

УДК 630.182.21

ВОССТАНОВИТЕЛЬНО-ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ ЕЛИ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ В ТИПИЧНЫХ ДЛЯ ЕЛЬНИКОВ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

© 2016 г. **М. В. Рубцов**, Ю. Б. Глазунов, Д. К. Николаев

Институт лесоведения РАН

143030 Московская область, Одинцовский район, с. Успенское, ул. Советская, 21

E-mail: root@ilan.ras.ru

Поступила в редакцию 11.01.2016 г.

Исследован процесс естественного восстановления ели (*Picea abies* L.) под пологом культур сосны (*Pinus sylvestris* L.) на суглинистых почвах. Выживаемость и рост ели определяются периодом ее возобновления с года создания культур и локальными условиями в результате неоднородного изреживания полога сосны и ели. Формирование популяции ели определяется преимущественно особями, возобновившимися в период интенсивного изреживания древостоя сосны в возрасте 20–40 лет. Ускорить восстановление ели можно своевременным проведением рубок ухода в культурах сосны. Первый прием их целесообразно проводить в 15–20-летних сосняках, что будет способствовать повышению роста сосны и возобновлению ели. При нормальном развитии процесса восстановления еловой популяции под пологом 80-летних культур сосны формируется еловый второй ярус, стволовой запас которого составляет 20–25% от запаса первого яруса. После формирования второго яруса древостоя световой режим под пологом культур сосны существенно обусловлен объемом пространства, занятого кронами елей. Насыщенность этого пространства кронами елей особенно велика на относительной высоте, равной 0.4–0.7 средней высоты ели во втором ярусе. Деревья ели, имеющие меньшую высоту, могут выживать в течение длительного времени, однако не способны нормально расти и, в конечном итоге, погибают на стадии подростка. К возрасту 150 лет запас ели, возобновившейся под пологом культур сосны, достигает трети от общего запаса насаждения. В типичных для ели условиях произрастания (C_3) по устойчивости и производительности сосново-еловые насаждения превосходят чистые культуры ели. Целесообразность использования естественного восстановления ели для создания сосново-еловых насаждений в условиях C_3 должна обосновываться с учетом целевого назначения лесов, установленных возрастов рубки, возможности создания культур и проведения рубок ухода в соответствии с установленными правилами.

Культуры сосны, подпологовая популяция ели, восстановление, возрастная и вертикальная структура, Pinus sylvestris, Picea abies.

Культуры сосны в типичных для ели условиях произрастания имеют давнюю историю. Такие культуры во второй половине XIX в. создавал выдающийся лесовод К.Ф. Тюрмер в Поречье (Можайский район Московской обл.). Создаются они и в настоящее время. Целесообразность производства культур сосны в типичных для ели условиях произрастания связана с решением ряда задач: обоснованием главной породы, состава и структуры древостоя, возможности использования естественного возобновления пород для формирования оптимального состава насаждений. В

сущности, первые две задачи были решены многолетними исследованиями культур К.Ф. Тюрмера, которые проводятся нами в Поречье с 1969 г. по настоящее время (Рубцов, Мерзленко, 1975; Рубцов и др., 1997). Установлено, что в условиях C_3 по устойчивости культуры сосны превосходят культуры ели. Созданные чистые еловые культуры имели неудовлетворительное состояние к 80–100 годам, в то время как культуры с преобладанием в составе сосны сохранились до 150-летнего возраста, имеют нормальное состояние и высокую производительность, их класс бонитета – Ia, пол-

нота – 0.8. Оптимальный состав таких культур в 80 лет – 7–8С 2–3Е. В 120–130-летних сосново-еловых культурах со вторым ярусом ели запас древостоя достигал $645 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (Рубцов и др., 1997).

Смешанные и сложные насаждения имеют большую производительность по сравнению с чистыми одноярусными. Они более устойчивы к воздействию неблагоприятных факторов среды, для них характерно большее видовое разнообразие растительности и фауны (Тимофеев, 1974; Носова, 2001). В древостоях сосны (*Pinus sylvestris* L.) ель (*Picea abies* L.), формируя второй ярус, не только повышает общий запас, но также выполняет функцию «подгона» для сосны и способствует очищению ее от сучьев. Преимущества смешанных сосново-еловых насаждений перед чистыми настолько очевидны, что, начиная со второй половины XIX в., производились опыты по созданию подпологовых культур ели и других теневыносливых пород в чистых сосняках. Эти опыты показали, что в условиях эдафического оптимума (C_2 – C_3) создание второго яруса ели является экономически выгодным. Запас второго яруса ели к возрасту спелости сосняка был тем больше, чем меньше была разница в возрасте между ними (Градецкас, 1970а; Градецкас, 1970б; Великотный, 1977).

В высокополнотных насаждениях основным лимитирующим фактором среды является свет, конкуренцией за который обусловлена восстановительно-возрастная динамика популяции ели в культурах сосны и последующее изменение структуры древостоя в целом. Относительно высокое плодородие почвы позволяет совместно произрастать светолюбивым и теневыносливым древесным видам. Ель восстанавливается под пологом культур сосны, осваивая, в основном, подпологовое пространство и образуя второй ярус в древостое. При этом под пологом древостоя освещенность может быть очень мала и достигать 1–2% от уровня открытого пространства (Алексеев, 1975; Цельникер, 1978). Для нормального роста ели в возрасте 7–8 лет достаточно 10–15%, а в большем возрасте – 20–30% полной освещенности открытого пространства (Градецкас, 1970а; Градецкас, 1970б; Алексеев, 1975; Великотный, 1977; Цельникер, 1978).

Естественное возобновление ели обусловлено фазами возрастного развития культур сосны, а также динамикой сомкнутости популяции ели в период ее формирования. Фаза смыкания культур завершается в 10-летнем возрасте. Высокая сомкнутость полога сохраняется примерно до

15–20-летнего возраста сосняка. В этот период может появляться большое число всходов ели. Однако значительная часть их отмирает под пологом сомкнутого древостоя. В фазе изреживания культур повышается освещенность под пологом сосняка, что способствует возобновлению ели (Николаев и др., 1997; Рубцов и др., 1999).

Вопросу целесообразности использования естественного восстановления популяции ели для создания сосново-еловых древостоев не уделялось должного внимания. Во многом это обусловлено слабой изученностью восстановительно-возрастной динамики ели под пологом культур сосны.

