

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ
РЕСУРСЫ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ
И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

СКОРОСТЬ РОСТА И СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ *PINUS SYLVESTRIS*
(PINACEAE) В СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКАХ
МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2020 г. В. Т. Ярмишко^{1,*}, О. В. Игнатьева²

¹Ботанический институт им В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
г. Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: vasilyarmishko@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.05.2020 г.

После доработки 24.07.2020 г.

Принята к публикации 16.09.2020 г.

Исследованы особенности динамики роста и формирования фитомассы сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в 60–80-летних средневозрастных лишайниково-зеленомошных лесах, формирующихся на вырубках и гарях в Мурманской обл. В районах исследований была выявлена тенденция увеличения ежегодного линейного прироста сосны в высоту до 55–65-летнего возраста, а в последние годы – его стабилизация. Интенсивность прироста по диаметру у сосны обыкновенной снижается во всем исследованном возрастном интервале. В составе надземной фитомассы сосновых древостоев древесина стволов составляет 58–67%, живые неохвоенные ветви – 15.4–17.3%, охвоенные побеги вместе с хвоей – 21–24%. Масса сухих ветвей варьирует в пределах 1.4–3.6%. Установлена тесная линейная связь таксационных показателей деревьев с их фитомассой. Максимальная теснота связи выявлена для фракции ствола, минимальная – для сухих ветвей.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris*, средневозрастные древостои, рост в высоту, прирост по диаметру, фитомасса, Мурманская область

DOI: 10.31857/S0033994620040093

Интенсивное освоение природных ресурсов Европейского Севера создает постоянную и непрерывно возрастающую нагрузку на северотаежные леса, которые выполняют важнейшие природоохранные и средостабилизирующие функции. Особенно это актуально для сосновых лесов, которые преобладают на территории Европейского Севера и повсеместно вовлекаются в использование народным хозяйством. В довольно широком спектре экологических условий сосняки являются устойчивыми, саморегулирующимися экосистемами, в которых идет постоянная смена поколений, хотя и значительно более растянутая во времени, чем в южных районах. Однако рубки и пожары приводят к нарушению этого природного равновесия.

На большей части территории Мурманской обл. лесная растительность не образует больших сплошных массивов. Леса чередуются с озерами, болотами, участками тундровой растительности в верхнем поясе низких глыбовых гор. В биологии сосны обыкновенной, обитающей в Мурманской обл., имеются некоторые особенности по сравнению с сосной, произрастающей в более южных

частях таежной зоны. Она отличается более медленным ростом в высоту и по диаметру, сжатостью фаз, способностью начинать рост при относительно низких положительных температурах, более продолжительным функционированием хвои на деревьях, слабым и редким плодоношением [1–3].

Исследования сосновых лесов на Европейском Севере имеют немалую историю. Однако, как и во многих других районах Севера, изученность сосняков Мурманской обл. крайне неоднородна. Как справедливо отмечалось исследователями [4, 5], наряду с обстоятельным рассмотрением вопросов флористического и геоботанического плана, классификации сообществ и вырубков, достаточно глубоким анализом закономерностей естественного возобновления сосновых лесов, много описательных публикаций, иногда весьма поверхностных, посвященных частным аспектам, мало относящихся к насущным проблемам лесоведения.

На большей части площадей эксплуатационного назначения в Мурманской обл. сосняки лишайниковые и лишайниково-зеленомошные сведены рубками. На их месте сформировались относительно

Таблица 1. Краткая характеристика древостоев исследованных лишайниково-зеленомошных сосновых лесов в Мурманской обл.**Table 1.** Stand description in studied lichen-green moss Scots pine forests in the Murmansk region

№№ ППП №№ PSP	Районы исследований Study area	Состав древостоя Stand composition	Таксационные характеристики Stand characteristics				
			высота, м height, m	диаметр, см diameter, cm	число стволов, экз./га density, ind./ha	возраст, лет age, years	класс бонитета capacity class
1	Уполокшский Upolokshsky	10 С + Б	3.9	4.9	1512	50	V
2		10 Р + В	8.5	10.1	2804	60	IV–V
3		10 С	8.0	8.3	5273	60	IV–V
4	Ено-Ковдорский Ено-Kovdorsky	10 С	8.7	8.3	2290	70	V
5		10 Р	13.5	12.6	2300	70	V
6	Ливский Livsky	10 С + Б	10.4	16.1	575	80	Va
7		10 Р	9.1	10.6	1336	70	IV–V
8		10 С + Б	8.8	9.0	1386	70	IV–V
		10 Р + В					

Примечание. С – *Pinus sylvestris*, Б – *Betula pubescens*.

Note. P – *Pinus sylvestris*, B – *Betula pubescens*.

но густые молодняки. Количество деревьев в молодом возрасте может достигать 30–40 тыс. шт./га и более [3]. В настоящее время первостепенное значение, наряду с нерешенными вопросами охраны лесов от пожаров и совершенствования процессов лесопользования, на наш взгляд, приобретают научные разработки по лесовосстановлению и формированию насаждений на нарушенных территориях (вырубки, гари), изучению строения и роста сосновых древостоев, их продуктивности.

