

УДК 582.475.2:581.522.68

СЕЗОННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛЕСА В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ

© 2019 г. И. Т. Кищенко*

Петрозаводский государственный университет
Россия, 185910, Петрозаводск, просп. Ленина, 33

*E-mail: ivanki@karelia.ru

Поступила в редакцию 18.01.2016 г.

После доработки 31.03.2018 г.

Принята к публикации 08.10.2018 г.

Исследования проводились в южной Карелии (средняя тайга). Рост *Pinus sylvestris* изучали в средневозрастных древостоях разных типов леса в течение трех лет. Установлено, что формирование надземных вегетативных органов *Pinus sylvestris* начинается в мае, причем в оптимальных условиях — на 4–7 сут раньше. Кульминация прироста побегов, ветвей и стволов отмечается в середине июня, хвои — в конце июля. Ростовые процессы в надземной части древостоев прекращаются в августе, в лучших условиях роста — на 3–7 сут позже. В зависимости от типа леса продолжительность роста составляет: побеги — 69–80 сут, хвоя — 83–96, ветви — 75–85, стволы — 59–75 сут. В лучших почвенно-грунтовых условиях интенсивность формирования надземной фитомассы заметно выше. Так, в сосняке черничном величина максимального суточного прироста биомассы побегов и ветвей, хвои, стволов и всей надземной части достигает соответственно 30, 24, 101 и 141 кг, га⁻¹, а в сосняке багульниково-сфагновом — 12, 17, 40 и 69 кг, га⁻¹. Из всех вегетативных органов дерева наиболее интенсивным накоплением биомассы отличается ствол. Его максимальный суточный прирост в изученных типах леса достигает 40–101 кг, га⁻¹, а побегов и ветвей суммарно, а также хвои — соответственно 21–30 и 16–24 кг, га⁻¹. Увеличение продолжительности и, главным образом, интенсивности ростовых процессов в сравнительно более продуктивных типах леса обеспечивает формирование и большей фитомассы годичного прироста древостоев. По сравнению с сосняком черничным в сосняке брусничном годичный прирост фитомассы всего древостоя меньше на 20%, побегов и ветвей — на 25, хвои — на 11, стволов — на 23, а в сосняке багульниково-сфагновом — соответственно на 40, 37, 26 и 54%.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, рост, фитомасса, побеги, ветви, хвоя, стволы, типы леса.

DOI: 10.1134/S002411481901008X

Главным лесообразующим видом в Карелии является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), древостои которой занимают более половины лесопокрываемой площади. Сосновые леса играют исключительно важную средообразующую роль и дают высококачественную древесину. Между тем эти ценные леса в результате интенсивных рубок довольно быстро истощаются. В связи с этим решение проблемы повышения продуктивности, устойчивости и рационального их использования становится все более актуальным. Разработка эффективных мероприятий по повышению продуктивности лесов возможна только на основе глубоких знаний о ходе формирования прироста древесины ствола и фитомассы других вегетативных органов (Micola, 1950; Ladefoged, 1952; Молчанов, 1970; Острошенко, 1991; Левкина, 1996; Забуга В., Забуга Г., 2007а; Кокорина с соавт., 2016).

Поэтому изучение сезонного роста лесообразующих видов растений с учетом их эколого-биологических особенностей становится совершенно необходимым.

Целью исследований являлось изучение особенностей формирования надземной фитомассы сосновых древостоев на протяжении вегетационного периода в разных типах леса.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в южной Карелии (62°13' с.ш. и 34°10' в.д.). Согласно лесорастительному районированию Карелии (Яковлев, Воронова, 1959), объекты исследований расположены в средней подзоне тайги в округе сосново-еловых лесов северного Заонежья. Рост *Pinus sylvestris* изучали в смешанных по составу средневозраст-

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев*

Тип леса	Возраст, лет	Состав пород	Высота стволов, м	Диаметр стволов, см	Число стволов на 1 га	Полнота	Запас, м ³	Текущий прирост, м ³	Класс бонитета
Сосняк брусничный	55	9С 1Б	13.0	13.4	1482	0.82	144	5.7	III.3
С. черничный свежий	60	9С 1Б	15.9	18.0	1068	0.85	194	7.3	II.7
С. куст.-долго-мошный	65	8С 2Б	11.5	11.4	2216	0.80	118	4.3	IV.4
С. багульник.-сфагновый	66	9С 1Б	11.0	10.8	2120	0.77	108	3.4	IV.7

Примечание * — по данным Казиминова Н.И. с соавт. (1977).

ных естественных древостоях разных типов леса (сосняк брусничный, сосняк черничный свежий, сосняк кустарничково-долгомошный и сосняк багульниково-сфагновый) (табл. 1).

В южной Карелии пробные площади прямоугольной формы (30 × 80 м) расположены на ровном участке с небольшим уклоном в сторону озера и представляют собой непрерывный экологический ряд по увлажнению почвы с залеганием грунтовых вод от 0.3 до 2.2 м. Различия в глубине залегания грунтовых вод определяют неодинаковую влажность почвы, что отражается на продуктивности древостоев, морфологии и видовом составе фитоценозов.

Все пробные площади экологического ряда приурочены к тектонической впадине, заполненной флювио-гляциальными и озерными отложениями. Почвы по механическому составу относятся к песчаным. Пески хорошо сортированы и содержат мало крупнозема, пылеватых и илистых частиц. Почвы характеризуются кислой реакцией среды (Казимиров с соавт., 1977). Особенно кислыми являются избыточно увлажненные почвы в сосняке кустарничково-долгомошном и сосняке багульниково-сфагновом. Эти почвы, в отличие от сосняка брусничного и сосняка черничного, имеют низкую степень насыщенности основаниями (22–47%). По мере увеличения увлажнения почвы в ней возрастает количество органического вещества. Содержание азота находится в прямой зависимости от запаса гумуса, в минеральных горизонтах его содержится 0.01–0.10%. Почвы отличаются низким содержанием подвижных соединений калия и фосфора.

Закладку пробных площадей проводили по общепринятым методикам (Дылис, 1974). В каждом типе леса заложено по одной пробной площади, на каждой из которых выбирали по 20 учетных деревьев 2–3 классов роста и развития (по Крафту).