Цель нашей работы – изучить естественное восстановление популяции ели под пологом культур сосны (65–150 лет) в типичных для ели условиях произрастания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в Поречском лесничестве Можайского района Московской области в культурах сосны, созданных в 1862, 1891, 1924 и 1937 гг., на 4 постоянных пробных площадях (пр. пл.) 63Р, 1ГН, 1ГЛ и 2Н, площадью 0.70, 0.72, 0.63 и 0.54 га соответственно. Пробные площади расположены в точках с географическими координатами $55^\circ 42.17'$ с.ш.; $35^\circ 30.26'$ в.д. (пр. пл. 2Н), $55^\circ 44.45'$ с.ш.; $35^\circ 26.86'$ в.д. (пр. пл. 1ГЛ), $55^\circ 44.43'$ с.ш.; $35^\circ 28.25'$ в.д. (пр. пл. 1ГН) и $55^\circ 41.86'$ с.ш.; $35^\circ 30.99'$ в.д. (пр. пл. 63Р). Культуры созданы рядовой посадкой сеянцев сосны с расстояниями между рядами 2 м и между сеянцами 1 м. Густота посадки – 5 тыс. экз. га^{-1} . Почвы на объектах среднеподзолистые среднесуглинистые. Коренной тип леса – ельник кисличный, условия произрастания – C_3 . На пр. пл. 2Н и 1ГЛ были выполнены по 2 перечета с интервалом в 10 лет, на пр. пл. 1ГН – 1 перечет и на пр. пл. 63Р – 3 перечета. Биологический возраст сосны на момент проведения этих перечетов составлял 64 и 74 года на пр. пл. 2Н, 74 и 84 года на пр. пл. 1ГЛ, 122 года на пр. пл. 1ГН, 132, 142 и 152 г. на пр. пл. 63Р. При перечетах у всех деревьев измеряли диаметр и высоту, протяженность крон и картографировали их взаимное расположение. Деревья ели учитывали с высоты 0.1 м, у деревьев высотой меньше 1.5 м измеряли диаметр у шейки корня. На пр. пл. 1ГЛ при первом перечете и на пр. пл. 63Р при перечете в возрасте 152 года измеряли проекции крон, что позволило рассчитать объемы пространства, занятого кронами деревьев. Для ретроспективного изучения восстановления еловой популяции на пробных площадях была установ-

лена возрастная структура ели. На каждой пробной площади выделяли участки площадью около 0.2 га, где бурением у основания ствола (строго в сердцевину) определяли возраст каждой ели. Площадь этих участков определялась таким образом, чтобы на каждом из них было не менее 200 деревьев ели. На пр. пл. 1ГЛ у культур возрастом 74 года были взяты среднее модельное дерево сосны и 22 модельных дерева ели для изучения хода роста.

В древостое выделены ярусы (подъярусы) с использованием нормативов высоты, принятых в лесной таксации. Ко второму ярусу относили деревья, высота которых составляла 25–80% средней высоты первого яруса древостоя, образованного сосной. К подросту относили деревья, имеющие меньшую высоту, чем деревья второго яруса, но не ниже 0.1 м.

Первый ярус древостоев представлен высокополнотным (0.8) сосняком Ia класса бонитета с участием березы (*Betula pendula* Erth.) и ели (табл. 1). С возрастом доля ели в составе первого яруса значительно возрастает. На пр. пл. 2Н и 1ГЛ у культур возрастом 64–84 года вся ель в составе первого яруса (2–3%) относится к предварительной генерации. Возраст ее в год создания культур сосны был равен 2–6 годам. Во втором ярусе и подросте – ель, возобновившаяся под пологом сосняков. Преобладает ель, образующая второй ярус в древостоях. Доля ее в общей численности популяции ели составляет 62 и 87% соответственно в 74- и 84-летних сосняках. В культурах сосны этого возраста стволовой запас второго яруса ели составляет 13–22% от запаса первого яруса древостоя. На пр. пл. 1ГН и 63Р в возрасте 122–152 года доля ели в составе первого яруса изменяется от 13 до 25%. В целом доля стволового запаса ели в общем запасе насаждений увеличивается от 10% в возрасте 64 лет до 34% в возрасте 152 лет.

По лесоустроительным материалам прежних ревизионных периодов установлено, что в культурах сосны проводились рубки ухода: в возрасте культур 24 года – на пр. пл. 2Н и в возрасте 39 лет – на пр. пл. 1ГЛ, с выборкой по запасу первого яруса 15%. Достоверных данных о рубках ухода на пр. пл. 1ГН и 63Р нет. Вместе с тем в зоне относительно интенсивного лесного хозяйства рубки ухода проводились практически во всех лесных культурах. Насаждение на пр. пл. 63Р было создано К.Ф. Тюрмером, который практиковал интенсивные ухода в молодом возрасте культур. Вероятнее всего, такие ухода проводились и на пр. пл. 1ГН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Возрастная структура популяции ели под пологом культур

В анализе возрастной структуры еловой популяции использовали распределение численности деревьев по биологическому (Ae) и относительному (Ae_o) возрасту ели. Последний равен разнице между возрастом сосны (Ac) и возрастом особи ели, сохранившейся на момент учета деревьев на пробной площади. Показатель Ae_o позволяет в ретроспективе установить возраст культур сосны, в которых появилась ель. Этот возраст (Ae_o) определяет период возобновления ($ПВ$) с года создания лесных культур до появления всходов ели.

В 74- и 84-летних сосняках в популяции ели преобладают особи в возрасте соответственно 46–65 (70%) и 51–65 лет (75%) (табл. 2). Период возобновления их (с года создания культур сосны) равен 9–28 и 19–23 годам. Ель, появившаяся в первые 10 лет после создания культур, представлена незначительно. Также незначительно (до 10%) представлена ель, появившаяся в культурах старше 35 лет. В культурах сосны 122-летнего (пр. пл. 1ГН) и 152-летнего (пр. пл. 63Р) возраста преобладала ель соответственно 106–125 и 131–150 лет, возобновившаяся в первые 20 лет после создания культур. Вероятнее всего, значительная сохранность первой генерации естественного возобновления ели обусловлена высокой интенсивностью рубок ухода в молодом возрасте этих культур.