Цель настоящей работы состояла в изучении особенностей роста и формирования надземной фитомассы сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. в сосняках лишайниковых и лишайниково-зеленомошных, естественно восстанавливающихся на вырубках и гарях в Мурманской обл.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследованные сосновые леса расположены в трех районах (Уполокшском, Ено-Ковдорском, Ливском) на территории Мурманской обл. (Кольский п-ов). Древостои являются разновозрастными или условно разновозрастными, одноярусными, реже с глубоким высотным профилем без выраженной ярусности, преимущественно чистые или почти чистые. Примесь березы пушистой *Betula pubescens* Ehrh. составляет не более 10%. Встречаются также разновозрастные древостои, формирование которых идет при часто по-

вторяющихся пожарах. В табл. 1 приведена краткая характеристика исследованных древостоев.

В средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесах доминирующими видами в травяно-кустарничковом ярусе являются: *Vaccinium myrtillus* L., *V. vitis-idaea* L., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. Мохово-лишайниковый ярус формируют лишайники рода *Cladonia*: *C. stellaris* (Opiz.) Brodo, *C. rangiferina* (L.) F.H. Wigg, *C. mitis* Sandst. Среди мхов чаще всего встречаются *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum juniperinum* Hedw., виды рода *Dicranum* Hedw.

В районах исследований преобладают хорошо водопроницаемые, сильно завалуненные, песчаные моренные и водно-ледниковые отложения, на которых развиваются подзолы иллювиально-железистые ненасыщенные, мелкоподзолистые, иллювиально-малогумусовые, средне скелетные [6, 7]. Отличительной чертой лесных почв районов исследований является отсутствие многолетней мерзлоты. По особенностям термического режима эти почвы относятся к типу длительно сезонно промерзающих.

В настоящей работе рассмотрены данные, полученные на 8-ми постоянных пробных площадях (ППП), размером 0.15–0.20 га, на каждой из которых проводился сплошной перебор деревьев по элементам леса и ступеням толщины; измерялись параметры кроны деревьев и их состояние; определялся возраст хвои [8]. Сухостойные дере-

вья учитывались отдельно. При среднем диаметре древостоя до 10 см ступени толщины принимались равными 1 см, от 10 до 20 см – 2 см. Высоты измеряли при помощи высотомера SUUNTO у 20–30 живых деревьев, отобранных случайным образом. По этим данным строили графики зависимости высот деревьев от их диаметров, которые использовали для определения средней высоты древостоя. По выполненным измерениям рассчитывали таксационные показатели исследованных древостоев.

Для определения возраста и величины радиального прироста древесины у модельных деревьев (10–12 экз. на каждой ППП) отбирали образцы древесины (керы) буровом Пресслера или спилы ствола. Ширину годичных колец определяли на приборе LINTAB-6. Анализ данных по динамике радиального прироста сосны обыкновенной основывался на современных принципах и методах, используемых отечественными и зарубежными авторами [9–11].

Для определения фитомассы деревьев и древостоев подбирались модельные деревья. Их выборка формировалась в соответствии с рядами распределения деревьев по диаметру. На каждой ППП отбирались по 10–12 модельных деревьев, имеющих близкие к средним значения диаметра, высоты и размеров кроны для каждой ступени толщины в пределах всего диапазона варьирования диаметров. После предварительного описания и измерений модельные деревья спиливали на уровне корневой шейки и аккуратно укладывали на брезент. Затем модели размечали и измеряли линейные приросты центрального и боковых побегов, расстояние до начала кроны, общую длину ствола, диаметр ствола через 0.5 или 1 м.

Оценка вертикально-фракционной структуры надземной фитомассы древостоев сосны обыкновенной на каждой пробной площади выполнялась с выделением следующих фракций: ствол, живые неоховоенные ветви, оховоенные ветви, сухие ветви. Фитомасса структурных частей кроны определялась после ее деления на 3 или 4 одинаковые по длине секции. Из общей массы оховоенных ветвей отбирались навески для установления соотношения массы хвои и побегов. Самым распространенным в лесоэкологических исследованиях методом выравнивания эмпирических данных массы модельных деревьев в зависимости от их таксационных показателей является степенная функция преобразованная логарифмированием к линейному виду, аргументом которой служит произведение квадрата диаметра ствола на высоте 1.3 м от корневой шейки на высоту дерева [12].

При обработке количественных данных использованы методы описательной статистики, корреляционный и регрессионный анализы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных средневозрастных сосновых лесах густота древостоя варьирует в пределах от 575 до 5273 экз./га (табл. 1). Строение исследованных сосняков может быть охарактеризовано на основе анализа распределения особей сосны обыкновенной по ступеням толщины (табл. 2).

Показатели асимметрии таких рядов распределения на всех исследованных участках характеризуются положительными значениями, что согласуется с мнением исследователей о строении модальных древостоев во многих других районах лесной зоны [4, 13–16]. При общих положительных значениях этого показателя выровненные кривые рядов распределения в исследованных сосновых древостоях Мурманской обл. существенно различаются между собой. Ближе всего к нормальному ряду распределения кривые в древостоях III–IV классов возраста. Самые большие отклонения от нормального ряда отмечены в молодняках сосны I–II классов возраста, где наблюдаются интенсивные процессы дифференциации особей в древесном ярусе. В большинстве исследованных сообществ распределение деревьев по ступеням толщины соответствует или приближается к нормальному, что свидетельствует об одновозрастности исследованных сосновых древостоев.