При помощи секатора из средней части кроны (с западной стороны на высоте около 6–7 м) у каждого учетного дерева срезали конец ветви вто-

рого порядка таким образом, чтобы в образце оказался побег, а также часть стебля 2-го года. Наблюдения за ростом побегов (стеблей и хвои 1-го года) по длине и массе проводили по методике А.А. Молчанова и В.В. Смирнова (1967) с момента набухания вегетативных почек (май) до полного прекращения роста хвои (август) через каждые 5 суток.

Для изучения сезонного радиального прироста древесины ствола у каждого учетного дерева отбирали образцы древесины через 5 сут после начала деятельности камбия по методике А.А. Молчанова и В.В. Смирнова (1967). У ствола на высоте 1.3 м вырезают (начиная с его западной стороны) фрагмент тканей ствола, включающий кору и древесину (образец). Для этого на исследуемой части ствола при помощи струга снимают корку и (или) пробку, стараясь не повредить нижележащие ткани коры. Скальпелем делают два параллельных надреза длиной 1.5 см на расстоянии около 0.5 см друг от друга на глубину не менее двух годичных слоев. Затем участки коры между ними перерезают сверху и снизу двумя параллельными надрезами через 2 мм и вынимают кусочки коры. После этого стамеской (ширина лезвия 5 мм) делают зарубки на этих местах на глубину, чуть меньшую, чем два первых параллельных надреза. При помощи стамески вынимают высечку (ее размеры 1 × 0.5 см, 0.5 см²), стараясь не отделять кору от древесины. Высечки из ствола берут по воображаемой спирали — снизу вверх, и слева направо с его западной части. Между углублениями от взятых участков древесины должны оставаться ненарушенные участки ствола шириной около 1 см. Для изучения формирования радиального прироста древесины ветвей образцы отбирали аналогичным способом.

Препараты древесины готовили для просмотра при помощи микротомы GRANUM-202 (Яценко-Хмелевский, 1954). Ширину слоя древесины текущего года измеряли в трех местах (начиная от камбиальной зоны до зоны поздней древесины

прошлого года) с точностью до 1 мкм, используя микроскоп МБМ с микрометром МОВ-1 $\times$ 15.

Объем выборки по каждому сроку наблюдений (на каждой пробной площади) составлял по 20 образцов ветвей и по 20 фрагментов древесины. Величину суточного прироста вегетативных органов определяли как разницу в величине показателей между последующим и предшествующим наблюдениями, деленную на число суток этого периода.

Наблюдения за сезонным ростом побегов, хвои и стволов проводили в 1973–1976 гг. По их результатам опубликованы работы, посвященные сезонному росту отдельных вегетативных органов по длине, массе (побеги и хвоя) и радиусу (ветви и ствол) под влиянием различных экологических факторов. Для перехода к сезонному формированию фитомассы отдельных частей древостоя эти данные были вновь проанализированы. Для этого использовали следующий методический прием. Прежде всего, показатели хода роста побегов, хвои, ветвей и стволов, полученные в абсолютных единицах, переводили в относительные величины, приняв их годичный прирост за 100%. Полученные таким образом данные за три года усредняли. Используя их, показатели текущего годичного прироста древостоев и его частей (полученные на тех же пробных площадях и в то же время Н.И. Казимировым с соавт. (1977), а также соответствующее уравнение регрессии, рассчитали ход сезонного формирования надземной части фитомассы древостоя и его частей (в кг, га⁻¹).

При обработке экспериментального материала применяли методы, предложенные Г.Н. Зайцевым (1984). Для математической обработки данных использовали приложение MS Excel из пакета офисных программ компании Microsoft MS Office. Математический анализ экспериментальных данных осуществляли в четыре этапа. Вначале проводили статистический анализ с целью определения средней арифметической величины варьирующего признака, степени его варьирования и показателя точности. Затем, исходя из поставленных задач, оценивали достоверность различия однородных признаков. После этого, если распределение вариантов в вариационном ряду отвечало закону нормального распределения случайных величин, проводили регрессионный анализ. Результаты математических анализов оценивали по 5%-му уровню значимости, используя для этого табличные значения соответствующего критерия достоверности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние погодных условий на годичный прирост вегетативных органов

Для оценки влияния экологических факторов на величину годичного прироста дерева проведен

анализ погодных условий четырех вегетационных периодов. В результате выяснилось, что значение климатических факторов из года в год может изменяться в широких пределах. Вегетационный период 1973 г., предшествующего началу наблюдений, оказался наиболее теплым (Кищенко, 1978, 2000). Переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C в этом году отмечен 28.III, через 5°C – 29.IV, через 10°C – 17.V, т.е. раньше по сравнению со среднемноголетними данными соответственно на 5, 3 и 11 суток. Температура воздуха в мае этого года оказалась выше обычной на 1.5°C, в июне – на 2.7°C, в июле – на 2.1°C и в августе – на 0.1°C. Количество атмосферных осадков, выпавших в июне и июле, превысило среднесуточную норму соответственно на 16 и 55 мм.

Вегетационный период 1974 г. оказался заметно холоднее. Переход среднесуточной температуры воздуха в сосняке черничном свежем через 0°C наблюдался 24.IV, через 5°C – 11.V и через +10°C – 6.VI. Среднемесячная температура воздуха в мае составила 3.3°C, в июне 13.4°C, в июле – +17.1°C и в августе – 14.7°C. Оттаивание почвы на глубину до 5 см в этом типе леса отмечено 13.V. Переход среднесуточной температуры почвы на той же глубине через 5°C зарегистрирован 28.V, а через +10°C – 12.VI. Среднемесячная температура почвы на глубине 20 см составила в июне 8.5°C, в июле – 16.0°C и в августе – 11.6°C. Последний весенний заморозок на почве имел место 20.V (–4.0°C), а первый осенний – 16.IX (–4.0°C). Атмосферные осадки по месяцам выпадали в следующем количестве: в мае – 2.0, в июне – 19.5, в июле – 59.5 и в августе – 51.1 мм.

В 1975 г. переход температуры воздуха через 0°C, 5°C и 10°C отмечался раньше, чем в 1974 г., соответственно на 3.11 и 27 сут. Май оказался теплее на 5.9°C, а лето наоборот, холоднее: в июне – на 0.9°C, в июле – на 2.5°C и в августе – на 3.4°C. Оттаивание почвы на глубину до 5 см отмечено на две недели раньше – 26.IV. Переход температуры почвы на этой глубине через 5°C и 10°C наблюдался тоже раньше – соответственно на 24 и 3 сут. Температура почвы в июне и августе оказалась выше на 0.3°C, а в июле – ниже на 5.0°C. Последний весенний заморозок наступил позже на 9 сут (–1.1°C), а первый осенний – раньше на 6 сут (–0.5°C). В мае и июне атмосферных осадков выпало больше соответственно на 14.5 и 31.1 мм, а в июле и августе – меньше на 25.5 и 31.5 мм.