В распределении численности ели по периодам возобновления четко выражены пики в молодом возрасте культур сосны (рис. 1). В 74-летних культурах такой пик соответствует 22 годам, а в 84-летних – 30 годам. В еловой популяции, сохранившейся на момент перечета деревьев, значительно преобладает ель, появившаяся до рубок ухода: на пр. пл. 2Н – 75% и 1ГЛ – 90%. На пр. пл. 2Н уход был проведен в 24-летних культурах, что способствовало возобновлению ели: около 25% численности сохранившейся популяции представлено этой породой, появившейся после прореживания. Этим обусловлено постепенное снижение численности деревьев ели. На пр. пл. 1ГЛ прореживание древостоя было проведено в 39-летних культурах, т.е. после наиболее интенсивного естественного изреживания сосняка. Ель, появившаяся после этой рубки, представлена незначительно: около 10% в общей численности сохранившейся популяции.

На пр. пл. 1ГН и пр. пл. 63Р отчетливо выражены два пика естественного возобновления ели

Таблица 1. Характеристика насаждений на пробных площадях

Пробная площадь	Ас	Ярус	Состав, %	N, экз. га ⁻¹	Средние		M, м ³ га ⁻¹		
					D, см	H, м			
2Н	64	1	97С	609	27.9	27.1	491		
			3Е	13	32.6	26.7	13		
			ед. Б	2	38.2	27.0	3		
		2	98Е	867	10.7	10.8	44		
			2Б	20	11.2	16.0	1		
			подрост	100Е	1623	3.6	3.4	2	
	74	1	96С	485	30.9	30.7	526		
			3Е	11	30.0	34.8	15		
			1Б	2	31.6	39.8	4		
		2	99Е	769	14.7	13.3	91		
			1Б	11	14.0	18.5	1		
			подрост	100Е	463	3.8	3.9	1	
1ГЛ	74	1	91С	603	27.5	27.3	475		
			9Б	34	37.3	25.6	41		
			ед. Е	3	30.4	26.3	3		
		2	92Е	1121	10.8	11.1	61		
			8Б	16	23.1	17.5	5		
			подрост	100Е	816	5.1	3.9	1	
	84	1	95С	446	35.2	31.7	543		
			5Б	16	46.4	27.0	31		
			ед. Е	2	39.8	32.2	4		
		2	93Е	918	13.6	15.9	125		
			7Б	15	29.0	22.6	10		
			подрост	100Е	137	5.7	4.2	–	
1ГН	122	1	77С	221	41.1	35.5	462		
			14Б	40	42.7	34.0	83		
			9Е	38	35.9	32.1	57		
		2	94Е	294	18.7	19.1	81		
			6Б	11	22.5	25.7	5		
			подрост	100Е	625	2.0	2.0	0	
	63Р	132	1	86С	217	43.6	35.2	504	
				14Е	51	37.2	31.6	84	
				100Е	211	24.9	24.0	133	
		142	подрост	100Е	35	–	0.9	–	
				1	78С	181	46.9	36.5	497
				2	22Е	79	38.1	32.1	138
152	1	100Е	139	25.9	25.2	96			
		подрост	100Е	38	–	1.2	–		
		1	76С	163	49.5	36.8	500		
	2	24Е	89	39.2	32.1	163			
		100Е	111	27.8	26.9	95			
		подрост	100Е	35	1.6	1.7	–		

Примечание. Ас – возраст сосны; N – количество деревьев; D – диаметр; H – высота; M – запас. Формула древостоя: С – сосна; Е – ель; Б – береза.

в молодом возрасте культур. Первый сформирован елью, появившейся одновременно с сосной и в первые годы после ее посадки, а также предварительным возобновлением. Второй пик соответствует возрасту культур 15–20 лет. Подобное

распределение указывает на интенсивные уходы, проводившиеся в возрасте культур около 15 лет. Изреживание соснового полога в фазе максимальной сомкнутости крон позволило сохраниться первой волне елового возобновления, которая на

Таблица 2. Возрастная структура популяции и высота деревьев ели

Возрастные группы ели, лет	Доля в популяции ели, %	Высота ели, м			Доля в популяции ели, %	Высота ели, м			
		диапазон	амплитуда	средняя		диапазон	амплитуда	средняя	
пр. пл. 2Н, возраст сосны – 74 года					пр. пл. 1ГЛ, возраст сосны – 84 года				
11–15	0.5	1.2	0.0	1.2	–	–	–	–	
16–20	0.5	0.8	0.0	0.8	0.5	1.2	0.0	0.2	
21–25	–	–	–	–	0.5	2.1	0.0	2.1	
26–30	1.0	0.8–2.9	2.1	1.8	2.4	1.1–2.5	1.4	2.0	
31–35	3.4	1.3–4.3	3.0	2.9	1.4	1.2–3.5	2.3	2.2	
36–40	2.9	1.3–15.4	14.1	6.8	1.9	3.5–6.9	3.4	5.3	
41–45	8.3	2.8–16.7	13.9	6.1	2.9	1.2–16.7	15.5	7.4	
46–50	15.2	2.1–20.9	18.8	9.4	8.7	4.6–17.2	12.6	9.2	
51–55	23.0	4.9–20.1	15.2	11.6	22.7	6.1–20.7	14.6	13.2	
56–60	19.2	4.4–18.2	13.8	12.5	31.4	7.1–23.8	16.7	14.2	
61–65	12.3	6.1–20.7	14.6	14.1	20.4	7.8–24.2	16.4	15.4	
66–70	8.8	9.4–22.2	12.8	15.3	5.3	13.1–21.8	8.7	16.3	
71–75	3.9	16.7–21.0	4.3	19.0	1.4	12.1–18.0	5.9	14.6	
76–80	1.0	18.6–25.1	6.5	21.9	0.5	18.1	0.0	18.1	
Итого	100	0.8–25.1	24.3	11.4	100	1.1–24.2	23.1	13.0	
пр. пл. 1ГН, возраст сосны – 122 года					пр. пл. 63Р, возраст сосны – 152 года				
11–15	0.4	0.2	0.0	0.2	0.7	0.9	0	0.9	
16–20	0.4	0.8	0.0	0.8	4.4	0.8–2.5	1.7	1.6	
21–25	1.7	0.6–1.1	0.5	0.8	2.9	1.2–2.2	1.0	1.7	
26–30	3.8	0.8–1.5	0.7	1.1	2.2	1.2–2.0	0.8	1.7	
31–35	6.3	0.8–1.9	1.1	1.3	0.7	2.8	0.0	2.8	
36–40	2.5	1.1–2.3	1.2	1.5	0.7	1.7	0.0	1.7	
41–45	3.8	1.2–2.0	0.8	1.5	0.7	3.7	0.0	3.7	
46–50	5.1	1.4–4.4	3.0	2.4	–	–	–	–	
51–55	2.1	2.2–6.5	4.3	4.2	–	–	–	–	
56–60	0.8	2.3	0.0	2.3	–	–	–	–	
61–65	3.0	2.3–12.3	10.0	5.5	–	–	–	–	
66–70	3.4	3.1–9.4	6.3	5.2	–	–	–	–	
71–75	3.8	2.1–14.9	12.8	7.2	0.7	11.0	0.0	11.0	
76–80	0.4	7.0–13.0	6.0	10.0	–	–	–	–	
81–85	3.0	6.0–16.4	10.4	9.5	–	–	–	–	
86–90	1.3	5.3–13.4	8.1	9.8	–	–	–	–	
91–95	4.2	7.9–15.2	7.3	11.8	0.7	10.1	0.0	10.1	
96–100	1.7	12.6–17.2	4.6	14.4	0.7	32.9	0.0	32.9	
101–105	6.3	8.1–25.2	17.1	16.0	2.2	23.9–34.0	10.1	28.9	
106–110	10.1	10.1–23.1	13.0	19.7	0.7	16.3	0.0	16.3	
111–115	7.6	13.7–31.8	18.1	22.6	2.2	23.0–29.2	6.2	26.5	
116–120	11.4	8.2–38.0	29.8	24.0	5.8	16.9–31.6	14.7	25.7	
121–125	15.2	18.1–36.3	18.2	26.9	5.8	18.9–28.8	9.9	23.8	
126–130	1.7	18.0–26.3	8.3	23.5	7.2	22.8–30.5	7.7	26.5	
131–135	–	–	–	–	15.2	21.2–36.1	14.9	29.4	
136–140	–	–	–	–	9.4	17.6–41.1	23.5	29.1	
141–145	–	–	–	–	8.0	26.1–38.2	12.1	30.2	
146–150	–	–	–	–	16.0	22.0–36.0	14.0	30.7	
151–155	–	–	–	–	8.7	26.8–38.6	11.8	31.3	
156–160	–	–	–	–	4.4	30.4–37.3	6.9	33.5	
Итого	100	0.2–38.0	37.8	14.1	100	0.8–41.1	40.3	25.4	

