

УДК 630*1:630*5:630*23:630*181.351:630*234:630*228.8:630*434:630*548:630*568

СТРУКТУРА И РОСТ НАСАЖДЕНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА ГАРЯХ И ВЫРУБКАХ В КРАСНОЯРСКОМ ПРИАНГАРЬЕ

И. А. Целитан, В. А. Соколов, И. М. Данилин

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

E-mail: igor57@akadem.ru, sokolovva@ksc.krasn.ru, danilin@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 25.04.2021 г.

Рассмотрены особенности послепожарного и послерубочного формирования чистых по составу и смешанных сосновых насаждений в Красноярском Приангарье. Проанализированы строение, рост и биологическая продуктивность лесных восстановительных сукцессий. Наибольшее значение фитомассы сосновых насаждений составило 312 т абс. сух. вещества/га. Структурно соотношение фракций фитомассы древостоев закономерно изменяется с увеличением их среднего возраста и густоты. На ранних стадиях развития относительная доля массы хвои и древесины кроны значительно выше, чем в древостоях старшего возраста, и изменяется от 8–10 % в 30–35 лет до 3–4 % в 100–120 лет. Максимально биологический ростовой потенциал по текущему приросту фитомассы (по общей продуктивности) сосновое насаждение реализует на уровне 10.2 т/(га · год) абс. сух. вещества в возрасте 56 лет. Чистая первичная продукция при этом составляет 4.94 т С/(га · год). Общая фитомасса сосняков в возрасте 120 лет достигает 1085 т/га. Естественное восстановление лесного покрова на вырубках коренной породой и формирование соснового насаждения – экологически позитивный процесс, так как послерубочные и послепожарные молодняки и средневозрастные сосновые насаждения обладают высокой энергией роста и темпами продуцирования фитомассы, более чем в 2 раза превышая спелые насаждения по количеству закрепленного углерода атмосферы и имеют положительные значения баланса углерода и суммарной деструкции органического вещества по параметрам «вход-выход».

Ключевые слова: *сосновые насаждения, восстановительные сукцессии, строение, рост, биологическая продуктивность, Красноярский край.*

DOI: 10.15372/SJFS20210403

Изучение реакций лесных экосистем на различные виды техногенных, антропогенных и природных воздействий (пожары, рубки, насекомые-вредители, опасные природные явления, климатические изменения, др.) актуально для познания общих и географических закономерностей лесообразовательного процесса, выявления механизмов структурно-функциональной организации лесных биогеоценозов, антропогенной динамики и эколого-экономической оценки нарушенных лесных сообществ (Формирование..., 1981, 1982; Санников, 1992; Валендик, 1996; Фуряев, 1996; Бабинцева и др., 1998; Софронов и др., 2005; Фуряев и др., 2005; Буряк и др., 2009; Седых, 2009; Швиденко и др., 2011; Фарбер, 2012; Буряк, 2015; Ива-

нова, Иванов, 2015; Иванова и др., 2016–2018; Усольцев, 2016; Целитан и др., 2019; Shvidenko et al., 2011; Ivanova et al., 2017; Kharuk et al., 2021).

Основой для подобных исследований служит оценка состояния древостоев, их статических и динамических параметров, связанных с наиболее существенными биологическими процессами – строением, ростом и продуктивностью, и потому более точно, чем другие виды оценок, характеризующая их жизненное состояние, динамику органического вещества, биоразнообразие, взаимодействие с окружающей средой (Уткин, 1975; Анализ..., 1988; Фарбер, 2000, 2014; Швиденко и др., 2000, 2001; Исаев и др., 2001; Усольцев, 2001–2003, 2007, 2010, 2016; Бузыкин

и др., 2002; Таблицы..., 2008; Кузьмичев, 2013; Швиденко, Щепашенко, 2014; Щепашенко и др., 2017; Фарбер, Кузьмик, 2021; West et al., 1999; Shvidenko et al., 2000, 2001; Kuuluvainen, 2002; Tompro et al., 2008; West, 2015; Danilin, Tselitan, 2016).

В Красноярском Приангарье накопились значительные площади лесов, сформировавшихся на гарях и вырубках естественным образом (Лашинский, 1981; Фарбер и др., 1995; Соколов, Фарбер, 1999, 2006; Бузыкин и др., 2002; Буряк, 2015; Иванова и др., 2018; Целитан и др., 2019). Эти лесные насаждения выполняют важные биосферные, почвозащитные, водоохранные и ресурсные функции в регионе (Соколов, Фарбер, 1999, 2006; Лесные экосистемы..., 2002; Соколов и др., 2014, 2018; Danilin, Tselitan, 2016).

Закономерности структурно-функциональной организации этих насаждений изучены недостаточно, как с точки зрения теории лесообразовательного процесса, так и в практическом отношении – их роли в послерубочной и послепожарной рекультивации лесных земель, охране и восстановлении лесных экосистем, что и стало целью данной работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории Чуноярского лесничества в Богучанском районе Красноярского края. Координаты района исследований – 57°34' с. ш., 96°57' в. д. Согласно лесорастительным условиям, район исследований относится к Ангарскому южно-таежному экологическому региону (Фарбер, 2000). В данном районе преобладают сосновые леса, представленные сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (рис. 1). Сосновые насаждения являются объектом интенсивной промышленной эксплуатации и активно вырубаются в течение последних 70 лет, преимущественно с использованием технологии сплошных вырубок на больших площадях и тяжелой агрегатной лесозаготовительной и транспортировочной техники.

Практически все вырубки неоднократно пройдены пожарами различной интенсивности. Вместе с тем на вырубках и гарях, на легких песчаных и супесчаных почвах, преимущественно по террасам рек повсеместно присутствует естественное возобновление.

Сохранность всходов достаточно высока и на 3–5-м году после вырубки численность подроста зачастую превышает 50 тыс. деревьев/га, что обеспечивает эффективное восстановление

исходного вида в относительно короткий промежуток времени. К стадии смыкания молодняков, примерно через 15–20 лет, восстанавливаются живой напочвенный покров и подстилка. Преобладают сосновые молодняки толокнянко-лишайникового и бруснично-зеленомошного типа, а также смешанные сосново-осиново-березовые насаждения осочково-разнотравного типа, сформировавшиеся на вырубках и гарях естественным образом.

Для изучения структуры и биологической продуктивности насаждений в 2007–2009 гг. заложены пробные площади. Полевые работы и измерения проводили в период завершения активной вегетации растений, во второй половине августа.

Методами, принятыми в лесной таксации и лесоведении, на пробных площадях определяли таксационную структуру и продуктивность древостоев (Уткин, 1975; Усольцев, 2020; Швиденко и др., 2000; Shvidenko et al., 2000). Фитомасса определялась взятием модельных деревьев от каждой ступени толщины (7–10 модельных деревьев каждой породы на пробной площади) и разделением их на фракции. От каждой фракции фитомассы дерева в полевых условиях брались образцы и навески на влажность, которые в последующем в лабораторных условиях высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы и взвешивались на электронных весах с точностью ± 1 г. В дальнейшем массу фракций в абсолютно сухом состоянии выравняли аналитически, суммировали по ступеням толщины стволов и пересчитывали на 1 га. Фитомасса корней определялась расчетным методом (Усольцев, 2018, 2020).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пробные площади располагаются на склонах различной экспозиции и крутизны, преимущественно на вторых и третьих прирусловых террасах рек, а также на водоразделах (рис. 2, табл. 1–3).

Микрорельеф на пробных площадях выравнен слабо, в виде небольших редких повышений, западин и лощин стока. Почвы имеют песчаный, супесчаный и суглинистый механический состав, подстилаются гравийно-галечниковым аллювием, увлажнены умеренно. Мерзлота не представлена, сезонное оттаивание верхних почвенных горизонтов происходит в конце мая – середине июня.



Рис. 1. Водоохранные сосновые леса в бассейне р. Ангара (Богучанский район Красноярского края).



Рис. 2. Общий вид пробной площади № 11 в Чуноярском лесничестве Красноярского края.