В 1976 г. переход температуры воздуха через 0°C отмечен раньше, чем в 1974 г., на 4 сут. Температура воздуха в мае установилась на 4.4°C выше. Оттаивание почвы на глубину до 5 см произошло на 12 сут раньше. Переход температуры почвы через 5°C зарегистрирован тоже раньше на 20 сут, через 10°C – позже на 8 сут. Температура почвы летом была постоянно ниже: в июне – на

1.0°C, в июле — на 5°C, в августе — на 0.4°C. Последний весенний заморозок на почве отмечен позже на 21 сут, а первый осенний — раньше на 7 сут. В течение всей вегетации 1976 г. атмосферных осадков выпадало больше, чем в 1974 г.: в мае — на 10.5, в июне — на 38.0, в июле — на 10.5 и в августе — на 68.0 мм.

При анализе годовичного прироста побегов обнаружено, что величина их варьирует в довольно значительных пределах (Кищенко, 1978, 2000). Длина побегов, сформировавшихся в 1976 г., по сравнению с 1974 и 1975 гг. оказалась больше соответственно на 13 и 20%.

Заложение верхушечных почек возобновления в 1973–75 г. отмечалось во второй декаде июля при температуре воздуха 16.8–17.5°C, влажности воздуха — 74–80%, температуре почвы на глубине 20 см — 11.0–12.6°C и влажности почвы на глубине 10–20 см — 4.0–6.7%. Незначительные различия в гидротермических условиях окружающей среды указывают на то, что в момент заложения почек данные факторы не могли существенно отразиться на годовичном приросте побегов следующей вегетации. По всей видимости, уменьшение величины годовичного прироста побегов в 1975 г. связано со снижением интенсивности их роста, вызванным понижением температуры воздуха и почвы в мае и июне. Между тем на редкость теплая и дружная весна 1976 г. обусловила усиление интенсивности роста побегов, в результате чего их годовичный прирост достиг максимальной за период исследований величины. Различия в продолжительности роста побегов колебались в незначительных пределах (1–8 сут) и не могли существенно повлиять на их годовичный прирост.

Анализируя различия в массе годовичного прироста хвои, тоже удалось обнаружить лишь влияние на них температуры окружающей среды (Кищенко, 1978, 2000). Годичный прирост хвои за 1975 г. оказался на 12% больше по сравнению с 1974 г. Отмеченные различия достоверны и значимы и связаны с более теплой погодой в мае 1975 г., в результате чего рост хвои начался на 20 сут раньше. При этом интенсивность данного процесса очень быстро достигла максимальной величины. Наряду с этим продолжительность формирования хвои возросла на 9 суток. Следовательно, для увеличения массы хвои, как и побегов, в первую очередь необходимо усиление интенсивности их роста.

Годичный радиальный прирост ствола, также как побегов и хвои, зависит от температурного режима окружающей среды (Кищенко, 1978, 2000). Кроме того, установлено, что на прирост ствола большое влияние оказывает количество осадков, характер влияния которых определяется степенью увлажнения почвы. В сосняке брусничном ширина годовичного кольца, сформировавше-

гося в 1975 и 1976 г., оказалась на 21% больше, чем в 1974 г. Обнаруженные различия достоверны и значимы. При этом разница в продолжительности роста заметной роли не играет. Причины указанных различий заключаются в ускорении деления клеток камбия в связи с повышением температуры воздуха и почвы во второй половине июня 1975 и 1976 г. В 1974 г. интенсивность роста ствола резко снизилась в связи с наступившим похолоданием.

В сосняке черничном годовичный прирост ствола, сформировавшегося в 1974 и 1975 г., оставался неизменным, а в 1976 г. уменьшился на 13%. Возможно, это явление связано с резким падением температуры воздуха в начале июля, в результате чего рост почти прекратился.

В сосняке багульниково-сфагновом радиальный прирост, сформировавшийся в 1975 и 1976 гг., оказался больше, чем в 1974 г., соответственно на 56 и 6%. Этому содействовало увеличение продолжительности роста ствола на 17 и 12 сут. Кроме того, в 1975 г. интенсивность деления клеток камбия заметно усилилась. Причины этих изменений, по-видимому, заключаются в неодинаковом количестве осадков, выпавших в период роста ствола. Наибольшее их количество зарегистрировано в 1974 г., наименьшее — в 1975 г. Следовательно, атмосферные осадки при избыточном увлажнении почвы оказывают отрицательное влияние на годовичный прирост древесины.

Сезонное формирование надземной фитомассы

Результаты исследований, приведенные в табл. 2, показывают, что рост стеблей 2-го порядка ветвления (далее просто побегов) *Pinus sylvestris* начинается сначала в сосняке брусничном и сосняке черничном (10.V), а затем в сосняке кустарничково-долгомошном и сосняке багульниково-сфагновом (12–14.V) (Кищенко, 1978, 2000). Здесь и далее приводятся данные, усредненные за 3 года наблюдений. По данным С.Э. Вомперского (1968), начало роста *Pinus sylvestris* в высоту в заболоченных типах леса также запаздывает на 3–4 сут по сравнению с суходольными типами. Вначале кульминация прироста побегов отмечается в сосняке брусничном (10–15.VI), затем в сосняке черничном и сосняке кустарничково-долгомошном (15–20.VI), и, наконец, в сосняке багульниково-сфагновом (20–25.VI). Рост побегов во всех типах леса прекращается в последней декаде июля. Продолжительность роста побегов в сосняках зеленомошной группы типов леса составляет 76–80 сут, а в сосняках на переувлажненной почве — на 4–11 сут меньше. Увеличение продолжительности и интенсивности прироста побегов *Pinus sylvestris* в более продуктивных типах леса в различных частях ареала отмечалось ранее другими

Таблица 2. Среднемноголетние сроки начала, кульминации и окончания сезонного формирования надземной фитомассы в разных типах леса (за период 1974–1976 гг.)