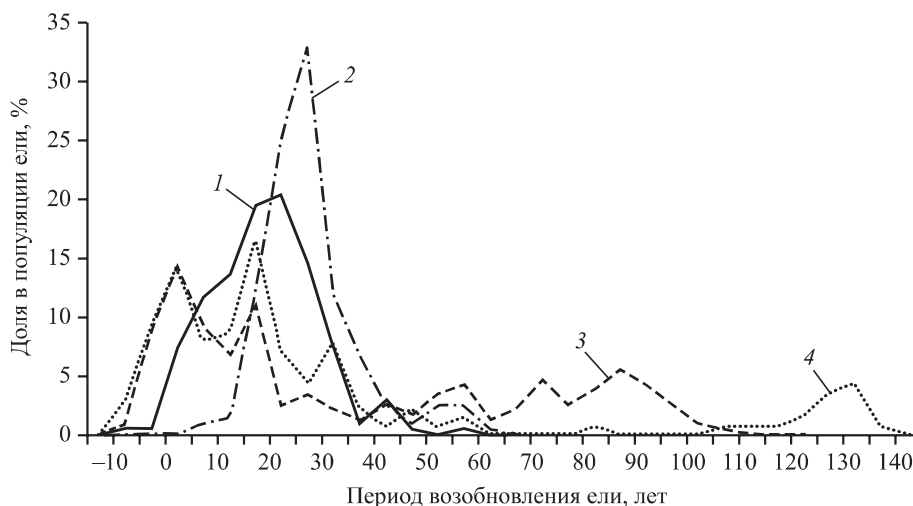


Рис. 1. Распределение деревьев ели по периоду возобновления в культурах сосны возрастом 74 (1), 84 (2), 122 (3) и 152 (4) года.

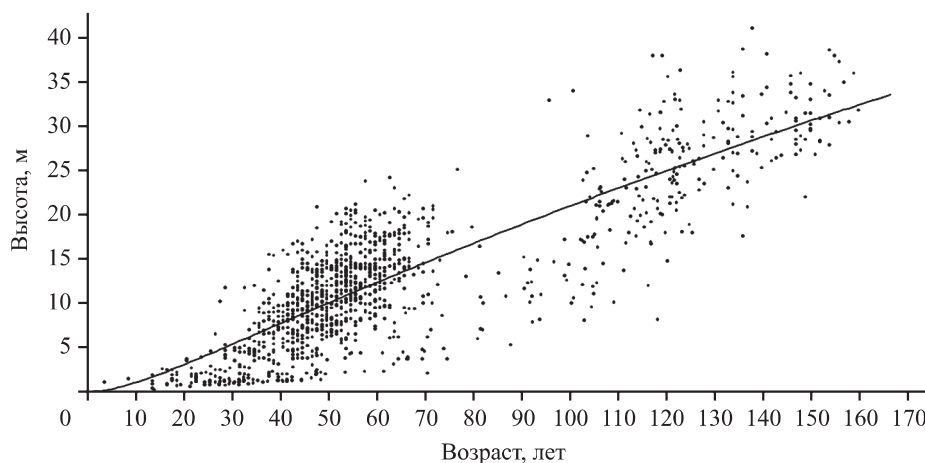


Рис. 2. Изменение высоты деревьев ели в зависимости от их возраста:

$H = 102.91 \cdot (1 + (0.0025 \cdot \exp(-0.107 \cdot A) - 0.12 \cdot \exp(-0.0025 \cdot A))) / 0.105$, где H – высота, A – возраст деревьев ели; $r^2 = 0.76$; $Fst = 4.2$.

пр. пл. 2Н и 1ГЛ по большей части усохла. Так же как и в более молодых культурах, ель с периодом возобновления более 30 лет в культурах сосны 122 и 152 лет представлена незначительно (табл. 2).