Термины и показатели, приведенные в табл. 1–3:

Изменение запаса текущее (текущий прирост по наличному запасу) – изменение запаса древостоя за 1 год, м³/год.

Изменение запаса среднее (средний прирост по наличному запасу) – изменение запаса древостоя за 1 год, рассчитанное на период существования древостоя, т. е. $ZVCP = MA/A$, где MA – запас древостоя в возрасте A .

Общая продуктивность древостоя – суммарный объем стволовой древесины, произведенной насаждением за период его существования, т. е. сумма наличного запаса древостоя в возрасте A и суммарный отпад в древостое до возраста A .

Прирост по общей продуктивности текущий – изменение общей продуктивности за 1 год, м³/(га · год).

Прирост по общей продуктивности средний – изменение общей продуктивности за 1 год,

Таблица 1. Таксационная характеристика насаждений пробных площадей

Номер пробной площади	Состав	Класс бонитета	Напочвенный покров	Древесная порода	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /(га · год)		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /(га · год)		Отпад, м ³ /(га · год)
											текущее	среднее		текущий	средний	
1	10С	III	Кладония (<i>Cladonia Hill</i> ex P. Browne), толокнянка (<i>Arctostaphylos Adans.</i>)	С	31	8.4	7.7	4668	21.1	113	5.04	3.65	128	7.31	4.13	2.29
2	10С	III	Зеленые мхи (<i>Bryidae</i> Engl.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	С	35	9.6	8.8	4014	23.3	133	4.98	3.80	159	7.69	4.54	2.71
3	6С 30с 1Б	II	Разногравье	С Ос Б	35 35 35	12.4 14.3 15.7	10.5 14.5 15.0	1871 303 77	15.4 4.9 1.4	100 36 10	3.76 1.12 0.34	2.86 1.03 0.29	116 43 17	5.59 1.56 0.70	3.31 1.23 0.49	1.84 0.44 0.35
4	6С 20с 2Б	III	»	С Ос Б	48 50 45	13.1 14.6 15.5	12.4 16.7 16.0	1486 159 123	17.5 3.4 2.5	118 26 18	2.74 0.46 0.42	2.46 0.52 0.40	158 34 33	5.03 0.75 0.90	3.29 0.68 0.73	2.29 0.29 0.48
5	8С 2Б	III	»	С Б	56 50	14.9 16.8	14.5 17.2	1574 115	25.4 2.6	185 21	3.34 0.35	3.30 0.42	265 37	6.70 0.78	4.73 0.74	3.36 0.42
6	10С	III	Зеленые мхи, брусника	С	55	14.7	14.2	2023	31.4	227	4.70	4.13	323	8.39	5.87	4.16
7	9Ос 1С	II	Разногравье	Ос С	35 35	14.2 12.4	14.3 10.5	909 312	14.7 2.6	106 17	3.36 0.63	3.03 0.49	127 19	4.65 0.93	3.63 0.54	1.31 0.31
8	7Ос 2Б 1С	II	»	Ос Б С	33 33 35	13.4 14.8 12.2	13.5 14.1 10.3	784 165 311	11.0 2.6 2.6	76 18 16	2.65 0.72 0.62	2.30 0.55 0.46	91 30 19	3.62 1.43 0.93	2.76 0.91 0.54	0.97 0.71 0.30
9	6С 20с 2Б	II	»	С Ос Б	40 40 40	11.3 15.7 17.4	10.5 16.5 16.5	1914 165 138	15.8 3.5 2.9	96 27 23	2.96 0.69 0.58	2.40 0.68 0.58	120 34 40	4.90 1.03 1.25	3.00 0.85 1.00	1.93 0.33 0.65
10	9С 1Б	III	»	С Б	55 50	14.9 16.7	14.4 17.1	1825 57	28.4 1.3	207 10	4.32 1.17	3.76 0.20	293 18	7.57 0.39	5.33 0.36	3.69 0.21
11	10С	IV	Зеленые мхи, брусника	С	85	16.2	17.3	1426	33.4	263	1.96	3.09	455	5.45	5.35	3.50
12	7Ос 3Б	II	Разногравье	Ос Б	85 80	24.3 24.3	31.2 22.9	203 134	15.6 5.5	170 53	0.98 0.15	2.00 0.66	260 100	2.53 0.38	3.06 1.25	1.56 0.22
13	10С	IV	Зеленые мхи, брусника	С	100	18.0	20.0	1077	33.9	290	1.50	2.90	533	4.68	5.33	3.16
14	10С	IV	»	С	103	18.2	20.4	1036	33.7	292	1.41	2.83	544	4.52	5.28	3.11
15	10С	II	Разногравье	С	120	26.8	32.6	502	42.0	495	1.63	4.13	913	5.45	7.61	3.85

Примечание. С – сосна, Б – береза (*Betula* L.), Ос – осина (*Populus tremula* L.).

Таблица 2. Биологическая продуктивность насаждений

Номер пробной площади	Состав	Древесная порода	Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т/га абс. сух. вещества							Общая продуктивность фитомассы, т/га	Текущий прирост фитомассы, т/(га · год)		Углерод фитомассы, т/га				Чистая первичная продукция, т С/(га · год)			
				ствол	в том числе кора	древесина кроны	хвоя (листья)	итого наземная	корни	всего		подстилка и подлесок	напочвенный покров	всего	наличного насаждения	в том числе ствол	по общей продуктивности		наличного насаждения	в том числе ствол	по общей продуктивности
1	10С	С	31	48.3	5.8	6.6	5.2	60.1	16.5	76.6	0.4	2.5	79.5	146.2	3.21	7.35	39.3	24.1	70.8	28.0	3.56
2	10С	С	35	56.9	6.7	7.65	5.6	70.2	19.3	89.5	0.4	2.8	92.7	176.2	3.24	8.14	45.9	28.4	85.5	33.8	3.95
3	6С	С	35	41.3	4.6	5.3	3.5	50.1	12.0	62.1	0.8	2.9	99.6	213.3	3.28	8.71	49.4	20.6	103.8	24.0	4.49
	30с	Ос	35	15.3	2.7	2.8	0.7	18.8	6.2	25.0							7.7	7.7	9.2	9.2	3.95
4	1Б	Б	35	5.6	1.1	1.1	0.3	7.0	1.8	8.8							2.8	2.8	4.6	4.6	4.49
	6С	С	48	50.4	5.4	6.3	3.8	60.5	16.8	77.3	1.2	3.7	115.9	304.3	2.47	9.64	57.5	25.2	146.5	33.5	4.64
5	20с	Ос	50	11.1	1.9	2.0	0.3	13.4	4.3	17.7							5.5	5.5	7.1	7.1	4.94
	2Б	Б	45	10.2	1.9	2.0	0.5	12.7	3.3	16.0							5.1	5.1	8.9	8.9	4.94
6	8С	С	56	80.1	8.2	9.7	5.4	95.2	26.6	121.8	1.0	3.9	144.1	372.0	2.52	10.24	71.4	40.0	179.8	56.1	4.94
	2Б	Б	50	11.3	2.0	2.1	0.5	13.9	3.5	17.4							5.7	5.7	10.2	10.2	4.94
7	10С	С	55	98.2	10.1	11.9	6.6	116.7	32.6	149.3	0.7	3.9	153.9	364.2	2.81	10.17	76.4	49.0	176.6	68.3	4.93
	90с	Ос	35	46.2	8.3	8.4	2.3	56.9	18.9	75.8	1.1	3.5	90.8	238.0	2.59	9.51	44.5	23.1	113.9	27.9	4.56
8	1С	С	35	6.9	0.8	0.9	0.6	8.4	2.0	10.4							3.4	3.4	4.0	4.0	4.56
	70с	Ос	33	33.5	6.1	6.1	1.6	41.2	13.9	55.1	1.1	3.1	86.1	224.6	2.74	9.90	42.6	16.7	107.5	20.0	4.74
9	2Б	Б	33	10.4	2.0	2.0	0.6	13.0	3.4	16.4							5.2	5.2	8.4	8.4	4.74
	1С	С	35	6.9	0.7	0.9	0.6	8.4	2.0	10.4							3.4	3.4	4.0	4.0	4.74
10	6С	С	40	49.0	5.2	6.1	3.8	58.9	14.1	73.0	0.9	3.1	115.9	261.3	3.21	10.22	57.8	24.5	126.2	29.0	4.93
	20с	Ос	40	11.8	2.0	2.0	0.5	14.3	4.6	18.9							5.9	5.9	7.3	7.3	4.93
11	2Б	Б	40	13.1	2.4	2.4	0.6	16.1	3.9	20.0							6.6	6.6	11.1	11.1	4.93
	9С	С	55	88.4	9.1	10.7	5.9	105.0	29.3	134.3	0.8	3.9	147.9	364.2	5.67	10.17	73.4	44.1	176.2	61.5	4.92
12	1Б	Б	50	5.7	1.0	1.1	0.3	7.1	1.8	8.9							2.8	2.8	5.1	5.1	4.92
	10С	С	85	119.2	11.3	13.6	6.2	139.0	44.4	183.4	1.0	5.4	189.8	651.4	1.42	10.00	94.2	59.6	315.1	99.6	4.83
13	70с	Ос	85	73.4	10.0	12.0	1.3	86.7	23.1	109.8	3.2	4.2	159.9	754.5	0.71	10.06	79.7	36.7	359.2	56.4	4.75
	3Б	Б	80	29.7	4.5	5.3	0.9	35.9	6.8	42.7							14.9	14.9	28.0	28.0	4.75
14	10С	С	100	132.7	12.0	14.6	6.1	153.4	49.2	202.6	1.2	6.0	209.8	801.3	1.09	9.87	104.9	66.4	387.5	117.5	4.77
15	10С	С	103	134.4	12.0	14.6	5.9	154.9	49.6	204.5	1.1	6.0	211.6	830.2	1.03	9.82	105.2	67.3	401.4	120.3	4.74
	10С	С	120	217.5	16.7	20.8	6.5	244.8	59.4	304.2	1.6	6.0	311.8	1084.5	1.07	9.93	155.9	108.8	542.3	193.0	4.77