Тип леса	Побеги				Хвоя			
	начало роста	кульминация прироста	окончание роста	продолжит. роста	начало роста	кульминация прироста	окончание роста	продолжит. роста
Сосняк брусничный	10.V	10–15.VI	25.VII	76	26.V	23–28.VII	28.VIII	94
С. черничный свежий	10.V	15–20.VI	29.VII	80	26.V	23–28.VII	30.VIII	96
С. куст.-долгомошный	12.V	15–20.VI	22.VII	71	29.V	23–28.VII	25.VIII	88
С. багульник.-сфагновый	14.V	20–25.VI	22.VII	69	31.V	28.VII–2.VIII	22.VIII	83
	Ветви				Стволы			
	начало роста	кульминация прироста	окончание роста	продолжит. роста	начало роста	кульминация прироста	окончание роста	продолжит. роста
С. брусничный	21.V	17–22.VI	15.VIII	76	7.VI	17–22.VI	15.VIII	69
С. черничный свежий	16.V	17–22.VI	19.VIII	85	5.VI	17–22.VI	19.VIII	75
С. куст.-долгомошный	19.V	27.VI–2.VII	12.VIII	75	11.VI	27.VI–2.VII	12.VIII	62
С. багульник.-сфагновый	19.V	27.VI–2.VII	12.VIII	75	14.VI	27.VI–2.VII	12.VIII	59

исследователями (Аникиева, Чертовской, 1972; Забуга В., Забуга Г., 2007б, 2015).

Формирование древесины ветвей начинается сначала в сосняке черничном (16.V), а затем в других изученных типах леса (19–21.V) (Кищенко, 1978, 2000). Вначале кульминация прироста ветвей отмечается в сосняке брусничном и сосняке черничном (17–22.VI), а затем в сосняке кустарничково-долгомошном и сосняке багульниково-сфагновом (27.VI–2.VII). Рост ветвей во всех типах леса прекращается в середине августа. Продолжительность роста ветвей в сосняках зеленомошной группы типов леса составляет 76–85 сут, а в сосняках на переувлажненной почве – на 10 суток меньше.

Исследования показали, что рост хвои *Pinus sylvestris* в лучших условиях местопроизрастания начинается раньше, а заканчивается позже, примерно, на 3–5 сут (табл. 2) (Кищенко, 1978, 2000). Так, в сосновых древостоях зеленомошной группы типов леса начало роста хвои за годы исследований в среднем отмечалось 26.V и заканчивалось 28–30.VIII, а в сосняке кустарничково-долгомошном и сосняке багульниково-сфагновом – соответственно 29–31.V и 22–25.VIII. Изучение роста хвои у *Pinus sylvestris*, проведенное А. М. Ахмеровым (1969), В.А. Забугой и Г.Ф. Забугой (2007б), О.Н. Тюкавиной с соавт. (2017), также показало, что сроки начала и окончания формирования хвои в разных типах леса несколько различаются.

Очевидно, что подобные различия приводят к значительному увеличению периода формирования хвои в лучших почвенно-грунтовых условиях. За годы исследований продолжительность роста хвои в сосняках зеленомошных составила 94–96 сут, а в переувлажненных сосняках – 83–88 сут (табл. 2).

Как показали исследования, в лучших почвенно-грунтовых условиях по аналогии с хвоей формирование древесины ствола *Pinus sylvestris* начинается раньше на 6–9 сут и заканчивается позже примерно на 3–7 сут, чем в худших (табл. 2) (Кищенко, 1978, 2000). В сосняке черничном формирование камбием древесины ствола началось 5.VI, а закончилось 19.VIII, а в сосняке багульниково-сфагновом – соответственно 14.VI и 12.VIII. И.С. Мелехов (1948) также отмечал, что образование древесины ствола в более продуктивных типах леса начинается на 10–30 сут раньше.

Продолжительность формирования древесины ствола *Pinus sylvestris* с улучшением почвенно-грунтовых условий существенно увеличивается. Так, величина данного показателя в сосняке черничном (75 сут), больше, чем в сосняке брусничном, сосняке кустарничково-долгомошном и сосняке багульниково-сфагновом соответственно на 6, 12 и 15%. Увеличение продолжительности формирования стволов с повышением почвенного плодородия отмечено многими исследователями (Вомперский, 1968; В. Забуга, Г. Забуга, 2007а; Шереметов, Уфимцев, 2012; Репин, 2014; Хами-

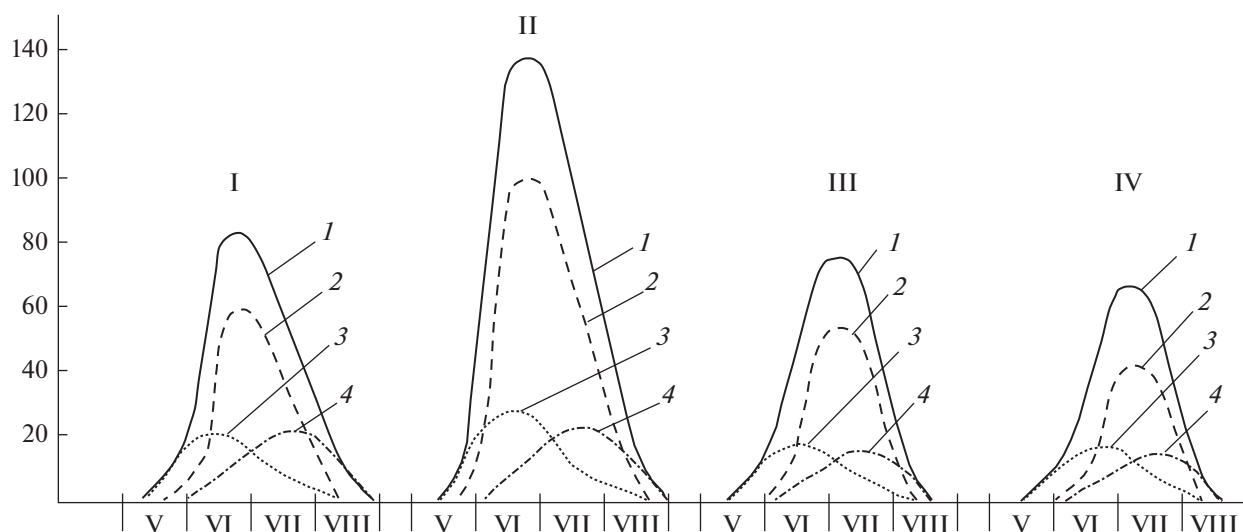


Рис. 1. Среднеголетняя сезонная динамика прироста надземной фитомассы древостоев в разных типах сосновых лесов.