Отмеченные особенности возрастной структуры ели определяют очень большой диапазон ее возраста (10–160 лет), который обусловлен разным периодом возобновления ели в процессе формирования древостоя. Это определяется пространственной и временной неравномерностью изреживания популяций сосны и ели, и, отчасти, участием березы в составе древостоя. В результате локально создаются микроусловия, в которых ель находится на разных стадиях развития: возобновления, формирования подроста или второго яруса, что обуславливает гетерогенность

пространственной и вертикальной структур древостоя.

Вследствие значительной неоднородности локальных микроусловий, в которых развивается естественное возобновление, для ели одного возраста характерна значительная дифференциация по высоте (табл. 2). Наибольший диапазон высот наблюдается в возрастных группах с периодом возобновления 0–40 лет. В некоторых случаях различия по высоте ели в пределах 5-летних возрастных групп составляли 23.5 м на пр. пл. 63Р, 29.8 м – на пр. пл. 1ГН, 16.7 м – на пр. пл. 1ГЛ и 18.8 м – на пр. пл. 2Н. Вместе с тем во всех случаях в широких возрастных диапазонах встречаются деревья различного возраста, имеющие одинаковую высоту. Так, в 74-летних культурах сосны в возрастном диапазоне ели 35–65 лет деревья с высо-

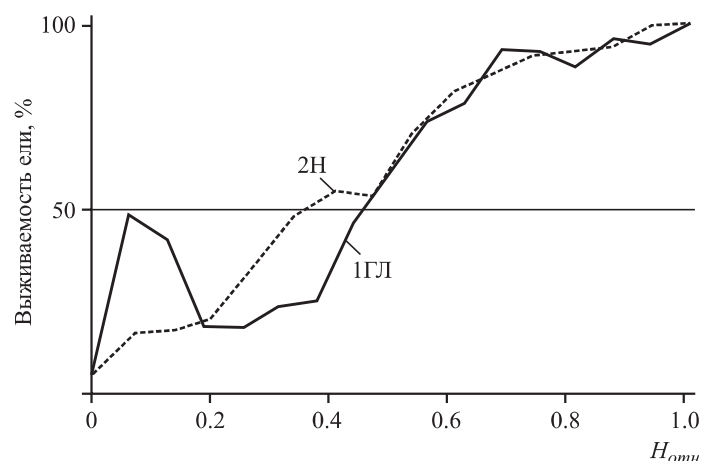


Рис. 3. Выживаемость деревьев ели за последний 10-летний период в связи с их относительной высотой ($H_{омн}$) в 74- и 84-летних культурах сосны. 1 — пр. пл. 2Н; 2 — пр. пл. 1ГЛ.

той 6–15 м представлены во всех 5-летних группах. В 84-летних культурах сосны в возрастном диапазоне ели 40–65 лет представлены деревья с высотой 7–16 м. Аналогичная закономерность отмечается и в возрасте 122 и 152 года на пр. пл. 1ГН и 63Р, при этом ель предварительного возобновления, имеющая наибольший возраст, может уступать по высоте деревьям с периодом возобновления 0–15 лет. Объясняется это тем, что рост каждого дерева ели существенно определяется локальными условиями (прежде всего, световым режимом), в которых дерево произрастает. Ель, появившаяся раньше, но росшая в худших условиях, растет медленнее, чем ель, появившаяся позже, но росшая в лучших условиях.

Зависимость высоты деревьев ели от возраста, полученная для всего возрастного ряда на всех пробных площадях, имеет тесноту связи 0.76 (рис. 2). Вместе с тем стандартная ошибка расчетной высоты значительна и равна ± 4.2 м. По характеру распределения измеренных значений высот деревьев видно, что до возраста 25–30 лет различия по высоте у ели невелики. Однако после 30-летнего возраста происходит резкая дифференциация, и к возрасту 50–60 лет деревья одного возраста могут различаться по высоте более чем на 20 м. Возраст некоторых наиболее отставших в росте деревьев, высота которых не превышает 5 м, составляет 70–80 лет. Это предельный возраст, которого достигают особи ели с неполным онтогенезом под пологом культур.

2. Динамика численности популяции ели под пологом

Наиболее интенсивный отпад деревьев в подросте происходит в период формирования второго яруса в древостое. За 10-летний период

между двумя перекурами на пр. пл. 2Н и 1ГЛ отмечено значительное снижение численности ели (табл. 1). В целом отпад деревьев ели составлял 1.26 тыс. экз. га^{-1} , или 50% — на пр. пл. 2Н и 0.88 тыс. экз. га^{-1} , или 45% — на пр. пл. 1ГЛ. При этом преобладающая часть отмерших деревьев была сосредоточена в подросте: соответственно 92 и 77%. Более интенсивный отпад ели за 10-летний период на пр. пл. 2Н обусловлен большей плотностью популяции ели в начале этого периода (2.5 тыс. экз. га^{-1}) и преобладанием в ней (65%) подраста.

После формирования второго яруса и усыхания отставшего в росте подраста отпад деревьев ели становится незначительным. За период между перекурами в возрасте 132–142 и 142–152 года на пр. пл. 63Р суммарный отпад ели первого и второго ярусов составил соответственно 44 и 18 деревьев. Подрост был представлен отдельными экземплярами ели, возраст которой не превышал 40 лет и в среднем составлял 22 года. Численность подраста за указанные периоды оставалась неизменной.

По мере увеличения высоты деревьев возрастает вероятность их выживания. В связи с этим был проведен анализ выживаемости ели в зависимости от ее относительной высоты ($H_{омн}$) за 10-летний период между наблюдениями в интервале возраста культур 64–74 лет на пр. пл. 1ГЛ и 74–84 лет — на пр. пл. 2Н. $H_{омн}$ определялась отношением абсолютной высоты деревьев к средней высоте ели во 2-м ярусе древостоя. С увеличением $H_{омн}$ выживаемость ели повышается (рис. 3). Так, при $H_{омн}$ меньше 0.4 (ей соответствовала высота 6 м — на пр. пл. 2Н и 7.5 м — на пр. пл. 1ГЛ) за 10-летний период выживаемость ели

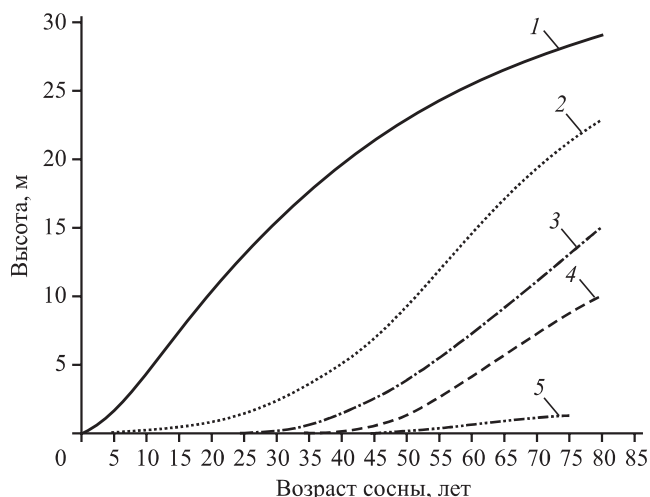


Рис. 4. Совместный рост в высоту культур сосны (1) и ели с периодом возобновления 5 лет (2), 25 (3), 35 (4) и 45 (5) лет после создания культур (по модельным деревьям).

