,ч, кора	Древесина кроны	Хвоя	Итого надземной	Корни	Всего		Всего	В т,ч, Ствол
По табличным значениям [21]	1	1996	16,5	1,9	1,6	0,8	18,8	4,3	23,2	0,060	12,92	8,23
	1	2021	35,3	3,8	3,3	1,4	40,0	9,3	49,4	0,050	27,61	17,63
	2	1996	25,6	2,9	2,4	1,2	29,2	6,7	35,9	0,092	20,02	12,75
	2	2021	36,5	3,9	3,4	1,5	41,3	9,6	51,0	0,051	28,51	18,20
По коэффициентам [21]	1	1996	13,3	1,7	2,0	1,4	18,5	2,9	21,3	0,055	11,88	6,61
	1	2021	31,3	3,7	3,8	2,2	41,0	7,7	48,6	0,049	27,20	15,64
	2	1996	22,0	2,8	3,0	2,1	29,9	5,1	34,9	0,090	19,48	10,97
	2	2021	32,6	3,8	3,8	2,2	42,5	8,0	50,5	0,051	28,27	16,29
По коэффициентам [20]	1	1996	14,5	-	1,7	1,6	19,3	1,3	20,5	-	-	-
	1	2021	33,5	-	4,2	3,2	44,6	1,9	46,5	-	-	-
	2	1996	17,7	-	1,7	1,5	22,1	1,3	23,4	-	-	-
	2	2021	29,9	-	2,5	2,0	36,3	1,6	37,9	-	-	-
По коэффициентам [11]	1	1996	14,3	1,2	3,7	0,5	18,6	-	-	-	-	-
	1	2021	29,2	1,8	8,3	0,7	38,2	-	-	-	-	-
	2	1996	22,2	1,9	5,8	0,8	28,8	-	-	-	-	-
	2	2021	30,1	1,9	8,6	0,8	39,5	-	-	-	-	-

Регрессионные модели используют разные входные переменные. В случае общей модели используются запасы древостоя, возраст, бонитет и относительная полнота [21], в случае региональной – высота, диаметр и число стволов на га [20] по данным для средней тайги Западно-Сибирской равнинной провинции, в случае местной модели – только возраст по локальным данным для сосняков северной тайги лишайникового типа в нескольких десятках километров от наших наблюдений [11]. Во всех трёх вариантах оценка запасов стволовой древесины оказалась ниже табличных оценок. При этом по региональным и особенно общим моделям оценка фитомассы хвои оказалась явно завышенной. Это, вероятно, связано с особенностью исходных данных из более южных регионов, которые послужили основой разработки моделей. Обращает на себя внимание и очень низкая оценка запасов фитомассы корней региональной модели и очень большое увеличение фитомассы скелета кроны за период наблюдений.

Оценка запасов надземной фитомассы и её фракций с использованием местной модели представляется наиболее правдоподобной. Оценка отличается сравнительно большой долей фитомассы скелета кроны и небольшой долей фитомассы хвои, что вполне согласуется с особенностью габитуса сосен в редкостойных лесах северной тайги – низкой кроной и редким охвоением.

Недостаток всех моделей оценки фитомассы – игнорирование особенностей развития древостоя. Если для древостоя ПП 2 фитомасса фотосинтезирующего аппарата – хвои либо остаётся постоянной, либо незначительно увеличивается, то для горелого леса ПП 1 она увеличивается пропорционально запасу других фракций. При этом резкое увеличение запаса древесины и фитомассы древостоя после пожара могло быть обеспечено только за счёт существенного увеличения фотосинтетической активности и, соответственно – фитомассы хвои и скелета кроны. Представляется очевидным, что в такой ситуации оценка запасов хвои оказывается заниженной. Кроме того, отмечено,

что в течение развития древостоев фитомасса хвои не увеличивается монотонно, а в старовозрастных лесах даже уменьшается [11].

Во всех вариантах оценки запасов надземной фитомассы древостоя послепожарный древостой показывает её увеличение за 25 лет больше чем в 2 раза, в том числе – стволовой древесины. При использовании местной модели оценки запасов фитомассы запас стволовой древесины в негорелом лесу должен был в течение 25 лет увеличиваться в каждый год в среднем на 0,32 т/га, а в горелом – на 0,60 т/га. Восстановление запасов фитомассы древостоя после низового пожара слабой интенсивности, вероятно, происходит не сразу после пожара. Для подтаёжных сосновых лесов отмечено, хотя и незначительное, но уменьшение фитомассы сосновых древостоев Средней Сибири в первые 4 года после слабых пожаров [13]. В целом, согласно оценке запасов фитомассы древостоя, в течение 25 лет древостой горелого леса почти восстановил запасы основных фракций фитомассы до значений в негорелой части лесного массива.