Процессы возобновления сосны, оцениваемые по числу подроста на лишайниковых вырубках и гарях, обычно признаются удовлетворительными, однако разовые оценки, какими бы детальными не были обследования, и какую бы численность подроста они не фиксировали, еще не являются окончательными. Они отражают лишь текущее состояние лесовозобновления. Многолетние наблюдения на вырубках и гарях свидетельствуют о затяжном процессе естественного лесовозобновления [17]. Эти процессы в борах-беломошниках Северо-Востока, например, могут затягиваться на 20 и более лет [18]. Среди факторов, затрудняющих возобновление лесов на северном пределе распространения, необходимо отметить редкую периодичность плодоношения деревьев, низкую всхожесть семян, повышенную гибель молодых растений вследствие неблагоприятных климатических и почвенно-гидрологических условий [3, 19]. К этому можно добавить развитый напочвенный покров на вырубках, препятствующий проникновению семян к поверхности почвы и их прорастанию. Лесовозобновительный процесс можно считать успешным при формировании на вырубках и гарях относительно устойчивого поколения сосны. Это характерно практически для всех обследованных нами средневозрастных древостоев сосны обыкновенной.

На вырубках и гарях лишайниковых сосняков формируются как густые, так и разреженные древостои. Последние характеризуются сравнитель-

Таблица 2. Распределение деревьев сосны обыкновенной по 2-х сантиметровым ступеням толщины в средневозрастных лишайниково-зеленомошных сосновых лесах Мурманской обл.

Table 2. Distribution of Scots pine trees by 2 cm diameter intervals in medium-aged lichen-green-moss pine forests in the Murmansk region

№№ ППП №№№ PSP	Ступени толщины деревьев, см Diameter classes, cm									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
	Количество деревьев, экз./га Number of trees, ind./ha									
1	<u>575</u> 58.1	<u>238</u> 24.1	<u>150</u> 15.2	<u>13</u> 1.3	<u>13</u> 1.3	—	—	—	—	—
6	—	<u>15</u> 2.8	<u>20</u> 3.7	<u>65</u> 12.1	<u>95</u> 17.8	<u>115</u> 21.5	<u>75</u> 14.0	<u>60</u> 11.2	<u>65</u> 12.1	<u>25</u> 4.8
4	<u>484</u> 21.1	<u>384</u> 16.8	<u>468</u> 20.4	<u>217</u> 9.5	<u>351</u> 15.3	<u>184</u> 8.0	<u>84</u> _{3.7}	<u>67</u> 2.9	<u>34</u> 1.5	<u>17</u> 0.8
5	—	<u>50</u> 2.2	<u>400</u> 17.4	<u>575</u> 25.0	<u>400</u> 17.4	<u>425</u> 18.5	<u>300</u> 13.0	<u>50</u> 2.2	<u>50</u> 2.2	<u>50</u> 2.2
7	<u>217</u> 16.2	<u>184</u> 13.8	<u>267</u> 20.0	<u>267</u> 20.0	<u>167</u> 12.5	<u>117</u> 8.8	<u>50</u> 3.7	<u>33</u> 2.5	<u>17</u> 1.3	<u>17</u> 1.3
8	<u>100</u> 7.2	<u>234</u> 16.9	<u>534</u> 38.5	<u>234</u> 16.9	<u>134</u> 9.7	<u>134</u> 9.6	—	<u>17</u> 1.2	—	—

но медленным ростом в высоту, умеренно густые сосняки — более быстрым. Необходимо отметить, что изменчивость диаметров, высот, относительных высот, объемов крон, а также редуцированных чисел по высоте и диаметру в перегущенных древостоях меньше, чем в редкостойных сосняках. Древостои, формирующиеся из подроста предварительных генераций, в возрасте 25–40 лет отличаются наиболее медленным ростом в высоту. Это связано с тем, что предварительный подрост определенное время испытывал жесткую конкуренцию со стороны материнского древостоя в наземной части за свет, а в зоне корневых систем за элементы минерального питания. Под пологом особи подроста постепенно превращались в сильно угнетенные, отстающие в росте деревца, которые долгое время не могут восстановить свою нормальную форму даже после удаления материнского древостоя. Сходные результаты были получены при исследовании сосновых молодняков в Карелии [20].

Под пологом исследованных сосняков лишайниковых и лишайниково-зеленомошных количество подроста сосны в возрасте от 15 до 45 лет, высотой от 19 до 152 см (ср. высота 60.6 см) составляет в среднем около 3 тыс. экз./га. В древостоях с полнотой 0.4–0.6 и выше, которые в течение последних 15–20 лет не подвергались хозяйственным воздействиям или низовым пожарам, создается высокий уровень корневой конкуренции и появившийся здесь подрост в течение многих лет находится в угнетенном состоянии, а затем постепенно отмирает.