Таблица 3. Корреляционная структура связи (R) таксационных показателей и фитомассы сосновых насаждений

Показатель	Возраст	Средняя высота	Средний диаметр	Число деревьев	Сумма площадей поперечных сечений	Запас	Общая продуктивность	Фитомасса насаждения										Общая продуктивность фитомассы	
								Ствол	Кора	Древесина кроны	Хвоя (листва)	Итого надземная	Корни	Всего древостой	Подрост и подлесок	Напочвенный покров	Всего насаждение		
Возраст	1.00	0.86	0.85	-0.55	0.78	0.90	0.93	0.91	0.92	0.94	0.94	0.42	0.91	0.93	0.92	0.50	0.96	0.96	0.99
Средняя высота	0.86	1.00	0.99	-0.75	0.50	0.77	0.78	0.76	0.84	0.84	0.84	0.05	0.75	0.70	0.74	0.78	0.76	0.84	0.91
Средний диаметр	0.85	0.99	1.00	-0.71	0.46	0.73	0.75	0.73	0.82	0.82	0.82	0.00	0.72	0.67	0.72	0.82	0.73	0.81	0.90
Число деревьев	-0.55	-0.75	-0.71	1.00	-0.09	-0.36	-0.41	-0.37	-0.48	-0.46	-0.46	0.32	-0.36	-0.38	-0.37	-0.70	-0.58	-0.51	-0.60
Сумма площадей поперечных сечений	0.78	0.50	0.46	-0.09	1.00	0.92	0.90	0.92	0.85	0.87	0.88	0.88	0.93	0.93	0.93	-0.08	0.79	0.85	0.72
Запас	0.90	0.77	0.73	-0.36	0.92	1.00	0.99	0.99	0.95	0.97	0.97	0.64	0.99	0.96	0.99	0.22	0.87	0.98	0.89
Общая продуктивность	0.93	0.78	0.75	-0.41	0.90	0.99	1.00	0.99	0.95	0.97	0.97	0.60	0.99	0.97	0.99	0.25	0.90	0.98	0.92
Ствол	0.91	0.76	0.73	-0.37	0.92	0.99	0.99	1.00	0.95	0.97	0.97	0.64	0.99	0.97	0.99	0.22	0.88	0.98	0.90
Кора	0.92	0.84	0.82	-0.48	0.85	0.95	0.95	0.95	1.00	0.99	0.99	0.50	0.95	0.95	0.96	0.37	0.89	0.94	0.91
Древесина кроны	0.94	0.84	0.82	-0.46	0.87	0.97	0.97	0.97	0.99	1.00	0.99	0.54	0.97	0.96	0.98	0.37	0.90	0.96	0.93
Хвоя (листва)	0.42	0.05	0.00	0.32	0.88	0.64	0.60	0.64	0.50	0.54	1.00	1.00	0.66	0.67	0.66	-0.48	0.47	0.53	0.33
Итого надземная	0.91	0.75	0.72	-0.36	0.93	0.99	0.99	0.99	0.95	0.97	1.00	0.66	1.00	0.97	0.99	0.21	0.88	0.98	0.89
Корни	0.93	0.70	0.67	-0.38	0.93	0.96	0.97	1.00	0.95	0.96	1.00	0.67	0.97	1.00	0.98	0.17	0.95	0.94	0.89
Всего древостой	0.92	0.74	0.72	-0.37	0.93	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.98	0.66	0.99	0.98	1.00	0.20	0.90	0.98	0.90
Подрост и подлесок	0.50	0.78	0.81	-0.70	-0.08	0.22	0.25	0.23	0.36	0.37	-0.48	0.21	0.21	0.17	0.20	1.00	0.35	0.36	0.57
Напочвенный покров	0.96	0.76	0.73	-0.58	0.79	0.87	0.90	0.88	0.89	0.90	0.47	0.88	0.88	0.95	0.90	0.35	1.00	0.91	0.93
Всего насаждение	0.96	0.84	0.81	-0.51	0.85	0.98	0.98	0.98	0.94	0.96	0.53	0.98	0.98	0.94	0.98	0.36	0.91	1.00	0.95
Общая продуктивность фитомассы	0.99	0.91	0.90	-0.60	0.72	0.89	0.92	0.90	0.91	0.93	0.93	0.33	0.90	0.89	0.90	0.57	0.93	0.95	1.00

Примечание. Коэффициенты корреляции, выделенные жирным шрифтом, значимы при уровне доверительной вероятности 95 % (уровень значимости $\alpha < 0.05$).

рассчитанное на период существования древостоя, $\text{м}^3/(\text{га} \cdot \text{год})$.

Отпад – суммарное количество отмершей древесины в древостое в год до возраста A , $\text{м}^3/(\text{га} \cdot \text{год})$.

Фитомасса насаждения – количество органического вещества живых растений, составляющих насаждение. Фитомасса древостоя разделена на семь фракций: стволовая древесина, в том числе кора ствола, древесина кроны (в коре), листья (хвоя), корни, подрост и подлесок, живой напочвенный покров, в единицах массы сухого вещества, т/га , или углерода, т С/га .

Общая продуктивность фитомассы – суммарное количество органического вещества, произведенное насаждением за период его существования, т/га .

Текущий прирост фитомассы наличного насаждения – изменение общего количества органического вещества суммарно всех составных частей насаждения за 1 год, в единицах массы сухого вещества, $\text{т}/(\text{га} \cdot \text{год})$.

Текущий прирост фитомассы по общей продуктивности – изменение общего количества органического вещества за 1 год, рассчитанное на период существования насаждения, в единицах массы сухого вещества, $\text{т}/(\text{га} \cdot \text{год})$.

Чистая первичная продукция – количество органического вещества, зафиксированного в тканях растений насаждения. Определяется как разница между валовой продукцией (общим фотосинтезом) и автотрофным дыханием лесной экосистемы, в единицах массы сухого вещества, $\text{т}/(\text{га} \cdot \text{год})$, или углерода, $\text{т С}/(\text{га} \cdot \text{год})$.