Оценка фитомассы нижних ярусов – подроста и напочвенного покрова с использованием таксационных показателей древостоя оказывается малопригодной [21] поскольку развитие этих ярусов в меньшей степени связано с особенностями древостоя, а в большей степени – с типологическими особенностями. Для адекватной оценки биологической продуктивности нижних ярусов требуются специальные местные и региональные исследования. Это же относится и к оценке запасов углерода, связанной с плотностью древесины, варьирующей в разных экологических условиях, и лесного детрита (мёртвой древесины), запасы которого определяются размерами остатков, скоростью разложения и другими факторами [22].

Заключение

Выявленная сукцессия напочвенного покрова после пожара низкой интенсивности в целом соответствует описанной в литературе для сосновых лишайниковых лесов, включая смену доминантов и изменение проективного покрытия. Это же относится и к динамике возобновления сосны.

Благодаря возможности индивидуального обмера деревьев дважды за 25 лет выявлен стимулирующий эффект низового пожара низкой интенсивности на радиальный прирост деревьев сосны. Этот эффект, хотя и упоминался в литературе, но остался слабо изученным, поскольку основное внимание при изучении пирогенной динамики лесов сосредоточено в основном на последствиях пожаров высокой и средней интенсивности. Усиление прироста стволов в горелой части леса позволило в течение 25 лет почти полностью догнать древостой негорелой части по запасу стволовой древесины.

Расчётные величины запасов фитомассы древостоя и её отдельных фракций, так же показали быстрое восстановление запасов после пожара. Увеличение первичной продукции древостоя должно было сопровождаться увеличением объёма ассимилирующего аппарата деревьев – хвои и скелета кроны. В этой связи, расчётные запасы этих фракций, скорее всего, оказываются недооцененными. Ускорение роста деревьев после низового пожара слабой интенсивности может быть связано с ослаблением конкуренции со стороны напочвенного покрова и изменением почвенных условий, в частности – с обогащением верхних горизонтов зольными элементами.

Финансирование

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, благодаря финансированию АО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», и при активном участии Ямальского отделения РГО.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was carried out according to the state assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, thanks to the financing of Gazpromneft-Noyabrskneftegaz JSC, and with the active participation of the Yamal branch of the Russian Geographical Society.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Безкоровая И.Н. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И.Н. Безкоровая, Г.А. Иванова, П.А. Тарасов [и др.] // Сибирский экологический журнал. — 2005. — Т. 12. — № 1. — С. 143-152.
2. Вакуров А.Д. Лесные пожары на Севере / А.Д. Вакуров. — М.: Наука, 1975. — 100 с.
3. Горшков В.В. Повреждение деревьев сосны обыкновенной и древесного яруса сосновых лесов Европейского Севера в результате пожаров / В.В. Горшков, Н.И. Ставрава, В.Н. Тарасова // Лесоведение. — 2004. — № 5. — С. 10-19.
4. Горшков В.В. Особенности послепожарной восстановительной динамики Сообществ с доминированием лишайников / В.В. Горшков, И.Ю. Баккал // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012. — Т. 14. — № 1(5). — С. 1223-1227.
5. Гудина А.Г. Состояние и рост насаждений сосны, пройденных лесными пожарами в Архангельской области: дис. ... канд. с-х. наук / А.Г. Гудина. — Архангельск, 2019. — 144 с.