Проведенное нами изучение корневых систем [21, 22] показало, что при более высокой густоте древостоя, благодаря наличию якорных корней, сосна полнее использует глубокие горизонты почвы, а при редком расположении деревьев — верхний почвенный слой (подстилку), в котором создается значительное корневое насыщение, оказывающее затем отрицательное влияние на рост и формирование нового поколения. Последнее мы наблюдали на многих участках, особенно на старых, плохо возобновившихся гарях с наличием отдельных старовозрастных деревьев и хорошо развитым напочвенным покровом [23].

При оценке жизненного состояния деревьев и древостоев сосны важнейшими показателями являются сведения о хвое, охвоенности побегов, степени развития крон. Продолжительность жизни хвои *P. sylvestris* на отдельных участках находится в пределах от 5.7 до 6.7 лет, доля здоровой хвои составляет 95–100%. Комплексная оценка состояния средневозрастных древостоев в сосняках лишайниковых и лишайниково-зеленомошных в Мурманской обл. позволила установить, что здоровые особи сосны обыкновенной в древостоях составляют 65–70%, на долю ослабленных и сильно ослабленных приходится в среднем по 15%, на долю сухих особей — менее 5%. Такой характер распределения по категориям жизненного состояния обусловлен конкурентным взаимодействием особей сосны, особенно в зоне корневых систем, и усиливающимися с возрастом процессами их дифференциации.

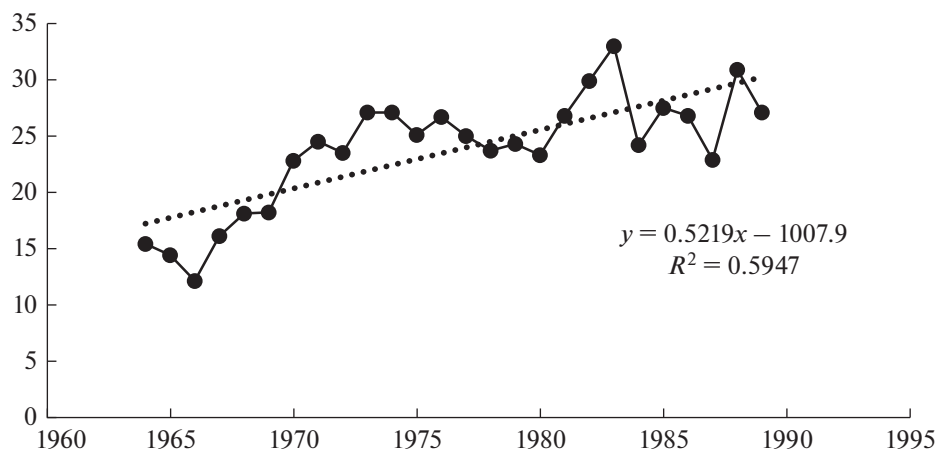


Рис. 1. Динамика прироста в высоту стволов сосны обыкновенной в 35-летних сосняках лишайниковых на Кольском полуострове [24].

По горизонтали – годы; по вертикали – линейный прирост, см.

Fig. 1. Dynamics of Scots pine height growth in 35-year old lichen pine forests in the Kola Peninsula [24].

X-axis – years; y-axis – height growth, cm.

Одним из интегральных показателей состояния и ресурсного потенциала формирующихся сосняков на вырубках и гарях является их рост: линейный прирост центрального и боковых побегов, прирост ствола по диаметру и, наконец, рост и развитие корневых систем. При удалении древесного яруса в результате рубки или пожара резко изменяются экологические условия в наземной сфере: увеличивается освещенность, уровень увлажнения и прогреваемость верхних горизонтов почвы, существенно изменяется состояние напочвенного покрова (он полностью уничтожается при низовых пожарах, частично повреждается при лесозаготовках, при этом отдельные теневыносливые виды снижают свое обилие). В подземной сфере резко снижается конкуренция за влагу и элементы питания. В таких условиях молодые растения сосны активно осваивают свободные экологические ниши, достаточно быстро растут и развиваются, несмотря на большую во многих случаях густоту (несколько десятков тысяч на 1 га), бедность и сухость маломощных, завалуненных почв. Ранее нами было установлено [24], что скелетная основа корневой системы сосны обыкновенной в условиях Кольского п-ова проявляет характерные морфологические особенности уже к 15–20 годам. Корни интенсивно распространяются к этому времени на 6–7, нередко 8–10 м от ствола.

В конце 1980-х гг. в условиях Кольского п-ова нами проводились анализ и оценка погодичной динамики прироста в высоту 35–40-летних древостоев сосны (рис. 1). При этом было установлено, что интенсивность линейного прироста центральных побегов сосны в исследованных сосняках еще

не достигала своего максимума [24]. Исследуя сосняки Кольского п-ова в 1950–60-х гг., отмечалось [25], что текущий прирост в высоту деревьев увеличивается в среднем до 35-летнего возраста. В северной Карелии [26] и на юге Мурманской обл. [20] этот период в зависимости от типа леса оценивался в 40–50 лет.