была меньше 50%. При $H_{отт}$ больше 0.7 выживаемость ели за этот период превышала 90%. Гибель отдельных лидирующих деревьев, как правило, была обусловлена падением (ветровалом) деревьев сосны. Некоторый всплеск выживаемости ели с относительной высотой 0.1–0.2 на пр. пл. 1ГЛ обусловлен возобновлением ели следующей генерации, возраст которой составлял 16–35 лет. Однако выживаемость этой ели была ниже 50%. В 70–80-летних культурах сосны создаются условия для появления ели следующей генерации. Размещение ее имеет куртинный характер.

3. Рост ели под пологом

На рост ели влияет период ее возобновления (ПВ) под пологом культур сосны. Характер этого влияния отражает ход роста модельных деревьев, взятых в 74-летних культурах сосны на пр. пл. 1ГЛ. Модельные деревья были сгруппирова-

ны по ПВ: 5, 25, 35 и 45 лет с года создания культур. Ель с ПВ 5 лет в популяции представлена незначительно. Она появилась в период смыкания культур сосны до массового возобновления ели. Этим обусловлен наиболее интенсивный рост ели с периодом возобновления 5 лет. В 74-летнем сосняке ее высота составляла 21 м и была на 6.4 м (23%) меньше средней высоты сосны в первом ярусе древостоя (рис. 4). Максимальный текущий прирост у ели с ПВ 5 лет был в 45–50-летнем возрасте (табл. 3). Возраст сосны (A_c) в этот период 50–55 лет. Ель с периодом возобновления 25 лет, как правило, лидирует во втором ярусе древостоя. Ее высота в 74-летнем сосняке составляла 12.7 м и была на 8.3 м (40%) меньше высоты ели с ПВ 5 лет. Максимальный прирост в высоту ели с ПВ 25 лет был в 70–74-летнем сосняке. На рост ели с периодом возобновления 35 лет оказывает влияние полог сосны и ели, появившейся раньше. Максимальный прирост ели с ПВ 35 лет меньше и наступает раньше (в 30–35 лет), чем у ели с периодом возобновления 5 и 25 лет. В 74-летних культурах высота ели с ПВ 35 лет составляла 8.5 м, что на 4.2 м (33%) меньше высоты ели с ПВ 25 лет. Ель, появившаяся через 45 лет после создания культур сосны, оказывается в худших световых условиях, так как затеняется многими деревьями ели, возобновившимися раньше. Этим определяется очень слабый рост ели с ПВ 45 лет в течение длительного периода. Максимальный прирост этой ели очень мал (4 см год⁻¹) и наступает уже в 15–20 лет (табл. 3). Высота ее в 74-летнем сосняке достигала в среднем всего 1.2 м и была на 7.3 м (86%) меньше высоты ели с ПВ 35 лет (рис. 4). Отметим, что здесь мы приводим средние данные по отдельным модельным деревьям, чтобы показать характер влияния периода возобновления ели на ее рост. Естественно, что рост ели с одинаковым периодом возобновления, но в разных локальных условиях освещенно-

Таблица 3. Текущий среднепериодический прирост в высоту ели с разным периодом ее возобновления (ПВ) под пологом 74-летних культур сосны (по модельным деревьям)

A_c ,* лет	Zh (см · год ⁻¹), при ПВ, лет				A_c , лет	Zh (см · год ⁻¹), при ПВ, лет			
	5	25	35	45		5	25	35	45
10	4.0	—	—	—	45	31.8	18.6	6.2	—
15	4.6	—	—	—	50	34.9	22.5	13.9	2.4
20	6.9	—	—	—	55	34.7	25.6	21.1	3.6
25	10.3	—	—	—	60	31.2	28.1	25.4	4.4
30	14.8	1.1	—	—	65	25.7	30.0	25.6	4.7
35	20.4	7.7	—	—	70	19.6	31.4	25.4	3.3
40	26.5	13.7	2.0	—	74	14.1	32.3	24.0	2.5

Примечание. A_c — возраст сосны; Zh — текущий среднепериодический прирост.

сти может изменяться. Это особенно характерно для ели, подселившейся в период наиболее интенсивного изреживания культур сосны в 20–45-летнем возрасте.

Популяция ели на всех пробных площадях характеризуется значительной дифференциацией высоты деревьев. Амплитуда высоты ели составила от 23 м на пр. пл. 1ГЛ в возрасте 84 года до 40 м на пр. пл. 63Р в возрасте 152 года. Средняя высота еловой популяции изменялась от 11 м на пр. пл. 2Н до 25 м на пр. пл. 63Р (табл. 2).

Режим затенения, создаваемый деревьями, определяется размерами и структурой их крон. В 74-летних культурах сосны на пр. пл. 1ГЛ был рассчитан объем пространства, занятого кронами (V_k). Расчет производили по формуле конуса, основание которого равно площади проекции кроны, а высота – ее протяженности. После выполнения расчетов для каждого измеренного дерева провели статистическую обработку результатов для определения аллометрической зависимости объема, занятого кроной, от высоты дерева. Аппроксимирующая кривая имеет вид $V_k = (0.815 + 0.079h^{1.5})^2$, $r^2 = 0.70$. В популяции ели наиболее представлены деревья, имеющие высоту 4–12 м. Однако максимальный суммарный объем пространства, занятого кронами, имеют деревья высотой 10–16 м. В целом 30% наиболее высоких деревьев ели имели суммарный V_k около 71%. Эти деревья лучше освещены и, вместе с тем, их кроны создают максимальное затенение деревьев, имеющих меньшую высоту.