6. Иванова Г.А. Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков средней / Г.А. Иванова, С.В. Жила, В.А. Иванов // Сибирский лесной журнал. — 2018. — № 3. — С. 30-41.
7. Иванова Г.А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г.А. Иванова. — Красноярск, 2005. — 40 с.
8. Ковалева Н.М. Восстановление живого напочвенного покрова на начальной стадии пирогенной сукцессии / Н.М. Ковалева, Г.А. Иванова // Сибирский экологический журнал. — 2013. — № 2. — С. 203-213.
9. Крылов Г.В. Леса СССР: в 5 т. / Г.В. Крылов, А.Г. Крылов. — М.: Наука, 1969. — Т. 4. — С. 157-247.
10. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. — М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. — 44 с.
11. Нагимов З.Я. Структура и динамика надземной фитомассы сосновых древостоев лишайникового типа леса / З.Я. Нагимов, И.Н. Артемьева, В.З. Нагимов // Лесной журнал. — 2012. — № 5. — С. 60-66.
12. Перечень лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации, утверждённый приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 4 февраля 2009 г. — № 37.
13. Платонова И.А. Постпирогенная трансформация надземной фитомассы в сосняках Селенгинского среднегорья: автореф. дис. ... канд. биол. наук / И.А. Платонова. — Красноярск, 2015. — 20 с.
14. Понятовская В.М. Полевая геоботаника: в 5 т. / В.М. Понятовская. — М.; Л.: Наука, 1964. — Т. 3. — С. 209-289.
15. Ильина И.С. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И.С. Ильина [и др.] — Новосибирск, 1985. — 249 с.
16. Рогозин М.В. Модели динамики и моделирование развития древостоев / М.В. Рогозин, Г.С. Разин // Сибирский лесной журнал. — 2015. — № 2. — С. 55-70
17. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов / Б.А. Смоленцев. — Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2002. — 118 с.
18. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). — М.: Изд-во Рослесхоз, 2008. — 886 с.
19. Усеня В.В. Послепожарное состояние и восстановление лесных фитоценозов на территории Республики Беларусь / В.В. Усеня // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. — 2018. — Т. 63. — № 3. — С. 316-327.
20. Усольцев В.А. Построение региональных регрессионных моделей для оценки структуры биомассы деревьев лесобразующих видов Евразии / В.А. Усольцев, С.О.Р. Шубаири, Дж.А. Дар [и др.] // Эко-потенциал. — 2017. — № 4(20). — С. 35-52
21. Швиденко А.З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы биологической продуктивности) / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильссон [и др.] // Лесное хозяйство. — 2004. — № 2. — С. 40-44.
22. Швиденко А.З. Оценка запасов древесного детрита в лесах России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. — 2009. — Вып. 1(41). — С. 133-147.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bezkorovajnaja I.N. Pirogennaja transformacija pochv sosnjakov srednej tajgi Krasnojarskogo kraja [Pyrogenic Transformation of Soils of Middle Taiga Pine Forests in Krasnoyarsk Krai] / I.N. Bezkorovajnaja, G.A. Ivanova, P.A. Tarasov [et al.] // Sibirskij jekologicheskij zhurnal [Siberian Environmental Journal]. — 2005. — Vol. 12. — № 1. — P. 143-152. [in Russian]
2. Vakurov A.D. Lesnye pozhary na Severe [Forest Fires in the North] / A.D. Vakurov. — M.: Nauka, 1975. — 100 p. [in Russian]
3. Gorshkov V.V. Povrezhdenie derev'ev sosny obyknovennoj i drevesnogo jarusa sosnovyh lesov Evropejskogo Severa v rezul'tate pozharov [Damage to Scots Pine Trees and the Tree Layer of Pine Forests of the European North as a Result of Fires] / V.V. Gorshkov, N.I. Stavrova, V.N. Tarasova // Lesovedenie [Forestry Science]. — 2004. — № 5. — P. 10-19. [in Russian]
4. Gorshkov V.V. Osobennosti poslepozharnoj vosstanovitel'noj dinamiki Soobshhestv s dominirovaniem lishajnikov [Features of Post-Fire Recovery Dynamics of Lichen-Dominated Communities] / V.V. Gorshkov, I.Ju. Bakkal // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]. — 2012. — Vol. 14. — № 1(5). — P. 1223-1227. [in Russian]
5. Gudina A.G. Sostojanie i rost nasazhdenij sosny, projdennyh lesnymi pozharemi v Arhangel'skoj oblasti [Condition and Growth of Pine Tree Plantations Passed by Forest Fires in Arkhangelsk Oblast]: dis. ... PhD in Agriculture / A.G. Gudina. — Arkhangelsk, 2019. — 144 p. [in Russian]
6. Ivanova G.A. Postpirogennaja transformacija osnovnyh komponentov sosnjakov srednej [Post-pyrogenic Transformation of the Main Components of Medium Scale Pine Forests] / G.A. Ivanova, S.V. Zhila, V.A. Ivanov // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. — 2018. — № 3. — P. 30-41. [in Russian]
7. Ivanova G.A. Zonal'no-jekologicheskie osobennosti lesnyh pozharov v sosnjakah Srednej Sibiri [Zonal-ecological Characteristics of Forest Fires in Middle Siberian Pine Forests]: abst. dis. ... PhD in Biology / G.A. Ivanova. — Красноярск, 2005. — 40 p. [in Russian]
8. Kovaleva N.M. Vosstanovlenie zhivogo napochvennogo pokrova na nachal'noj stadii pirogennoj sукцессии [Restoration of Living Ground Cover at the Initial Stage of Pyrogenic Succession] / N.M. Kovaleva, G.A. Ivanova // Sibirskij jekologicheskij zhurnal [Siberian Environmental Journal]. — 2013. — № 2. — P. 203-213. [in Russian]
9. Krylov G.V. Lеса SSSR: v 5 t. [Forests of the USSR: in 5 vols.] / G.V. Krylov, A.G. Krylov. — M.: Nauka, 1969. — Vol. 4. — P. 157-247. [in Russian]