Древостои одновозрастные, образованы деревьями сосны обыкновенной, чистые по составу, на легких песчаных и супесчаных почвах по речным террасам и смешанные, с участием в составе березы и осины на суглинках по водоразделам. Строение древостоев характеризуется выраженным равномерно-групповым распределением деревьев по площади, высокой (> 1.0) сомкнутостью крон в биогруппах и дифференциацией деревьев на хорошо растущие и отставшие в росте. Стволы ровные, прямые, без признаков морозобоин, пожарных подсушин и гнилей. Кроны преимущественно правильной формы, узкие, ажурные. В биогруппах деформация крон отсутствует даже в случаях взаимопроникновения ветвей. Ряды распределения деревьев по основным морфометрическим показателям значительно растянуты, с высокой крутизной и правосторонней асимметрией. Коэффициенты варьирования основных таксационных показателей изменяются от 43 до 74 %. Столь высокие показатели варьирования признаков объясняются ростовой дифференциацией деревьев на начальных стадиях формирования древостоев, их корневой и кроновой конкуренцией за питательные вещества, свет и влагу.

Итоговые показатели биологической продуктивности исследованных насаждений представлены в табл. 2. Таксационные показатели древостоев тесно коррелируют между собой и с их фитомассой (табл. 3). Характерна высокая теснота связи запаса с фитомассой древостоев и насаждений ($R^2 = 0.95-0.99$) (рис. 3).

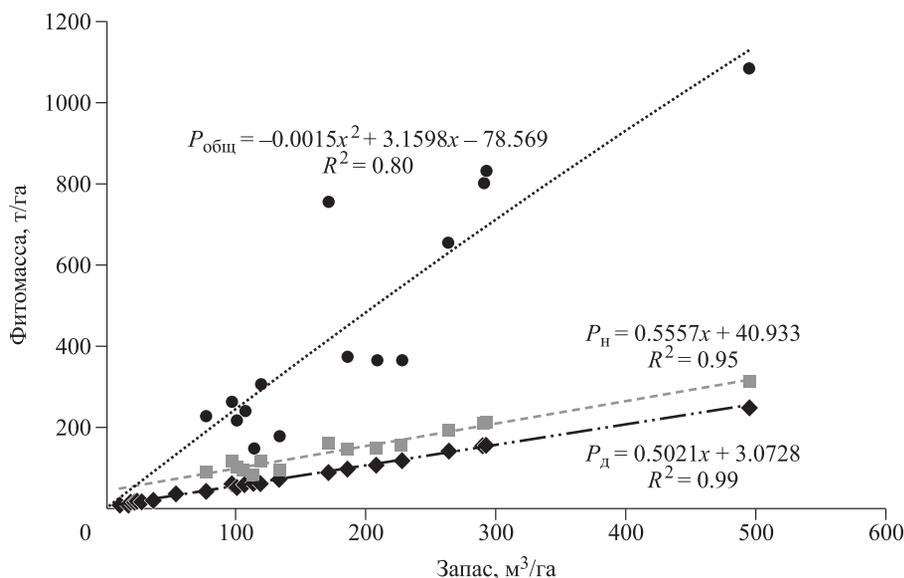


Рис. 3. Зависимость между общей продуктивностью ($P_{\text{общ}}$), фитомассой сосновых насаждений ($P_{\text{н}}$) и древостоев ($P_{\text{д}}$) и запасом.

Максимальное значение фитомассы исследованных насаждений составило 311.8 т/га в пересчете на сухое вещество (пп. 15). Структурно соотношение фракций фитомассы древостоев закономерно изменяется с увеличением их среднего возраста и густоты. На ранних стадиях развития доля хвои (листвы) и кроновой массы значительно выше, чем в древостоях старшего возраста, и изменяется от 8–10 % в возрасте 30–35 лет (пп. 1–3) до 3–4 % в возрасте 100–120 лет (пп. 13–15) соответственно (табл. 3).

Более достоверно и точно особенности продукционного процесса отражаются приростом фитомассы, чем ее общим запасом (Уткин, 1975; Швиденко и др., 2000, 2001, 2003, 2004; Усольцев, 2003, 2007; Таблицы..., 2008; Shvidenko et al., 2000, 2001). Текущий прирост деревьев по толщине и высоте стволов закономерно возрастает с увеличением их морфометрических показателей. Максимальные значения линейных приростов и среднего годичного прироста фитомассы по наличному запасу отмечены у деревьев с наиболее развитой кроной и стволами.

Максимально свой биологический ростовой потенциал в районе исследований 56-летнее сосновое насаждение по текущему приросту фитомассы (по общей продуктивности) реализует на уровне 10.24 т/(га · год) в пересчете на сухое вещество. Максимальная чистая первичная продукция при этом составляет 4.94 т С/(га · год) (пп. 5). Общая продуктивность фитомассы соснового насаждения в возрасте 120 лет достигает 1084.5 т/га (пп. 15).

Состояние и развитие лесных насаждений, формирующихся на вырубках в водосборных бассейнах рек Красноярского Приангарья, достаточно точно и адекватно можно оценить через показатели их строения и биологической продуктивности.

При естественном течении лесообразовательного процесса, учитывая некоторое замедление темпов роста сосны после 30 лет (Уткин, 1975; Таблицы..., 2008), восстановление исходного запаса органического вещества на вырубках и гарях можно прогнозировать примерно через 120–150 лет. Однако этот период может быть значительно более длительным при сильных внешних воздействиях, таких как лесные пожары, вспышки массового размножения насекомых-вредителей, другие катастрофические и опасные природные явления (Соколов и др., 2017; Целитан и др., 2019; Danilin, Tselitan, 2016), которые определяют восстановительные сукцессии через смену пород, в частности, фор-

мирование смешанных сосново-осиново-березовых насаждений на суглинках.

Восстановление лесного покрова на вырубках коренной породой-эдификатором и формирование исходной сосновой ценопопуляции является позитивным с экологической точки зрения процессом, так как сосна обыкновенная в возрастной группе молодняков и средневозрастных древостоев обладает достаточно высокой энергией роста и темпами продуцирования фитомассы, более чем в 2 раза превышая спелые (120 лет и более) насаждения по количеству закрепленного углерода атмосферы и имеет положительные значения баланса углерода и суммарной деструкции органического вещества по параметрам «вход–выход» (Уткин, 1975; Углерод..., 1994; Ведрова, 1998; Усольцев, 2001–2003, 2007, 2010, 2016, 2020; Бузыкин и др., 2002; Ведрова и др., 2002; Таблицы..., 2008; Швиденко, Щепаченко, 2014). Важным обстоятельством, на наш взгляд, также является то, что генофонд популяций сосны обыкновенной менее чувствителен к антропогенным и природным внешним возмущающим воздействиям по сравнению с другими видами хвойных (темнохвойные), что позволяет сохранять генетическое и биологическое разнообразие лесных экосистем в регионе (Тихонова и др., 2021).

Последующее возобновление древостоев на вырубках и гарях в Красноярском Приангарье позволяет формировать потенциально качественно лучшие, чем из сохраненного подроста, насаждения с более высокой и устойчивой динамикой роста и биологической продуктивности, что согласуется с результатами исследований в данной области других авторов (Лашинский 1981; Формирование..., 1981, 1982; Санников, 1992; Фуряев, 1996; Ведрова, 1998; Швиденко и др., 2000, 2001; Усольцев, 2001, 2002, 2003, 2007, 2010, 2016, 2018, 2020; Бузыкин и др., 2002; Ведрова и др., 2002; Лесные экосистемы, 2002; Соколов, Фарбер, 2006; Седых, 2009; Цветков, 2013; Соколов и др., 2014, 2018; Иванова и др., 2016, 2017; Shvidenko et al., 2000, 2001).

Для повышения продуктивности и устойчивости насаждений целесообразно формировать мозаичную структуру древостоев различного породного состава (хвойно-лиственные) и густоты, путем проведения рубок ухода низкой интенсивности, с оставлением части лиственного полога в смешанных насаждениях и сохранением равномерно-группового размещения более крупных деревьев и вырубкой тонкомера в за-

гущенных молодняках (Формирование..., 1981, 1982; Бабинцева и др., 1998; Бузыкин и др., 2002; Стаканов и др., 2002; Lee et al., 2002).