Типы леса: I — сосняк брусничный, II — сосняк черничный свежий, III — сосняк кустарничково-долгомошный, IV — сосняк багульниково-сфагновый. По оси абсцисс — календарные месяцы. По оси ординат — суточный прирост всей надземной фитомассы (1), стволов (2), побегов и ветвей (3) и хвои (4), кг, га^{-1} .

дуллина с соавт., 2014). Эта закономерность, по мнению С.Э. Вомперского (1968), связана с тем, что в низкопродуктивных древостоях запас питательных веществ исчерпывается быстрее, в результате чего и деятельность камбия ствола прекращается раньше.

Как известно, тип леса характеризуется комплексом экологических факторов, отражая климатические, эдафические и орографические условия. Поэтому обнаруженные различия в сезонном росте вегетативных органов *Pinus sylvestris* в разных типах леса являются следствием влияния таких экологических факторов, как температура и влажность воздуха и почвы, условия минерального питания, аэрация и др.

Интенсивность формирования текущего прироста дерева зависит как от внешних условий среды, так и от внутренних, присущих данному экотипу наследственных признаков. В идеале, при условии плавного изменения экологических факторов в течение вегетационного периода, графическим изображением интенсивности сезонного прироста любого вегетативного органа растения является парабола. Поэтому, используя усредненные данные по интенсивности нарастания органов дерева, в уравнение параболы роста достаточно ввести лишь одну независимую переменную — интервал времени с момента начала роста. В таком виде данное уравнение будет отражать среднегодовую динамику суточного прироста фитомассы отдельных органов и надземной фитомассы древостоя в целом.

Результаты регрессионного анализа свидетельствует, что независимо от типа леса, графическое изображение интенсивности формирования органической массы древостоя и его компонентов имеет вид параболы (рисунок). Таким образом, различия в почвенно-грунтовых условиях не влияют на основные черты характера динамики процесса прироста. Как показали исследования многих авторов характер сезонной динамики прироста побегов (Матюк, 1959; Моисеенко, 1969; Медведева, 1971, 1973) и ствола (Micola, 1950; Вомперский, 1968; Leikola, 1969; Елагин, 1976) в разных типах леса также существенно не меняется.

В процессе исследования полученных регрессий обнаружено, что половина годовичного прироста побегов и ветвей при обычных погодных условиях нарастает в июне, хвои — в июле, стволов — с середины июня до середины июля. В зависимости от типа леса в мае формируется 21–22% годовичного прироста побегов и ветвей, в июне — 44–47%, в июле — 25–29% и в августе — 4–6%; хвои — соответственно 4–6, 18–21, 48–53 и 23–28%; ствола — 2–3, 34–38, 37–42 и 19–23%.

Исследованиями установлено, что в лучших почвенно-грунтовых условиях интенсивность формирования надземной фитомассы заметно выше. Так, в сосняке черничном величина максимального суточного прироста биомассы побегов и ветвей, хвои и стволов достигает соответственно 30, 24 и 101 кг, га^{-1} , в сосняке брусничном — соответственно 21, 22 и 59 кг, га^{-1} , в сосняке кустарничково-долгомошном — 17, 16 и 50 кг, га^{-1} ,

Таблица 3. Текущий годичный прирост надземной фитомассы древостоев в разных типах сосновых лесов, ц, га⁻¹*

Тип леса	Хвоя	Побеги и ветви	Стволы
Сосняк брусничный	13.2	9.5	27.7
С. черничный свежий	14.8	12.6	35.9
С. кустарничково-долгомошный	11.0	8.7	20.9
С. багульниково-сфагновый	10.9	8.0	16.6

Примечание* — по данным Казиминова Н.И. с соавт. (1977).

в сосняке багульниково-сфагновом — 12, 17 и 40 кг, га⁻¹ (рис. 1.). Как показали проведенные ранее исследования, в типах леса, формирующихся на более плодородных почвах, интенсивность роста побегов (Харитонович, 1955; Аникиева, Чертовской, 1972), стволов (Харитонович, 1955; Вомперский, 1968; Молчанов, 1970) и хвои (Ахмеров, 1969) существенно выше. Эта закономерность еще более контрастно прослеживается при переходе от отдельного вегетативного органа дерева к фитомассе древостоя. Например, в период кульминации в сосняке черничном суточный прирост органического вещества надземной части древостоя достигает в среднем 141 кг, га⁻¹, а в сосняке багульниково-сфагновом — только 69 кг, га⁻¹. Среднесуточный прирост фитомассы древостоя в сосняке черничном составляет 73 кг, га⁻¹, что на 9–52% больше, чем в других типах леса.

Из всех вегетативных органов дерева наиболее интенсивным накоплением биомассы отличается ствол. Так, его максимальный суточный прирост в различных типах леса достигает 40–101 кг, га⁻¹, а побегов и ветвей, хвои — соответственно 21–30 и 16–24 кг, га⁻¹.

Увеличение продолжительности и, главным образом, интенсивности ростовых процессов в сравнительно более продуктивных типах леса обеспечивает формирование и большей фитомассы годичного прироста древостоев (табл. 3). По сравнению с сосняком черничным в сосняке брусничном годичный прирост фитомассы всего древостоя меньше на 20%, побегов и ветвей — на 25%, хвои — на 11%, стволов — на 23%, а в сосняке багульниково-сфагновом — соответственно на 40, 37, 26 и 54%. Увеличение ширины годичного кольца с улучшением условий местопрорастания установлен ранее многими исследователями (Хох, Звягинцев, 2016; Журавлев с соавт., 2017).

Увеличение интенсивности и продолжительности роста надземных вегетативных органов деревьев *Pinus sylvestris* с улучшением условий местопрорастания также отмечено ранее (Харитонович, 1955; Вомперский, 1968; Молчанов, 1970).

Заключение. Изучение в течение трех лет особенностей сезонного роста вегетативных органов

средневозрастных деревьев *Pinus sylvestris*, произрастающих в условиях южной Карелии (средняя тайга) в разных типах леса (сосняк черничный, сосняк брусничный, сосняк кустарничково-долгомошный и сосняк багульниково-сфагновый), позволяет отметить следующее.