В ходе наших последних исследований в средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных, имеющих возраст 60–70 лет, была выявлена тенденция последовательного увеличения ежегодного линейного прироста сосны в высоту с некоторым замедлением в последние годы (рис. 2). Для подтверждения предварительных выводов мы разбили кривые прироста на временные отрезки, которые определяет сам их ход. В результате были получены следующие количественные данные: Ено-Ковдорский р-н: 1989–2008 гг. – линейный рост ($P < 0.001$, $R^2 = 0.647$) от ~16 до 32 см год⁻¹, 2009–2014 г. – плато на среднем уровне 27 ± 1 см год⁻¹. Ливский р-н: 1989–2008 гг. – линейный рост от ~19 до 28 см год⁻¹ ($P < 0.001$, $R^2 = 0.517$), 2009–2014 – плато на среднем уровне 22.4 ± 0.5 см год⁻¹. В р-не Уполокши в течение всего рассматриваемого периода (1989–2014 гг.) величина прироста оставалась постоянной на среднем уровне 19.4 ± 0.6 см год⁻¹. В Ено-Ковдорском и Ливском р-нах в период 1989–2008 гг. возрастной тренд объясняется, как следует из величины коэффициента детерминации, 52–65% варьирования прироста в высоту. Если обобщать данные по этим трем районам, то можно заметить, что с 2009 г. прирост в высоту во всех случаях остается стабильным: в Ливском и Уполокшском р-нах на среднем уровне около 20 см год⁻¹, в Ено-Ковдорском – на не-

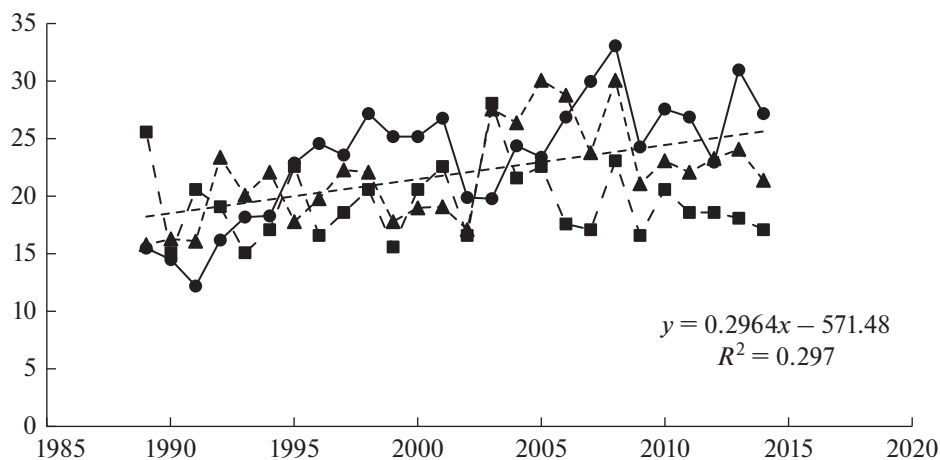


Рис. 2. Динамика прироста в высоту стволов сосны обыкновенной в 60–80-летних сосняках лишайниково-зеленомошных в Ено-Ковдорском (кружки), Уполокшском (квадраты) и Ливском (треугольники) р-нах Мурманской обл. По горизонтали – годы; по вертикали – линейный прирост, см.
Fig. 2. Dynamics of Scots pine height growth in 60–80 year old lichen-green moss pine forests in Eno-Kovdor (circles), Upoloksha (squares) and Liva (triangles) districts of the Murmansk region. X-axis – years; y-axis – height growth, cm.

сколькo более высоком уровне – 27 см год⁻¹. Таким образом, интенсивность прироста центральных побегов сосны обыкновенной стабилизируется к 55–65 годам и связано это, скорее, не с изменением погодных условий, а с закономерностями динамики ростовых процессов у исследуемого вида в изученных сообществах.

Одной из важнейших интегральных характеристик состояния и ресурсного потенциала древостоев является радиальный прирост стволов. В этой характеристике проявляются результаты конкуренции между деревьями, находят отражение антропогенные воздействия на лесные экосистемы (рубки, пожары, мелиорация), а также другие процессы, протекающие в природных сообществах [24, 27, 28]. Нами были получены серии абсолютных значений ширины годичных слоев сосны обыкновенной, позволяющие оценить динамику радиального прироста сосны в средневозрастных древостоях Уполокшского, Ено-Ковдорского и Ливского р-нов Мурманской обл. (рис. 3). Несмотря на удаленность друг от друга исследуемых сообществ и разную густоту древостоев, прослеживается достаточно высокая синхронность погодичной изменчивости приростов и близкие их значения. Интенсивность прироста по диаметру у сосны обыкновенной продолжает снижаться в исследованном временном интервале, не достигая стабильности, в отличие от прироста в высоту. Общую тенденцию динамики в период от 1980 до 2014 года отражает отрицательная линейная функция (рис. 3). При этом величина прироста снижается в среднем в 2–2.5 раза: от

0.8–1.1 мм год⁻¹ до 0.3–0.5 мм год⁻¹. В трех исследованных районах эта функция объясняет в среднем ~20% варьирования прироста по диаметру. Остальное варьирование происходит за счет других факторов. Анализ кривых абсолютных значений радиального прироста сосны обыкновенной показывает, что у особей во всех исследованных сообществах выражены кратковременные циклы флуктуаций прироста по диаметру. Периоды депрессий и экспрессий прироста охватывают ряд лет с четко выраженными минимумами и максимумами, приходящимися на определенные годы. Они, как правило, имеют синхронный характер в разных районах и заметно различаются по амплитудам. Связано это, скорее всего, на наш взгляд, с флуктуациями климатических составляющих.