Выполненные исследования показали, что начальная фаза послерубочных и послепожарных сукцессий требует детального изучения. Необходимо выявлять условия, которые следует учитывать при проведении лесовосстановления на вырубках и гарях. Для обоснованного назначения лесовосстановительных мероприятий необходимо научно обоснованный прогноз последующих направлений сукцессионных циклов (Соколов. Фарбер, 1999).

Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Научные основы сохранения ресурсного и экологического потенциала лесов Сибири в условиях кумулятивных антропогенных и природных рисков», № 0287-2021-0010, рег. НИОКТР № 121030900181-4.

Авторы благодарны доктору сельскохозяйственных наук, профессору В. А. Усольцеву, кандидату физико-математических наук Г. Б. Кофману и анонимным рецензентам за ценные советы, замечания и обсуждение, способствовавшие существованию улучшению содержания статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Анализ* продукционной структуры древостоев / Отв. ред. С. Э. Вомперский, А. И. Уткин. М.: Наука, 1988. 240 с. [*Analiz produktsionnoy struktury drevostoev (Analysis of the production structure of tree stands) / S. E. Vompersky, A. I. Utkin (Resp. Eds.). Moscow: Nauka (Science), 1988. 240 p. (in Russian).*]
- Бабинцева Р. М., Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. С., Иванов В. В.* Формирование лесных экосистем в условиях интенсивной лесозексплуатации. Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1998. 184 с. [*Babintseva R. M., Buzykin A. I., Pshenichnikova L. S., Ivanov V. V.* Formirovaniye lesnykh ekosistem v usloviyakh intensivnoy lesоексплуатatsii (Formation of forest ecosystems in the conditions of intensive forest exploitation). Novosibirsk: Nauka (Science). Sib. predpr. RAN (Sib. Enterprise of the Rus. Acad. Sci.), 1998. 184 p. (in Russian)].
- Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. С., Суховольский В. Г.* Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 151 с. [*Buzykin A. I., Pshenichnikova L. S., Sukhovolsky V. G.* Gustota i produktivnost' drevesnykh tsenozov (Density and productivity of woody cenoses). Novosibirsk: Nauka (Science). Sib. otd-nie (Sib. Br.), 2002. 151 p. (in Russian)].
- Буряк Л. В.* Лесообразовательный процесс в нарушенных пожарами светлохвойных насаждениях юга Сибири: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск: СибГТУ, 2015. 37 с. [*Buryak L. V.* Lesoobrazovatel'nyy protsess v narushennykh pozharami svetlokhvoynykh nasazhdeniyakh yuga Sibiri: avtoref. dis. ... dokt. s.-kh. nauk: 06.03.02 (Forest-forming process in light-coniferous stands disturbed by fires in the south of Siberia: Dr. Agr. Sci. (DSc) thesis: For. Sci. & Silviculture. Krasnoyarsk: SibGTU (Sib. St. Univ. Technol.), 2015. 37 p. (in Russian)].
- Буряк Л. В., Сухинин А. И., Москальченко С. А.* Влияние пожаров на лесовозобновление в условиях Нижнего Приангарья // *Лесоведение*. 2009. № 5. С. 17–23 [*Buryak L. V., Sukhinin A. I., Moskalchenko S. A.* Vliyanie pozharov na lesovozobnovlenie v usloviyakh Nizhnego Priangarya (The effect of fires on reforestation in the Lower Angara region) // *Lesovedenie (For. Sci.)*. 2009. N. 5. P. 17–23 (in Russian with English abstract)].
- Валендик Э. Н.* Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири // *Сиб. экол. журн.* 1996. № 1. С. 1–8 [*Valendik E. N.* Ekologicheskie aspekty lesnykh pozharov v Sibiri (Ecological aspects of forest fires in Siberia) // *Sib. ekol. zhurn. (Sib. J. Ecol.)*. 1996. N. 1. P. 1–8 (in Russian with English abstract)].
- Ведрова Э. Ф.* Углеродный цикл в сосняках таежной зоны Красноярского края // *Лесоведение*. 1998. № 6. С. 3–11 [*Vedrova E. F.* Uglerodny tsikl v sosnyakh taezhnoy zony Krasnoyarskogo kraya (Carbon cycle in pine forests of the taiga zone of Krasnoyarsk Krai) // *Lesovedenie (For. Sci.)*. 1998. N. 6. P. 3–11 (in Russian with English abstract)].
- Ведрова Э. Ф., Шугалей Л. С., Стаканов В. Д.* Баланс углерода в естественных и нарушенных южно-таежных лесах Средней Сибири // *Геогр. и природ. ресурсы*. 2002. № 4. С. 92–99 [*Vedrova E. F., Shugaley L. S., Stakanov V. D.* Balans ugleroda v estestvennykh i narushennykh yuzhnotaezhnykh lesakh Sredney Sibiri (Carbon balance in natural and disturbed southern taiga forests of Central Siberia) // *Geogr. i prirod. resursy (Geogr. & Nat. Res.)*. 2002. N. 4. P. 92–99 (in Russian with English abstract)].
- Иванова Г. А., Иванов А. В.* Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2015. 240 с. [*Ivanova G. A., Ivanov A. V.* Pozhary v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri (Fires in pine forests of the Central Siberia). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.) (in Russian)].
- Иванова Г. А., Жила С. В., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Кукавская Е. А.* Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков Средней Сибири // *Сиб. лесн. журн.* 2018. № 3. С. 30–41 [*Ivanova G. A., Zhila S. V., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Kukavskaya E. A.* Postpirogennaya transformatsiya osnovnykh komponentov sosnyakov Sredney Sibiri (Post-fire transformation of basic components of pine forests in Central Siberia) // *Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2018. N. 3. P. 30–41 (in Russian with English abstract)].
- Иванова Г. А., Жила С. В., Кукавская Е. А., Иванов В. А.* Постпирогенная трансформация фитомассы древостоя в насаждениях Нижнего Приангарья // *ИВУЗ. Лесн. журн.* 2016. № 6 (354). С. 17–32 [*Ivanova G. A., Zhila S. V., Kukavskaya E. A., Ivanov V. A.* Postpirogennaya transformatsiya fitomassy drevostoya v nasazhdeniyakh Nizhnego Priangarya (Postpyrogenic transformation of stand phytomass in stands of the Lower Angara region) // *IVUZ. Lesn. zhurn. (Proc. Higher Educ. Inst. For. J.*