Рост вегетативных органов надземной части дерева происходит в определенной последовательности. Первыми (в начале мая) трогаются в рост побеги, спустя 1 нед. начинается деление клеток камбия ствола, а еще через неделю появляется молодая хвоя. Прирост стволов достигает кульминации в середине июня — начале июля, побегов и ветвей — в середине июня, хвои — в конце июля. Рост побегов и ветвей, а также стволов заканчивается в середине августа, а хвои — в конце августа. В зависимости от типа леса продолжительность роста составляет: побеги — 69–80 сут, хвоя — 83–96, ветви — 75–85, стволы — 59–75 сут.

Обнаружено, что рост изученных вегетативных органов в лучших условиях начинается на 4–7 сут раньше. Кульминации прироста побегов, ветвей и стволов в разных условиях произрастания отмечается почти одновременно. Ростовые процессы в надземной части древостоев прекращаются в августе, причем в лучших условиях роста — на 3–7 сут позже.

Исследованиями установлено, что в лучших почвенно-грунтовых условиях интенсивность формирования надземной фитомассы заметно выше. Так, в сосняке черничном величина максимального суточного прироста биомассы побегов и ветвей, хвои, стволов и всей надземной части достигает соответственно 30, 24, 101 и 141 кг, га⁻¹, а в сосняке багульниково-сфагновом — 21, 17, 40 и 69 кг, га⁻¹.

Из всех вегетативных органов дерева наиболее интенсивным накоплением биомассы отличается ствол, максимальный суточный прирост которого в различных типах леса достигает 40–101 кг, га⁻¹, а побегов и ветвей, хвои — соответственно 21–30 и 16–24 кг, га⁻¹.

Увеличение продолжительности и, главным образом, интенсивности ростовых процессов в сравнительно более продуктивных типах леса обеспечивает формирование и большей фитомассы годичного прироста древостоев. По сравнению с сосняком черничным в сосняке брусничном годичный прирост фитомассы всего древостоя меньше на 20%, побегов и ветвей — на 25%, хвои — на 11%, стволов — на 23%, а в сосняке багульниково-сфагновом — соответственно на 40, 37, 26 и 54%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аникиева В.А., Чертовской В.Г. О сезонном росте древесных пород на вырубках средней подзоны тайги //

- Некоторые вопросы типологии леса и вырубок. Архангельск: Изд-во АГУ, 1972. С. 171–203.
- Ахмеров А.Н. Рост хвой сосны в течение вегетационного периода // Изв. вузов СССР. Лесной журнал. 1969. № 1. С. 30–32.
- Вомперский С.Э. Биологические основы эффективности лесосошения. Москва: Наука, 1968. 312 с.
- Дылис Н.В. Программа и методы биогеоэкологических исследований. Москва: Наука, 1974. 404 с.
- Елагин И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1976. 230 с.
- Журавлев А.С., Симоненкова В.А., Черных Д.А. Радиальный прирост сосны обыкновенной в различных типах леса НП “Бузулукский Бор” // Инновации в науке и практике, Прок. Конф., Барнаул, 19 декабря 2017, Уфа: Дендра, 2017. Т. 17. Часть 1. С. 18–239.
- Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Особенности роста вегетативных органов сосны обыкновенной в лесостепной зоне Предбайкалья // Экология. 2007а. Т. 38. № 6. С. 381–387.
- Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Сопряженное влияние факторов внешней среды на прирост побегов и хвой сосны обыкновенной в лесостепном Предбайкалье // Сибирский экологический журнал. 2007б. Т. 14. № 1. С. 19–25.
- Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Сезонный рост вегетативных органов сосны обыкновенной в лесостепном Предбайкалье // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 2(101). С. 215–220.
- Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Фаука, 1984. 424 с.
- Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Ленинград: Наука, 1977. 303 с.
- Кищенко И.Т. Сезонный рост сосны в различных условиях местопрорастания в связи с температурным режимом воздуха и почвы // Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. 1978. С. 12–30 (152 с.).
- Кищенко И.Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в условиях Карелии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. 211 с.
- Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М. Ритмические закономерности формирования сезонного прироста хвойных пород средней тайги // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26. № 1. С. 63–70.
- Левкина О.И. Динамика прироста деревьев в лесах северного мегасклона Западного Саяна // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск: Поликом, 1996. Т. 5. С. 55–58 (103 с.).
- Матюк И.С. Сезонный ход роста в высоту древесных пород в насаждениях // Облесение и сельскохозяйственное освоение песчаных земель юго-востока. Москва: Изд-во Минсельхоз СССР, 1959. С. 63–68 (140 с.).
- Медведева В.М. Динамика сезонного прироста сосны в зависимости от гидротермических условий в долгомошном типе леса Карелии // Всесоюзное совещание по вопросам адаптации растений к экстремальным условиям среды в северных районах СССР. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1971. С. 108–109.
- Медведева В.М. Динамика сезонного прироста сосны в осушенном долгомошном типе леса южной Карелии // Вопросы комплексного изучения болот. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1973. С. 63–68 (177с.).
- Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. Москва–Ленинград: Гослестехиздат, 1948. 127 с.
- Моисеенко И. Ф. Сезонный рост сосны на болотах с разным водным режимом // Новое в лесоводстве. Минск: Урожай, 1969. № 19. С. 55–58(167 с.).
- Молчанов А.А. Изменчивость ширины годичного кольца в связи с изменением солнечной активности // Формирование годичного кольца и накопление органической массы у деревьев. Москва: Наука, 1970. С. 7–49(128 с.).
- Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
- Острошенко В.В. Сезонный рост сосны обыкновенной на Охотском побережье // Лесное хоз-во. 1991. № 5. С. 33–35.
- Ренин Е.Н. Рост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях южной части Приморского края // Перспективы науки. 2014. № 8(59). С. 7–9.
- Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Бабич Н.А. Черты сходства динамики длины хвой по годам роста сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2017. № 1(355). С. 73–85.
- Хамидуллина Г.Г., Исхаков Ф.Ф., Кулагин А.А., Зайцев Г.А., Давыдычев А.Н. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от топологических условий произрастания // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 1(45). С. 12–14.
- Харитонович Ф.Н. Сезонный прирост у древесных пород в насаждениях Велико-Анадольского леса // Велико-Анадольский лес. Харьков: Изд-во ХГУ, 1955. № 48. С. 93–104(240 р.).
- Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Радиальный прирост сосны обыкновенной в различных лесотипологических условиях // X Машеровские чтения, Прок. Конф., Витебск, 14 октября 2016, Витебск: Изд-во ВГУ имени В.М. Машерова, 2016. С. 94–96.
- Шереметов Р.Т., Уфимцев В.И. Оценка влияния температуры на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного воздействия // Вестник Кемеровского государственного университета. 2012. № 4–1(52). С. 24–28.
- Яковлев Ф.С., Воронова В.С. Типы лесов Карелии и их природное районирование. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1959. 190 с.
- Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.: Наука, 1954. 338 с.
- Ladefoged K. The periodicity of wood formation // Dansk biologisk skrifttype. København: Bianco Lunos Bogtrykkeri, 1952. 98 p.
- Leikola M. The influence of factors on the diameter growth of forest trees // *Auxanometric study*, Helsinki: Suomen Metsätieteellinen Seura, 1969. 144 p.
- Micola P. On variation in tree growth and there significance to growth studies // *Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu* Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino 1950. V. 38. P. 126–131(131 p.).