Еще одним важным интегральным показателем, отражающим состояние лесных экосистем и степень их антропогенной нарушенности, является биологическая продуктивность древостоев, определяемая методами традиционной и весовой таксации [16]. В настоящее время фитомасса лесов рассматривается как их основная характеристика, отражающая ход процессов в лесных экосистемах и используемая в целях экологического мониторинга, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова, моделирования продуктивности лесов, устойчивого ведения лесного хозяйства с учетом глобальных изменений.

Несмотря на важность изучения фитомассы в лесах, количество эмпирических данных остается незначительным из-за трудоемкости работ. В лесах Мурманской обл. до начала наших исследова-

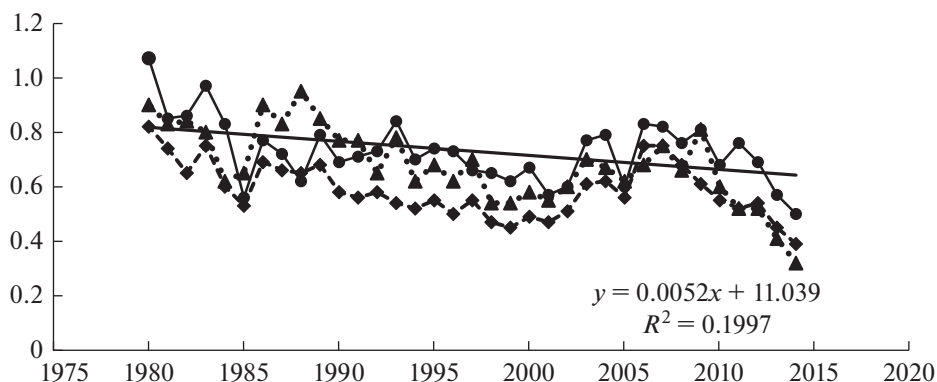


Рис. 3. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в 60–80-летних сосняках лишайниково-зеленомошных в Ено-Ковдорском (кружки), Уполокшском (квадраты) и Ливском (треугольники) р-нах Мурманской обл. По горизонтали – годы; по вертикали – прирост по диаметру, мм.

Fig. 3. Dynamics of Scots pine radial increment in 60–80 year old lichen-green moss pine forests in Eno-Kovdor (circles), Upoloksha (squares) and Liva (triangles) districts of the Murmansk region. X-axis – years; y-axis – radial increment, mm.

ний такие работы практически не проводились. Между тем, реальный прогресс в оценке биологической продуктивности лесов возможен только на основе достаточного фактологического материала.

Ранее мы отмечали [24], что при выравнивании эмпирических данных массы и продукции модельных деревьев в зависимости от их таксационных показателей исследователи пользуются лишь степенной функцией, преобразованной логарифмированием к линейному виду, аргументом которой служит произведение квадрата диаметра на высоте груди на высоту дерева. Такой вид выравнивания является самым распространенным в лесоэкологических исследованиях [12, 29]. В процессе обработки фактических данных была произведена оценка связи таксационных показате-

лей с продуктивностью молодых сосновых древостоев на Кольском Севере с использованием нескольких функций [30]. В результате было установлено, что использование линейного уравнения вида $y = ax + b$ для аппроксимации данных по фракционному составу фитомассы сосны обыкновенной дает вполне удовлетворительные результаты. Анализ связи общей надземной фитомассы и ее фракций с таксационными характеристиками модельных деревьев сосны обыкновенной в средневозрастных древостоях разных районов Мурманской обл. (рис. 4) подтверждает этот вывод. Максимальная теснота связи выявлена для массы ствола, минимальная – для массы сухих ветвей. Использование этой модели позволяет легко и достаточно надежно получать вероятные значения фитомассы древостоев сосны обыкновенной.

Таблица 3. Структура надземной фитомассы сосны обыкновенной в средневозрастных древостоях сосны обыкновенной в Мурманской обл. (в расчете на 1 модельное дерево)

Table 3. Structure of aboveground phytomass of Scots pine in the middle-aged stands in the Murmansk region (per 1 model tree)

Районы исследований Study area	Доля в общей надземной фитомассе, % Share in total aboveground phytomass, %			
	ствол trunk	живые ветви live branches	охвоенные побеги foliated shoots	сухие ветви dry branches
Уполокшский Upolokshsky	66.6	17.3	13.1	3.0
Ено-Ковдорский Ено-Kovdorsky	59.9	15.4	21.1	3.6
Ливский Livsky	58.1	16.3	24.2	1.4
В среднем On the average	61.5	16.3	19.5	2.7