- (Lesn. Zhurn.). 2016. N. 6 (354). P. 17–32 (in Russian with English abstract)].
- Иванова Г. А., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Конард С. Г., Жила С. В., Тарасов П. А. Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24. № 1. С. 61–71 [Ivanova G. A., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Konard S. G., Zhila S. V., Tarasov P. A. Suktsessiya rastitel'nosti после vysokointensivnogo pozhara v sosnyake lishaynikovom (Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichens) // Sib. ecol. zhurn. (Sib J. Ecol.). 2017. V. 24. N. 1. P. 61–71 (in Russian with English abstract)].
- Исаев А. С., Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В., Зукерт Н. В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23 [Isaev A. S., Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnykh O. V., Zukert N. V. Lesa Rossii kak rezervuar organicheskogo ugleroda biosfery (Russian forests as a reservoir of organic carbon in the biosphere) // Lesovedenie (For. Sci.). 2001. N. 5. P. 8–23 (in Russian with English abstract)].
- Кузьмичев В. В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с. [Kuzmichev V. V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: printsipy i modeli (Patterns of tree stand dynamics: principles and models). Novosibirsk: Nauka (Science), 2013. 208 p. (in Russian)].
- Лащинский Н. Н. Структура и динамика сосновых лесов Нижнего Приангарья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 272 с. [Lashchinskiy N. N. Struktura i dinamika sosnovykh lesov Nizhnego Priangar'ya (Structure and dynamics of pine forests in the Lower Angara region). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.), 1981. 272 p. (in Russian)].
- Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Отв. ред. Ф. И. Плешиков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 356 с. [Lesnye ekosistemy Eniseyskogo meridiana (Forest ecosystems of the Yenisei meridian) / F. I. Pleshikov (Ed.). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN (Sib. Br. Rus. Acad. Sci. Publ.), 2002. 356 p. (in Russian)].
- Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с. [Sannikov S. N. Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovvennoy (Ecology and geography of natural regeneration of Scots pine). Moscow: Nauka (Science), 1992. 264 p. (in Russian)].
- Седых В. Н. Лесообразовательный процесс. Новосибирск: Наука, 2009. 164 с. [Sedykh V. N. Lesoobrazovatelny protsess (Forest forming process). Novosibirsk: Nauka (Science), 2009. 164 p. (in Russian)].
- Соколов В. А., Вараксин Г. С., Втюрина О. П., Горяева Е. В., Кузьмик Н. С., Соколова Н. В., Фарбер С. К. Воспроизводство лесов в Приангарье. Саарбрюкен, Германия: Lambert Acad. Publ., 2018. 262 с. [Sokolov V. A., Varaksin G. S., Vtyurina O. P., Goryaeva E. V., Kuzmik N. S., Sokolova N. V., Farber S. K. Vosproizvodstvo lesov v Priangar'e (Reproduction of forests in the Angara region). Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ., 2018. 262 p. (in Russian)].
- Соколов В. А., Соколова Н. В., Втюрина О. П., Липин Е. А. Прогноз динамики лесов Красноярского края // Сиб. лесн. журн. 2017. № 4. С. 91–100 [Sokolov V. A., Sokolova N. V., Vtyurina O. P., Lipin E. A. Prognoz dinamiki lesov Krasnoyarskogo kraya (Forecast for the dynamics of forests in Krasnoyarsk Krai) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N 4. P. 91–100 (in Russian with English abstract)].
- Соколов В. А., Фарбер С. К. Возобновление в лесах Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 219 с. [Sokolov V. A., Farber S. K. Vozobnovlenie v lesakh Vostochnoy Sibiri (Renewal in the forests of Eastern Siberia). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN (Sib. Br. Rus. Acad. Sci. Publ.), 2006. 219 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Соколов В. А., Швиденко А. З., Ведрова Э. Ф. Леса Красноярского края в Киотском процессе. Саарбрюкен, Германия: Lambert Acad. Publ., 2014. 164 с. [Sokolov V. A., Shvidenko A. Z., Vedrova E. F. Lesa Krasnoyarskogo kraya v Kiotskom protsesse (Forests of Krasnoyarsk Krai in the Kyoto Process). Saarbrücken, Germany: Lambert Acad. Publ., 2014. 164 p. (in Russian)].
- Софронов М. А., Гольдаммер И. Г., Волокитина А. В., Софронова Т. М. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 330 с. [Sofronov M. A., Goldammer I. G., Volokitina A. V., Sofronova T. M. Pozharnaya opasnost' v prirodnykh usloviyakh (Fire hazard in natural conditions). Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (V. N. Sukachev Inst. For. Sib. Br. Rus. Acad. Sci.), 2005. 330 p. (in Russian with English abstract)].
- Стаканов В. Д., Кузьмичев В. В., Грешилова Н. В. Формирование углероддепонирующих древостоев рубками ухода за молодняками // Лесн. хоз-во. 2002. № 2. С. 24–25 [Stakanov V. D., Kuzmichev V. V., Greshilova N. V. Formirovanie uglerododeponiruyushchikh drevostoev rubkami ukhoda za molodnyakami (Formation of carbon-depositing stands by thinning young stands) // Lesn. khoz-vo (Forestry). 2002. N. 2. P. 24–25 (in Russian)].
- Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй. Изд. 2-е, доп. М.: Фед. агентство лесн. хоз-ва; Междунар. ин-т прикл. сист. анализа (IIASA), 2008. 886 с. [Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy) (Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia (standard and reference materials) / A. Z. Shvidenko, D. G. Shchepashchenko, S. Nilsson, Yu. I. Buluy. Izd. 2-e, dop. (Second ed., supplemented). Moscow: Fed. agentstvo lesn. khoz-va (Fed. For. Agency); Mezhdunar. in-t prikl. sist. analiza (IIASA), 2008. 886 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Тихонова И. В., Экарт А. К., Кравченко А. Н., Тихонова Н. А. Генетическая изменчивость в популяциях *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Abies sibirica* и на вырубках в южной тайге Средней Сибири // Генетика. 2021. Т. 57. № 3. С. 296–310 [Tikhonova I. V., Ekart A. K., Kravchenko A. N., Tikhonova N. A. Geneticheskaya izmenchivost' v populyatsiyakh *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Abies sibirica* i na vyrubkakh v yuzhnoy tayge Sredney Sibiri (Genetic variability in the populations of *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*, *Abies sibirica* and