10. Melehov I.S. Vlijanie pozharov na les [Impact of Fires on the Forest] / I.S. Melehov. — M.; L.: Goslestehizdat, 1948. — 44 p. [in Russian]
11. Nagimov Z.Ja. Struktura i dinamika nadzemnoj fitomassy sosnovyh drevostoev lishajnikovogo tipa lesa [Structure and Dynamics of Aboveground Phytomass in Lichen Pine Forests] / Z.Ja. Nagimov, I.N. Artem'eva, V.Z. Nagimov // Lesnoj zhurnal [Forest Journal]. — 2012. — № 5. — P. 60-66. [in Russian]
12. Perechen' lesorastitel'nyh zon i lesnyh rajonov Rossijskoj Federacii, utverzhdonnyj prikazom Ministerstva sel'skogo hozjajstva RF ot 4 fevralja 2009 g. [List of Forest Zones and Forest Areas of the Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 4 February 2009.] — № 37. [in Russian]
13. Platonova I.A. Postpirogennaja transformacija nadzemnoj fitomassy v sosnjakah Selenginskogo srednegor'ja [Post-pyrogenic Transformation of Aboveground Phytomass in Synginskiy Medium-Range Pine Forests]: abst. dis. ... PhD in Biology / I.A. Platonova. — Krasnoyarsk, 2015. — 20 p. [in Russian]
14. Ponjatovskaja V.M. Polevaja geobotanika: v 5 t. [Field Geobotany: in 5 vols.] / V.M. Ponjatovskaja. — M.; L.: Nauka, 1964. — Vol. 3. — P. 209-289. [in Russian]
15. Il'ina I.S. Rastitel'nyj pokrov Zapadno-Sibirskoj ravniny [Vegetation Cover of the West Siberian Plain] / I.S. Il'ina [et al.] — Novosibirsk, 1985. — 249 p. [in Russian]
16. Rogozin M.V. Modeli dinamiki i modelirovanie razvitiya drevostoev [Dynamics Models and Modelling of Stand Development] / M.V. Rogozin, G.S. Razin // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. — 2015. — № 2. — P. 55-70 [in Russian]
17. Smolencev B.A. Struktura pochvennogo pokrova Sibirskih Uvalov [Soil Cover Structure of the Siberian Uvals] / B.A. Smolencev. — Novosibirsk. SO RAS Publishing, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. — 118 p. [in Russian]
18. Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasazhdenij osnovnyh lesoobrazujushhih porod Severnoj Evrazii (normativno-spravochnye materialy) [Tables and models of growth and productivity of major forest species of Northern Eurasia (reference materials)]. — M.: Rosleskhoz Publishing House, 2008. — 886 p. [in Russian]
19. Usenja V.V. Poslepozharное sostojanie i vosstanovlenie lesnyh fitocenozov na territorii Respubliki Belarus' [Post-fire Condition and Restoration of Forest Phytocenoses on the Territory of the Republic of Belarus] / V.V. Usenja // Izvestija Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Serija biologicheskikh nauk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences]. — 2018. — Vol. 63. — № 3. — P. 316-327. [in Russian]
20. Usol'cev V.A. Postroenie regional'nyh regressionnyh modelej dlja ocenki struktury biomassy derev'ev lesoobrazujushhih vidov Evrazii [Building Regional Regression Models to Estimate the Tree Biomass Structure of Eurasian Forest-Bearing Species] / V.A. Usol'cev, S.O.R. Shubairi, Dzh.A. Dar [et al.] // Jeko-potencial [Ecopotential]. — 2017. — № 4(20). — P. 35-52 [in Russian]
21. Shvidenko A.Z. Sistema modelej rosta i dinamiki produktivnosti lesov Rossii (tablicy biologicheskoy produktivnosti) [System of Models for Growth and Dynamics of Forest Productivity in Russia (Biological Productivity Tables)] / A.Z. Shvidenko, D.G. Shhepashhenko, S. Nil'sson [et al.] // Lesnoe hozjajstvo [Forestry]. — 2004. — № 2. — P. 40-44. [in Russian]
22. Shvidenko A.Z. Ocenka zapasov drevesnogo detrita v lesah Rossii [Estimation of Woody Detritus Stocks in Russian Forests] / A.Z. Shvidenko, D.G. Shhepashhenko, S. Nil'sson // Lesnaja taksacija i lesoustrojstvo [Forest Inventory and Management]. — 2009. — Iss. 1(41). — P. 133-147. [in Russian]