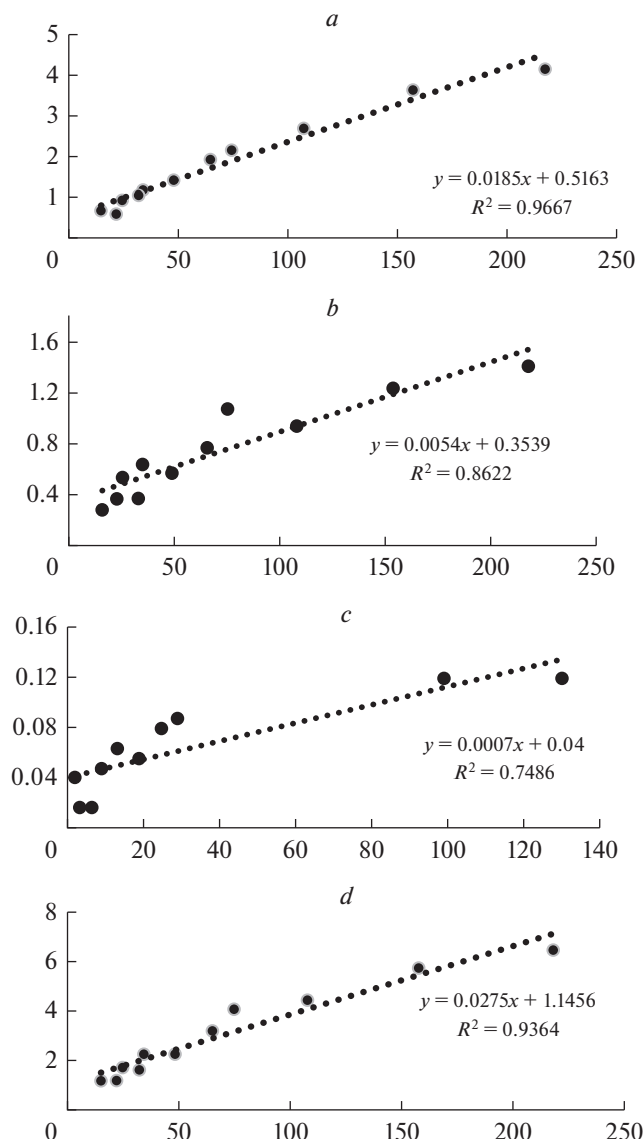


Рис. 4. Зависимость фитомассы ствола (а), живых ветвей (b), сухих ветвей (c) и общей надземной фитомассы (d) сосны обыкновенной от таксационных характеристик деревьев в 60–70-летних древостоях Мурманской обл.

По горизонтали – произведение высоты (H) на квадрат диаметра (D^2) модельных деревьев; по вертикали – фитомасса, кг АСВ.

Fig. 4. Dependence of trunk (a), live branches (b) and dry branches (c) phytomass and total above-ground Scots pine phytomass (d) on the tree mensuration parameters in 60–70-year-old stands of the Murmansk region.

X-axis – height (H) multiplied by the square of diameter (D^2) of the model trees; y-axis – phytomass, absolute dry weight, kg.

Согласно полученным данным, в исследованных сообществах на древесину ствола приходится 58–67% от общей надземной фитомассы (табл. 3). Фитомасса ветвей – один из важнейших компонентов – занимает второе место после стволовой древесины. Живые неохвоенные ветви в средневозрастных сообществах сосны обыкновенной составляют 15.4–17.3% от общей надземной фитомассы, а доля охвоенных побегов вместе с хвоей достигает 21–24%. Наибольшая доля ветвей отмечена у сосны обыкновенной в древостоях с

пониженной полнотой. Фитомасса сухих ветвей в исследованных древостоях варьирует в пределах 1.4–3.6% от фитомассы надземной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные обследования сосновых лесов на территории Мурманской обл. показали, что формирующиеся на вырубках и гарях древостои по многим показателям заметно отличаются от древостоев-эталонов. Неодинаковая густота и воз-

растная структура древостоев обуславливают существенные различия в ходе роста. Самым медленным ростом в высоту в возрасте 25–40 лет отличаются древостои, формирующиеся из подроста предварительных генераций. Сравнительно медленным ростом в высоту характеризуются разреженные сосняки, более быстрым – умеренно густые.

В средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных выявлена тенденция постепенного увеличения ежегодного линейного прироста в высоту сосны до 55–65-летнего возраста. В дальнейшем прирост в высоту сосны обыкновенной в Мурманской обл. перестает увеличиваться. Радиальный прирост сосны обыкновенной имеет максимальные значения в первые 10–15 лет после рубок и пожаров, затем наблюдается его постепенный спад. Эта тенденция характерна для подавляющего большинства лесных насаждений. Наблюдаются заметные различия в характере динамики радиального прироста и прироста в высоту. Интенсивность прироста по диаметру сосны обыкновенной в средневозрастных лесах последовательно снижается, в то время как интенсивность прироста в высоту до 55–65 лет продолжает увеличиваться.