- in clearings in the southern taiga of Central Siberia) // *Genetika (Genetics)*. 2021. V. 57. N. 3. P. 296–310 (in Russian with English abstract).
- Углерод в экосистемах лесов и болот России* / Под ред. В. А. Алексеева и Р. А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН; Сев.-Вост. эксп. станция Лесн. службы США, 1994. 225 с. [*Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii (Carbon in ecosystems of forests and bogs in Russia)* / V. A. Alekseev and R. A. Berdsi (Eds.). Krasnoyarsk: In-t lesa im. V. N. Sukacheva SO RAN (V. N. Sukachev Inst. For. Sib. Br. Rus. Acad. Sci.); Sev.-Vost. eksp. stantsiya Lesn. sluzhby SSHA (North-East Exp. Stat. US For. Serv.), 1994. 225 p. (in Russian)].
- Уольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география*. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с. [*Uoltsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: baza dannykh i geografiya (Forest biomass of Northern Eurasia: database and geography)*. Yekaterinburg: UrO RAN(Ural Br. Rus. Acad. Sci.), 2001. 708 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Уольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии*. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 763 с. [*Uoltsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii (Forest biomass of Northern Eurasia: mensuration standards and geography)*. Yekaterinburg: UrO RAN(Ural Br. Rus. Acad. Sci.), 2002. 763 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Уольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география*. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 407 с. [*Uoltsev V. A. Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: predl'naya produktivnost' i geografiya (Forest biomass of Northern Eurasia: the limits of productivity and their geography)*. Yekaterinburg: UrO RAN (Ural Br. Rus. Acad. Sci.), 2003. 407 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Уольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения*. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с. [*Uoltsev V. A. Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya (Biological productivity of Northern Eurasia's forests: methods, datasets, applications)*. Yekaterinburg: UrO RAN (Ural Br. Rus. Acad. Sci.), 2007. 637 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Уольцев В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии*. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 573 с. [*Uoltsev V. A. Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii (Eurasian forest biomass and primary production data)*. Yekaterinburg: UrO RAN (Ural Br. Rus. Acad. Sci.), 2010. 573 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Уольцев В. А. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов)*. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2016. 384 с. [*Uoltsev V. A. Biologicheskaya produktivnost' lesoobrazuyushchikh porod v klimaticheskikh gradientakh Evrazii (k menedzmentu biosfernykh funktsiy lesov) (Biological productivity of forest-forming species in Eurasia's climatic gradients (as related to supporting decision-making processes in forest management)*. Yekaterinburg: UGLTU (Ural St. For. Engineer. Univ.), 2016. 384 p. (in Russian with English title and summary)].
- Уткин А. И. О показателях лесных биогеоценозов* // *Бюлл. МОИП. Отд. биол.* 1975. Т. 80. № 2. С. 95–107 [*Utkin A. I. O pokazatelyakh lesnykh biogeotsenozov (About indicators of forest biogeocenoses)* // *Byull. MOIP. Otd. biol. (Proc. Moscow Soc. Nat. Testers. Biol. Br.)*. 1975. V. 80. N. 2. P. 95–107 (in Russian)].
- Фарбер С. К. Формирование древостоев Восточной Сибири*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с. [*Farber S. K. Formirovanie drevostoev Vostochnoy Sibiri (Formation of tree stands of Eastern Siberia)*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN (Sib. Br. Rus. Acad. Sci. Publ.), 2000. 432 p. (in Russian)].
- Фарбер С. К. Воздействие пожаров на леса Восточной Сибири* // *Лесн. таксация и лесоустройство*. 2012. № 1 (47). С. 131–141 [*Farber S. K. Vozdeystvie pozharov na lesa Vostochnoy Sibiri (The impact of fires on forests in Eastern Siberia)* // *Lesn. taksatsiya i lesoustroystvo (For. Invent. & For. Plann.)*. 2012. N. 1 (47). P. 131–141 (in Russian with English abstract)].
- Фарбер С. К. Структуризация лесных сообществ* // *Сиб. лесн. журн.* 2014. № 1. С. 35–49 [*Farber S. K. Strukturizatsiya lesnykh soobshchestv (Structuring of forest communities)* // *Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2014. N. 1. P. 35–49 (in Russian with English abstract)].
- Фарбер С. К., Кузьмик Н. С. Моделирование потенциальной продуктивности древесных пород на примере южно-таежных лесов Приангарья* // *Лесоведение*. 2021. № 2. С. 132–142 [*Farber S. K., Kuzmnik N. S. Modelirovanie potentsial'noy produktivnosti drevesnykh porod na primere yuzhno-taezhnykh lesov Priangar'ya (Modeling the potential productivity of tree species on the example of the southern taiga forests of the Angara region)* // *Lesovedenie (For. Sci.)*. 2021. N. 2. P. 132–142 (in Russian with English abstract)].
- Фарбер С. К., Соколов В. А., Казымов С. А. Динамика лесовосстановления на сосновых вырубках Приангарья* // *Лесн. хоз-во*. 1995. № 5. С. 26 [*Farber S. K., Sokolov V. A., Kazymov S. A. Dinamika lesovosstanovleniya na sosnovykh vyrubkakh Priangar'ya (Dynamics of reforestation in pine clearings of the Angara region)* // *Lesn. khoz-vo (Forestry)*. 1995. N. 5. P. 26 (in Russian)].
- Формирование и продуктивность древостоев* / Отв. ред. Н. П. Поликарпов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 145 с. [*Formirovanie i produktivnost' drevostoev (Formation and productivity of tree stands)* / Отв. ред. (Resp. Ed.) N. P. Polikarpov. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.), 1981. 145 p. (in Russian)].
- Формирование молодняков хвойных пород* / Бабинцева Р. М., Бузыкин А. И., Владимирова Г. А., Ермоленко Л. Г., Ермоленко П. М., Поликарпов Н. П., Пшеничникова Л. С., Судачков Е. Я., Чебакова Н. М. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 136 с. [*Formirovanie molodnyakov khvoynykh porod (Formation of young stands of coniferous species)* / Babintseva R. M., Buzykin A. I., Vladimirova G. A., Yermolenko L. G., Yermolenko P. M., Polikarpov N. P., Pshenichnikova L. S., Sudachkov E. Ya., Chebakova N. M. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.), 1982. 136 p. (in Russian)].
- Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 253 с. [*Furyaev V. V. Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya*

- (The role of fires in the process of forest formation). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.), 1996. 253 p. (in Russian)].
- Фуряев В. В., Заболоцкий В. И., Черных В. А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука. Sib. otd-nie, 2005. 160 с. [Furyaev V. V., Zabolotsky V. I., Chernykh V. A. Pozharoustoychivost' sosnovykh lesov (Fire resistance of pine forests). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie (Science. Sib. Br.), 2005. 160 p. (in Russian)].
- Цветков П. А. Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднетаежных сосняках Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 1–2. С. 15–21 [Tsvetkov P. A. Vliyanie pozharov na nachalny etap lesoobrazovaniya v srednetayezhnykh sosnyakakh Sibiri (Influence of fires on the initial stage of forest formation in the middle taiga pine forests of Siberia) // Khvoynye boreal'noy zony (Coniferous of the Boreal Zone). 2013. V. XXXI. N. 1–2. P. 15–21 (in Russian with English abstract)].
- Целитан И. А., Соколов В. А., Данилин И. М. Формирование молодых насаждений на вырубках в Нижнем Приангарье // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: Материалы Всерос. конф. с междунар. участ. Красноярск, 26–31 авг., 2019 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2019. С. 490–494 [Tselitan I. A., Sokolov V. A., Danilin I. M. Formirovanie molodnyakov na vyrubkakh v Nizhnem Priangar'e (Formation of young stands in clearings in the Lower Angara region) // Lesnye ekosistemy boreal'noy zony: bioraznoobrazie, bioekonomika, ekologicheskie riski: Materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchast. (Forest ecosystems of the boreal zone: biodiversity, bioeconomics, environmental risks. Proc. All-Rus. Conf. Int. Participat. Krasnoyarsk, 26–31 Aug., 2019. Krasnoyarsk: IL SO RAN(Inst. For. Sib. Br. Rus. Acad. Sci.), 2019. P. 490–494 (in Russian)].
- Швиденко А. З., Нильссон С., Столбовой В. С., Глюк М., Щепашченко Д. Г., Рожков В. А. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2: Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403–410 [Shvidenko A. Z., Nilsson S., Stolbovoi V. S., Gluck M., Shchepashchenko D. G., Rozhkov V. A. Opyt agregirovannoy otsenki osnovnykh pokazateley bioproduktsionnogo protsessa i uglerodnogo byudzheta nazemnykh ekosistem Rossii. 2: Zapasy rastitel'noy organicheskoy massy (Aggregated estimation of basic parameters of biological production and carbon budget of Russian terrestrial ecosystems. 1. Stocks of plant organic mass) // Ekologiya (Ecology) 2000. N. 6. P. 403–410 (in Russian)].
- Швиденко А. З., Нильссон С., Столбовой В. С., Глюк М., Щепашченко Д. Г., Рожков В. А. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2: Нетто-первичная продукция экосистем // Экология. 2001. № 2. С. 83–90 [Shvidenko A. Z., Nilsson S., Stolbovoi V. S., Gluck M., Shchepashchenko D. G., Rozhkov V. A. Opyt agregirovannoy otsenki osnovnykh pokazateley bioproduktsionnogo protsessa i uglerodnogo byudzheta nazemnykh ekosistem Rossii. 2: Netto-pervichnaya produktsiya ekosistem (Aggregated estimation of basic parameters of biological production and the carbon budget of Russian terrestrial ecosystems: 2. Net primary production) // Ekologiya (Ecology) 2001. N. 2. P. 83–90 (in Russian)].
- Швиденко А. З., Щепашченко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 69–92 [Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Uglernodny byudzheta lesov Rossii (Carbon budget of Russian forests) // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2014. N. 1. P. 69–92 (in Russian with English abstract)].
- Швиденко А. З., Щепашченко Д. Г., Ваганов Е. А., Сухинин А. И., Максюттов Ш. Ш., МкКаллум И., Лакида И. П. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // ДАН. 2011. Т. 441. № 4. С. 544–548 [Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Vaganov E. A., Sukhinin A. I., Maksyutov Sh. Sh., Mckallum I., Lakida I. P. Vliyanie prirodnykh pozharov v Rossii 1998–2010 gg. na ekosistemy i global'ny uglerodny byudzheta (Impact of wildfire in Russia between 1998–2010 on ecosystems and the global carbon budget) // DAN (Proc. Acad. Sci.). 2011. V. 441. N. 4. P. 544–548 (in Russian with English abstract)].
- Швиденко А. З., Щепашченко Д. Г., Нильссон С. Агрегированные модели фитомассы насаждений основных лесобразующих пород России // Лесн. таксация и лесоустройство. 2001. № 1 (30). С. 50–57 [Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nilsson S. Agregirovannyye modeli fitomassy nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii (Aggregated models of the stands' phytomass of the main forest-forming species in Russia) // Lesn. taksatsiya i lesoustroystvo (For. Inventory & For. Plann.). 2001. N. 1 (30). P. 50–57 (in Russian with English abstract)].
- Швиденко А. З., Щепашченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы хода роста) // Лесн. хоз-во. 2003. № 6. С. 34–38 [Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nilsson S., Buluy Yu. I. Sistema modeley rosta i dinamiki produktivnosti lesov Rossii (tablitsy khoda rosta) (System of growth models and dynamics of forest productivity in Russia (growth tables)) // Lesn. khoz-vo (Forestry). 2003. N. 6. P. 34–38 (in Russian)].
- Швиденко А. З., Щепашченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы и модели биопродуктивности) // Лесн. хоз-во. 2004. № 2. С. 40–44 [Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nilsson S., Buluy Yu. I. Sistema modeley rosta i dinamiki produktivnosti lesov Rossii (tablitsy i modeli bioproduktivnosti) (System of growth models and dynamics of forest productivity in Russia (tables and models of bioproductivity)) // Lesn. khoz-vo (Forestry). 2004. N. 2. P. 40–44 (in Russian)].
- Щепашченко Д. Г., Швиденко А. З., Пергер К., Дресел К., Фриц Ш., Лакида П., Мухортова Л. В., Усольцев В. А., Бобкова К. С., Осипов А. Ф., Мартыненко О. В., Карминов В. Н., Онтиков П. В., Щепашченко М. В., Краксерн Ф. Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы // Сиб. лесн. журн. 2017. № 4. С. 3–11 [Schepaschenko D. G., Shvidenko A. Z., Perger C., Dresel C., Fritz S., Lakida P. I., Mukhortova L. V., Usoltsev V. A., Bobkova K. S., Osipov A. F., Martynenko O. V., Karminov V. N., Ontikov P. V., Schepaschenko M. V., Kraxner F. Izuchenie fitomassy lesov: tekushchee sostoyaniye i perspektivy // Sib. lesn. zhurn. 2017. № 4. S. 3–11 [Schepaschenko D. G., Shvidenko A. Z., Perger C., Dresel C., Fritz S., Lakida P. I., Mukhortova L. V., Usoltsev V. A., Bobkova K. S., Osipov A. F., Martynenko O. V., Karminov V. N., Ontikov P. V., Schepaschenko M. V., Kraxner F. Izuchenie fitomassy lesov: tekushchee