Seasonal Formation of Aboveground Phytomass of Middle-Aged Pine Stands in Various Types of Forest in Middle Taiga

I. T. Kishchenko*

Petrozavodsk State University
Lenin ave. 33, Petrozavodsk, 185910 Russia

*E-mail: ivanki@karelia.ru

Received 18 January 2016

Revised 31 March 2018

Accepted 8 October 2018

Studies were carried out in middle taiga of southern Karelia. Growth of *Pinus sylvestris* were studied in middle-aged stands of various types of forest during three years. Development of aboveground vegetative organs of *Pinus sylvestris* initiated in May. It starts 4–7 days earlier in optimal conditions. A culmination of growth of shoots, twigs and trunks is observed in mid-June. Needles reach it in late July. Growth in aboveground part of a stand terminates in August. It continues another 3–7 days in better conditions. Growth period lasts for 69–80 days for shoots, 83–96 days for needles, 75–85 days for twigs, 59–75 days for trunks depending on forest type. Intensity of aboveground phytomass formation is significantly higher with better soil conditions. For example, blueberry pine forest has maximal daily biomass growth of 30, 24, 101 and 141 kg ha⁻¹ for shoots and twigs combined, needles, trunks and total aboveground biomass. On the other hand, the values in ledum-sphagnum pine forest are 12, 17, 40 and 69 kg ha⁻¹. Biomass most intensively accumulates in trunks. Their maximal daily yield reaches 40–101 kg ha⁻¹, while shoots and twigs combined reach 21–30 kg ha⁻¹, and needles reach 16–24 kg ha⁻¹. Increase of duration and, primarily, the intensity of growth in more productive forest types support storing more biomass in annual yield of stands. Annual yield of phytomass in cowberry pine forest is 20% less for all stand, 25% less for twigs and shoots, 11% less for needles, and 23% less for trunks as compared to blueberry pine forest. Corresponding values are 40%, 37%, 26% and 54% for ledum-sphagnum pine forests.

Keywords: Scots pine, growth, phytomass, shoots, twigs, needles, trunks, forest types.

REFERENCES

- Akhmerov A.N., Rost khvoi sosny v techenie vegetatsionnogo perioda (Growth of pine needles during a vegetation period), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 1969, No. 1, pp. 30–32.
- Anikieva V.A., Chertovskoi V.G., O sezonnom roste drevesnykh porod na vyrubkakh srednei podzony taigi (Seasonal growth of wooden species on cuttings in middle taiga subdomain), In: *Nekotorye voprosy tipologii lesa i vyrubok (Issues of typology of forests and cuttings)* Arkhangel'sk: Severo-Zapadnoe knizhnoe idatel'stvo, 1972, pp. 171–203 (212 p.).
- Dylis N.V., *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy (The program and technique of biogeocoenotical studies)*, Moscow: Nauka, 1974, 404 p.
- Elagin I.N., *Sezonnoe razvitiye sosnovykh lesov* (Seasonal development of the pine forests), Novosibirsk: Nauka, 1976, 230 p.
- Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zhabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M., *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeiskogo Severa* (Mass and energy exchange of pine forests in Northern Europe), Leningrad: Nauka, 1977, 303 p.
- Khamidullina G.G., Iskhakov F.F., Kulagin A.A., Zaitsev G.A., Davydychev A.N., Zavisimost' radial'nogo prirosta sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) ot topoekologicheskikh uslovii proizrastaniya (Dependence of Scotch pine radial increment (*Pinus sylvestris* L.) on topoecological growth conditions), *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, No. 1 (45), pp. 12–14.
- Kharitonovich F.N., Sezonnyi prirost u drevesnykh porod v nasazhdeniyakh Veliko-Anadol'skogo lesa (Seasonal increment of wooden species in forests of Veliko-Anadol'skiy woodland), In: *Veliko-Anadol'skii les (Veliko-Anadol woodland)* Kharkov: Izd-vo KhGU, 1955, pp. 93–104 (240 p.).
- Khokh A.N., Zvyagintsev V.B., Radial'nyi prirost sosny obyknovnoy v razlichnykh lesotipologicheskikh usloviyakh, *X Masherov Readings*, Proc. Conf., Vitebsk, 14 October 2016, Vitebsk: Izd-vo VGU imeni P.M. Masherova, 2016, pp. 94–96.
- Kishchenko I.T., *Rost i razvitiye aborigennykh i introdutsirovannykh vidov semeistva Pinaceae Lindl. v usloviyakh Karelii* (Growth and development of indigenous and introduced species of the *Pinaceae* Lindl. family in Karelian environment), Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2000, 211 p.
- Kishchenko I.T., Sezonnyi rost sosny v razlichnykh usloviyakh mestoproizrastaniya v svyazi s temperaturnym rezhimom vozdukh i pochvy (Seasonal development of pine at various sites: links to air and soil temperature), In: *Formirovanie i produktivnost' sosnovykh nasazhdenii Karel'skoi ASSR i Murmanskoi oblasti (Development and productivity of pine forests in Karelian ASSR and Murmansk Oblast)* Petrozavodsk: Karel'skii filial AN SSSR, 1978, pp. 12–30 (152 p.).
- Kokorina N.V., Tatarintsev P.B., Kasatkin A.M., Ritmicheskie zakonomernosti formirovaniya sezonnogo prirosta khvoinykh porod srednei taigi (Rhythmic laws of formation of seasonal tree-rings growth of conifers at middle taiga), *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 2016, Vol. 26, No. 1, pp. 63–70.