Для определения степени затенения деревьев на различной высоте был рассчитан суммарный V_k ели для слоев толщиной 1 м на различной высоте от поверхности почвы и относительный объем пространства, занятого кронами, для каждого слоя ($V_k^{отно}$, %), равный отношению V_k к объему слоя. Под пологом 74-летних культур сосны кроны ели наиболее плотно размещены на высоте от 4 до 8 м от поверхности почвы. На этой высоте значения V_k составляют от 21 до 32% от объема каждого слоя толщиной 1 м. В относительном выражении наибольшая представленность крон деревьев ели наблюдается на высоте, равной 0.4–0.7 средней высоты деревьев ели второго яруса (рис. 5). Здесь расположены основания крон значительной части лидирующих деревьев ели, которые имеют наибольшие значения V_k .

Условия освещенности под пологом в значительной степени определяются наклонным падением солнечного света (Николаев, 2001; Лебедев, Чумаченко, 2002). В районе исследований максимальная высота стояния солнца над горизонтом

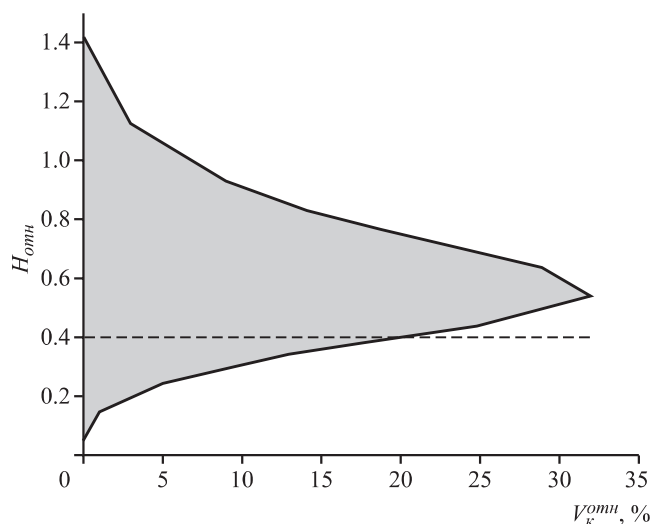


Рис. 5. Распределение объема пространства ($V_k^{отно}$), занятого кронами ели, по относительной высоте деревьев ($H_{отно}$) под пологом 74-летних культур сосны (пр. пл. 1ГЛ). Линией отмечена $H_{отно} = 0.4$, соответствующая 50%-ной выживаемости ели за 10-летний период между перекурами деревьев.

равна 57.7° в астрономический полдень в день летнего солнцестояния. При этом площадь тени, которую отбрасывает крона дерева, может более чем в 2 раза превышать площадь проекции кроны. На пр. пл. 1ГЛ расчетная площадь тени составила в среднем 1.45 от площади проекции крон деревьев при максимальной высоте стояния солнца. В другое время это соотношение увеличивается пропорционально уменьшению угла стояния солнца над горизонтом. Таким образом, на высоте 0.4–0.7 средней высоты второго яруса ели образуется своего рода “экран”, под который прямой солнечный свет почти не проникает. Деревья, имеющие меньшую высоту, освещаются преимущественно рассеянным и диффузным светом, прошедшим через кроны сосны и лидирующих деревьев ели. По данным Ю.Л. Цельникер, подросту ели для выживания в течение длительного периода достаточно 5–7% освещенности от уровня открытого пространства. Полог сомкнутого древостоя может значительно снижать освещенность, прежде всего, в диапазоне частот физиологически активной радиации, уровень которой может достигать всего 1–2% от освещенности открытого пространства. Даже при такой освещенности продолжительность жизни скелетных ветвей первого и второго порядка может достигать 13–15 лет (Цельникер, 1978, 1995). Однако такого уровня освещенности не хватает для нормального роста дерева, вследствие чего большая часть отставших в росте елей обречена на постепенное отмирание. Вероятность выжить и вырасти для таких деревьев появляется только в результате

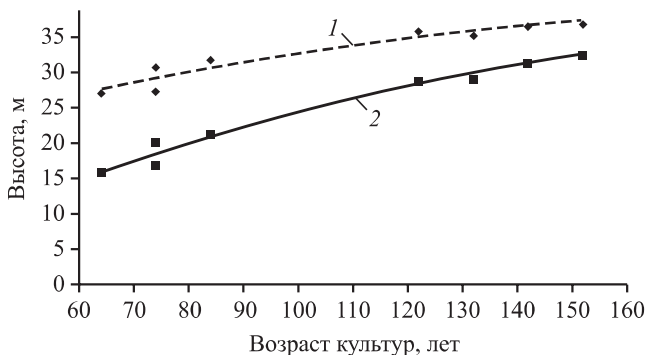


Рис. 6. Динамика изменения высоты сосны (1) и лидирующей части еловой популяции (2).

изменения локальных условий освещенности, вызванных гибелью сосны или относительно высоких деревьев ели во втором ярусе древостоя.

Перспективу развития подпологовой популяции ели, главным образом, отражают характеристики лидирующих деревьев, испытывающих затенение только сосновым пологом. Верхняя высота ели, рассчитанная для 100 наиболее крупных деревьев последующей генерации на 1 га, с возрастом увеличивается быстрее, чем средняя высота соснового полога (табл. 4, рис. 6). Относительная высота лидирующей части еловой популяции, рассчитанная как отношение верхней высоты ели к средней высоте сосны, в возрасте 64 лет составила 0.59, тогда как к возрасту 152 лет она увеличилась до 0.88. К возрасту культур сосны 80–100 лет единичные деревья ели последующего возобновления внедряются в первый ярус, в дальнейшем доля ели в составе яруса неуклонно увеличивается. В возрасте 120–130 лет относительная высота превышает уровень 0.8, значительная часть лидирующей ели выходит в первый ярус, к возрасту 122–132 лет доля ели в запасе

первого яруса составляет 10–15%, к 152 годам — около четверти.

Выводы. 1. В культурах сосны, созданных в условиях C_3 , успешно восстанавливается ель. Формирование ее популяции обусловлено в основном елью, возобновившейся в период интенсивного изреживания древостоя сосны в возрасте 20–40 лет.