- sostoyanie i perspektivy (Forest biomass observation: current state and prospective) // *Sib. lesn. zurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2017. N. 4. P. 3–11 (in Russian with English abstract)].
- Danilin I. M., Tselitan I. A. Dynamics of forest ecosystems regenerated on burned and harvested areas in mountain regions of Siberia: characteristics of biological diversity, structure and productivity // *Sib. lesn. zurn. (Sib. J. For. Sci.)*. 2016. N. 6. P. 60–72.
- Enquist B. J., West G. B., Charnov E. L., Brown J. H. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants // *Nature*. 1999. V. 401. N. 6756. P. 907–911.
- Ivanova G. A., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Conard S. G., Zhila S. V., Tarasov P. A. Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichens // *Contemp. Probl. Ecol.* 2017. V. 10. Iss. 1. P. 52–61 (Original Rus. text © G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, N. M. Kovaleva, S. G. Conard, S. V. Zhila, P. A. Tarasov, 2017, publ. in *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*. 2017. V. 10. N. 1. P. 61–71).
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Dvinskaya M. L., Coogan S. C. P., Flannigan M. D. Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio*. 2021. V. 50. Publ. 29, January 2021. 22 p. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>
- Lee J., Morrison I. K., Leblanc J.-D., Dumas M. T., Cameron D. A. Carbon sequestration in trees and regrowth vegetation as affected by clearcut and partial cut harvesting in a second-growth boreal mixedwood // *For. Ecol. Manag.* 2002. V. 169. Iss. 1–2. P. 83–101.
- Shvidenko A. Z., Nilsson S., Stolbovoi V. S., Gluck M., Shchepashchenko D. G., Rozhkov V. A. Aggregated estimation of basic parameters of biological production and carbon budget of Russian terrestrial ecosystems. 1. Stocks of plant organic mass // *Rus. J. Ecol.* 2000. V. 31. Iss. 6. P. 371–378 (Original Rus. text © 2000 A. Z. Shvidenko, S. Nilsson, V. S. Stolbovoi, M. Gluck., D. G. Shchepashchenko, V. A. Rozhkov, publ. in *Ekologiya*. 2000. N. 6. P. 403–410).
- Shvidenko A. Z., Nilsson S., Stolbovoi V. S., Gluck M., Shchepashchenko D. G., Rozhkov V. A. Aggregated estimation of basic parameters of biological production and the carbon budget of Russian terrestrial ecosystems: 2. Net primary production // *Rus. J. Ecol.* 2001. V. 32. Iss. 2. P. 71–77 (Original Rus. text © 2001 A. Z. Shvidenko, S. Nilsson, V. S. Stolbovoi, M. Gluck., D. G. Shchepashchenko, V. A. Rozhkov, publ. in *Ekologiya*. 2001. N. 2. P. 83–90).
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., McCallum I., Lakyda I. P., Vaganov E. A., Sukhinin A. I., Maksyutov Sh. Sh. Impact of wildfire in Russia between 1998–2010 on ecosystems and the global carbon budget // *Doklady Earth Sci.* 2011. V. 441. N. 2. P. 1678–1682 (Original Rus. text © 2011 A. Z. Shvidenko, D. G. Shchepashchenko, I. McCallum, I. P. Lakyda, E. A. Vaganov, A. I. Sukhinin, Sh. Sh. Maksyutov, publ. in *Doklady Akademii Nauk*. 2011. V. 441. N. 4. P. 544–548).
- Tomppo E., Haakana M., Katila M., Peräsaari J. Multi-source national forest inventory: Methods and applications. Springer Netherlands, 2008. 373 p.
- West P. W. Tree and forest measurement. Springer Int. Publ., Switzerland, 2015. 214 p.
- West G. B., Brown J. H., Enquist B. J. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems // *Nature*. 1999. V. 400. N 6745. P. 664–667.

STRUCTURE AND GROWTH OF THE STANDS, FORMED IN BURNS AND CUTTINGS IN KRASNOYARSK PRIANGAR'Е

I. A. Tselitan, V. A. Sokolov, I. M. Danilin

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

E-mail: igor57@akadem.ru, sokolovva@ksc.krasn.ru, danilin@ksc.krasn.ru

The features of post-fire and post-felling formation of pure in composition and mixed pine stands in Krasnoyarsk Priangarye are considered. The structure, growth and biological productivity of forest regeneration successions are analyzed. The highest value of the phytomass of pine stands was 312 ton/ha in terms of absolutely dry matter. Structurally, the ratio of the phytomass fractions of forest stands naturally changes with an increase in their average age and density. At the early stages of development, the relative proportion of the mass of needles and crown wood is much higher than in older tree stands, and varies from 8–10 % at the age of 30–35 to 3–4 % at the age 100–120 years. The maximum biological growth potential in terms of the current increase in phytomass (in terms of total productivity) is realized by the pine stands at the level of 10.2 ton/ha/year of absolutely dry matter at the age of 56 years. At the same time, net primary production is 494 ton C/ha/year. The total phytomass of the pine forest at the age of 120 years reaches 1085 ton/ha. Natural restoration of forest cover in clearings by bedrock and the formation of pine stands is an ecologically positive process, since post-felling and post-fire young stands and middle-aged pine stands have high growth energy and phytomass production rates, more than two times higher than mature stands in the amount of fixed carbon atmosphere and have positive values of carbon balance and total destruction of organic matter according to the parameters «input-output».

Keywords: *pine stands, progressive successions, structure, growth, biological productivity, Krasnoyarsk Krai.*

How to cite: *Tselitan I. A., Sokolov V. A., Danilin I. M. Structure and growth of the stands, formed in burns and cuttings in Krasnoyarsk Priangar'е // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2021. N. 4. P. 34–47 (in Russian with English abstract and references).*