- Ladefoged K., *The periodicity of wood formation*, København: Bianco Lunos Bogtrykkeri, 1952, 98 p.
- Leikola M., *The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees: Auxanometric study*, Helsinki: Suomen Metsätieteellinen Seura, 1969, 144 p.
- Levkina O.I., Dinamika prirosta derev'ev v lesakh severnogo megasklona Zapadnogo Sayana (Dynamics of tree increment in forests of western slope of the Western Sayan), In: *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri (Botanical studies in Siberia)* Krasnoyarsk: Polikom, 1996, Vol. 5, pp. 55–58 (103 p.).
- Matyuk I.S., Sezonnyi khod rosta v vysotu drevesnykh porod v nasazhdeniyakh (Seasonal growth course of height of tree species in forests), In: *Oblesenie i sel'skokhozyaystvennoe osvoenie peschanykh zemel' yugo-vostoka (Afforestation and agricultural exploration of sands of the South-East)* Moscow: Izd-vo Minsel'khoz SSSR, 1959, pp. 63–68 (140 p.).
- Medvedeva V.M., Dinamika sezonnogo prirosta sosny v osushennom dolgomoshnom tipe lesa yuzhnoi Karelii (Dynamics of seasonal radial increment of pine in a drained long-moss forest type in southern Karelia), In: *Voprosy kompleksnogo izucheniya bolot (Issues of integrated studies of bogs)* Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo filiala AN SSSR, 1973, pp. 63–68 (177 p.).
- Medvedeva V.M., Dinamika sezonnogo prirosta sosny v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovii v dolgomoshnom tipe lesa Karelii (Dynamics of annual increment of pine linked to hydrothermal conditions in long-moss forest type in Karelia), *Vsesoyuznoe soveshchanie po voprosam adaptatsii rastenii k ekstremal'nym usloviyam sredy v severnykh raionakh SSSR (All-Union workshop on issues of adaptation of plants to extreme environments of northern USSR)*, 14–17 September 1971, Petrozavodsk: Izd-vo IL Karel'skogo filiala AN SSSR, 1971, pp. 108–109.
- Melekhov I.S., *Vliyanie pozharov na les* (The effect of fires on woodlands), Moscow-Leningrad: Goslestezhizdat, 1948, 127 p.
- Mikola P., Summary. On variation in tree growth and there significance to growth studies, In: *Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja* Helsinki: Valtioneuvoston kirjapaino 1950, Vol. 38.5, pp. 126–131 (131 p.).
- Moiseenko I.F., Sezonnyi rost sosny na bolotakh s raznym vodnym rezhimom (Seasonal development of pines on bogs of different water regime), In: *Novoe v lesovodstve (News in silviculture)* Minsk: Urozhai, 1969, Vol. 19, pp. 55–58 (167 p.).
- Molchanov A.A., Izmenchivost' shiriny godichnogo kol'tsa v svyazi s izmeneniem solnechnoi aktivnosti (Variability of annual ring width follows variations in sun activity), In: *Formirovanie godichnogo kol'tsa i nakoplenie organicheskoi massy u derev'ev (Annual ring development and accumulation of organic matter of trees)* Moscow: Nauka, 1970, pp. 7–49 (128 p.).
- Molchanov A.A., Smirnov V.V., *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rastenii* (Methods of study of the wooden plants increment), Moscow: Nauka, 1967, 95 p.
- Ostroshenko V.V., Sezonnyi rost sosny obyknovЕННОй na Okhotskom poberezh'e (Seasonal development of Scots pine on Okhotsk sea coast), *Lesnoe khozyaystvo*, 1991, No. 5, pp. 33–35.
- Repin E.N., Rost sosny obyknovЕННОй (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh yuzhnoi chasti Primorskogo kraya (Growth of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) in conditions of southern Primorye), *Perspektivy nauki*, 2014, No. 8 (59), pp. 7–9.
- Sheremetov R.T., Ufimtsev V.I., Otsenka vliyaniya temperatury na radial'nyi prirost sosny obyknovЕННОй (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh tekhnogennogo vozdeystviya (Estimation of temperature effect on the radial growth of the pine forestry (*Pinus sylvestris* L.) in technogenic influence), *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, No. 4-1 (52), pp. 24–28.
- Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Babich N.A., Cherty skhodstva dinamiki dliny khvoi po godam rosta sosny obyknovЕННОй v razlichnykh usloviyakh proizrastaniya (The similarity of the needle length dynamics on an annual basis of Scots pine growth in different conditions), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2017, No. 1 (355), pp. 73–85.
- Vomperskii S.E., *Biologicheskie osnovy effektivnosti lesoosusheniya* (Biological basis of forest draining efficiency), Moscow: Nauka, 1968, 312 p.
- Yakovlev F.S., Voronova V.S., *Tipy lesov Karelii i ikh prirodnoe raionirovanie* (Forest types in Karelia: the natural zonation), Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo filiala AN SSSR, 1959, 190 p.
- Yatsenko-Khmelevskii A.A., *Osnovy i metody anatomicheskogo issledovaniya drevesiny* (Basics and methods in anatomical study of timber), Moscow: Nauka, 1954, 338 p.
- Zabuga V.F., Zabuga G.A., Sezonnyi rost vegetativnykh organov sosny obyknovЕННОй v lesostepnom Predbaikal'e (Seasonal growth of the Scotch pine vegetative organs in the Pred-Baikal forest-steppe), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 2 (101), pp. 215–220.
- Zabuga V.F., Zabuga G.A., Sopryazhennoe vliyanie faktorov vneshnei sredy na prirost pobegov i khvoi sosny obyknovЕННОй v lesostepnom Predbaikal'e (Conjugate effect of environmental factors on the growth of shoots and needles of pine in forest-steppe Predbaikal'), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2007, Vol. 14, No. 1, pp. 19–25.
- Zabuga V.F., Zabuga G.A., Specific features of the growth of Scots pine vegetative organs in the forest-steppe zone of Cisbaikalia, *Russian Journal of Ecology*, 2007, Vol. 38, No. 6, pp. 381–387.
- Zaitsev G.N., *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noi botanike* (Mathematical statistics and the experimental botany), Moscow: Nauka, 1984, 424 p.
- Zhuravlev A.S., Simonenkova V.A., Chernykh D.A., Radial'nyi prirost sosny obyknovЕННОй v razlichnykh tipakh lesa NP "Buzuluskii Bor" (Radial increment of Scots pine in different forest types in Buzluskii Bor National Park), *Innovations in research and application*, Proc. Conf., Barnaul, 19 December 2017, Ufa: Dendra, 2017, Vol. 4, Part 1, pp. 18–23.