2. Ускорить восстановление ели можно своевременным проведением рубок ухода в культурах сосны. Первый прием их целесообразно проводить в 15–20-летних сосняках, что будет способствовать повышению роста сосны и возобновлению ели.

3. Выживаемость и рост ели определяются периодом ее возобновления с года создания культур и локальными условиями, в основном световым режимом, которые создаются в результате неоднородного изреживания полога сосны и ели.

4. Под пологом культур сосны световой режим существенно обусловлен объемом пространства, занятого кронами ели. В 70–80-летних культурах насыщенность этого пространства кронами елей особенно велика на относительной высоте, равной 0.4–0.7 средней высоты ели во втором ярусе древостоя.

5. При нормальном развитии процесса восстановления еловой популяции под пологом 80-летних культур сосны формируется второй еловый ярус, стволовой запас которого составляет 20–25% от запаса первого яруса. К возрасту 150 лет запас ели, возобновившейся под пологом культур сосны, достигает трети от общего запаса насаждения. В типичных для ели условиях произрастания (C_3) по устойчивости и производительности сосново-еловые насаждения превосходят чистые культуры ели.

6. Целесообразность использования естественного восстановления ели для создания сосново-

Таблица 4. Динамика роста по диаметру и высоте культур сосны и лидирующей части возобновившейся под их пологом ели

Пробная площадь	Возраст на момент перечета, лет	Сосна		Лидирующая часть ели		
		D , см	H_c , м	D , см	H_{ee} , м	Относительная высота (H_{ee}/H_c)
2Н	64	27.9	27.1	16.6	15.9	0.59
2Н	74	30.9	30.7	19.2	20.2	0.66
1ГЛ	74	27.5	27.3	15.6	16.8	0.62
1ГЛ	84	35.2	31.7	19.4	21.3	0.67
1ГН	122	41.1	35.8	31.3	28.7	0.80
63Р	132	43.6	35.2	34.1	29.0	0.82
63Р	142	46.9	36.5	36.8	31.3	0.86
63Р	152	49.5	36.8	38.4	32.4	0.88

Примечание. H_c — средняя высота сосны; H_{ee} — верхняя высота ели; H_{ee}/H_c — относительная высота ели.

еловых насаждений в условиях C_3 должна обосновываться с учетом целевого назначения лесов, установленных возрастов рубки, возможности создания культур и проведения рубок ухода в соответствии с установленными правилами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев В.А. Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 228 с.

Великотный А.А. Рост и формирование елового яруса под пологом сосновых древостоев // Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами. М.: ВНИИЛМ, 1977. С. 94–111.

Градецкас А.И. Повышение продуктивности сосновых насаждений // Лесн. хоз-во. 1970а. № 1. С. 22–29.

Градецкас А.И. Создание второго яруса из ели и других теневыносливых пород в сосняках // Тр. ЛитНИИ лесн. хоз-ва. Вильнюс, 1970б. Т. 13. С. 5–21.

Лебедев С.В., Чумаченко С.И. Динамическая модель разновозрастного многовидового лесного ценоза: моделирование светового режима под пологом / Науч. тр. Московского гос. университета леса. 2002. Вып. 318. С. 111–118.

Николаев Д.К., Гурцев А.И., Рубцов М.В. Динамика возобновления ели в культурах сосны // Лесоведение. 1997. № 6. С. 30–36.

Николаев Д.К. Влияние неоднородности верхнего полога культур сосны на пространственную структуру подроста ели // Лесоведение. 2001. № 3. С. 31–37.

Носова Л.М. Особенности видового и структурного разнообразия искусственных насаждений сосны на суглинистых дерново-подзолистых почвах // Известия АН. Серия биологическая. 2001. № 4. С. 492–498.

Рубцов М.В., Мерзленко М.Д. Лесные культуры К.Ф. Тюрмера. М.: ЦБНТИлесхоз, 1975. 42 с.

Рубцов М.В., Николаев Д.К., Глазунов Ю.Б. Уникальный лесокультурный опыт Поречья. М.: ВНИИЦ-лесресурс, 1997. Вып. 9. 42 с.

Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Львов Ю.Г. Формирование естественных ельников под пологом культур сосны на суглинистых почвах // Лесоведение. 1999. № 3. С. 30–37.

Тимофеев В.П. Второй ярус как условие повышения устойчивости и продуктивности сосновых насаждений // Лесн. хоз-во. 1974. № 2. С. 17–24.

Цельникер Ю.Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 215 с.

Цельникер Ю.Л. Влияние интенсивности света на параметры структуры кроны ели // Лесоведение. 1995. № 5. С. 73–78.

REGENERATIVE DYNAMICS OF SPRUCE IN PINE PLANTATIONS IN CONDITIONS TYPICAL FOR SPRUCE FORESTS

Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K.

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences
Sovetskaya st. 21, Uspenskoe village, Odintsovsky District, Moscow Oblast, 143030*

E-mail: root@ilan.ras.ru

Received 11 january 2016

We studied the regeneration of spruce (*Picea abies* L.) under canopy of pine plantations (*Pinus sylvestris* L.) on loamy soils. Survival rate and growth of spruce were controlled by the time of regeneration since plantation initiation and local conditions as a result of irregular opening-up of pine and spruce. Spruce population was formed of species regenerated during intensive destruction of pine stand at age of 20–40 years old. Timely thinning of pine plantations could accelerate regeneration of spruce. The first round in 15–20 years old pine forests would have enhanced the growth of pine and regeneration of spruce. Given the usual development of regeneration of spruce, the growing stock of the second story formed of spruce reached 20–25% of the first story of pines in the 80 years old plantations. After the second story formation in the stand, the light regime under pine canopy was controlled by the volume of spruce crowns. Filling of the space below canopy was especially high at height of 0.4–0.7 of the mean spruce height in the second story. Lower spruces could survive for long time. However they died at saplings stage because of inability for normal development. At an age of 150 years the growing stock of spruce regenerated under canopy of pine plantations reached one third of the total forest stock. We show sustainability and productivity of pine and spruce forests exceed spruce plantations at forest sites typical for spruce growth (C_3). Decision on taking advantage of natural regeneration of spruce in pine and spruce forests in C_3 conditions should be based on the purpose of forest planting, prerequisite cutting age, and ability to create plantation and performing thinning following the guidelines.

Pine plantation, subordinate spruce population, regeneration, age and vertical structure, Pinus sylvestris, Picea abies.