Для исследованных сообществ характерна тесная линейная связь таксационных показателей деревьев с их фитомассой. Максимальная теснота связи с таксационными показателями выявлена для массы ствола, минимальная – для массы сухих ветвей. Оценка запасов и фракционного распределения общей надземной фитомассы сосны обыкновенной в изученных средневозрастных сосновых лесах показала, что на древесину стволов приходится 58–67%. Живые неохвоенные ветви составляют 15.4–17.3%, доля охвоенных побегов вместе с хвоей достигает 21–24%. Наибольшая масса ветвей отмечена у сосны обыкновенной в древостоях с пониженной полнотой. Фитомасса сухих ветвей варьирует в пределах 1.4–3.6% от фитомассы надземной части.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госзадания по плановой теме “Коллекции живых растений Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (история, современное состояние, перспективы использования)”, № АААА-А18-118032890141-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов В.А. 1967. Строение и ход роста насаждений сосны лапландской в Мурманской области. – Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. М. С. 79–86. <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/voprostae/text.pdf>
2. Правдин Л.Ф. 1964. Сосна обыкновенная. М. 189 с.
3. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. 1985. Сосняки Крайнего Севера. М. 116 с.
4. Цветков В.Ф. 2002. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск. 379 с. <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/sosn/text.pdf>
5. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. 2012. Современные проблемы притундровых лесов. – Материалы Всероссийской конференции с международным участием “Современные проблемы притундровых лесов”, 4–9 сентября 2012 г. Архангельск. С. 5–14. <https://narfu.ru/university/library/books/0685.pdf>
6. Никонов В.В., Переверзев В.Н. Почвообразование в Кольской Субарктике. Л. 1989. 168 с.
7. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск. 342 с. https://www.rfbr.ru/rffi/gu/books/o_28031#7
8. Методы изучения лесных сообществ. 2002. СПб. 240 с.
9. Fritts H.C. 1976. Tree rings and climate. London, New York, San Francisco. 582 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>
10. Юкнис Р.А. 1990. Рост и продуктивность одновозрастных сосняков в условиях загрязненной природной среды. Автореферат дисс.... д-ра биол. наук. Красноярск. 40 с.
11. Усольцев В.А. 2010. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург. 573 с. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/2606/1/Usoltsev_Fitomassa.pdf
12. Ильина Н.А., Рождественский С.Г., Уткин А.И., Гульбе Я.И., Каплина Н.Ф., Арутюнян С.Г. 1986. Сравнение разных функций, используемых при аппроксимации эмпирических данных модельных деревьев. – Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах. М. С. 14–18.
13. Моисеев В.С. 1971. Таксация молодняков. Л. 343 с.
14. Луганский Н.А. 1974. Научное обоснование способов возобновления и формирования молодняков на вырубках в сосновых лесах Урала: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Алма-Ата. 56 с.
15. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. 1978. Фитомасса и особенности ее продуцирования деревьями разного ценологического положения. – Продуктивность сосновых лесов. М. С. 69–89.

16. Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. 2012. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения. Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург. 366 с. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/458/5/Usolcev_Vorobeychik.pdf
17. Цветков В.Ф. 1989. Формирование сосняков Кольского полуострова в связи со сплошными рубками. — В сб.: Динамическая типология лесов. Сб. научн. трудов. М. С. 119–143.
18. Листов А.А. 1986. Боры-беломошники. М. 191 с.
19. Барабин А.И. 2012. Прогнозирование урожая семян хвойных на Европейском Севере. — Современные проблемы притундровых лесов. Материалы Всероссийской конференции с междунар. Участием, 4–9 сентября 2012 г., Архангельск. Сев (Арк.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. С. 313–317. <https://narfu.ru/university/library/books/0685.pdf>
20. Зябченко С.С. Иванчиков А.А. 1978. Зональные особенности формирования сосняков черничных Карелии и Кольского полуострова и динамика структуры растительной массы в них. — Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск. С. 30–75.
21. Ярмишко В.Т., Цветков В.Ф. 1987. Строение, запасы и распределение в почве корневых систем растений в сообществах сосновых молодняков Кольского полуострова. — Бот. журнал. 2(4): 496–505.
22. Ярмишко В.Т., Лумме И., Ярмишко М.А. 2007. Реакция тонких корней *Pinus sylvestris* L. на изменение среды их обитания на Карельском перешейке и юго-восточной Финляндии. — В сб: Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера: Материалы XI Перфильевских научных чтений. Архангельск. С. 93–98.
23. Динамика лесных сообществ Северо-Запада России. 2009. СПб. 276 с.
24. Ярмишко В.Т. 1997. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ. 210 с.
25. Максимов В.А. 1963. Составление эскизов таблиц хода роста сосновых насаждений Мурманской области. — Сборник статей по обмену произв.-техн. опытом по лесн. хозяйству и лесоустройству. Л. С. 53–91.
26. Казимиров Н.И., Кабанов В.В., Преснухин Ю.В. 1978. Ход роста сосновых насаждений северной Карелии. — Формирование и продуктивность сосновых насаждений Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск. С. 102–107.
27. Yarmishko V.T. 2015. Radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in varied environment influenced by air pollution in the European North of Russia. — Forestry Ideas. 21(2): 375–383. https://forestry-ideas.info/issues/issues_Download.php?download=260
28. Ярмишко В.Т., Игнатьева О.В. 2019. Многолетний импактный мониторинг состояния сосновых лесов в центральной части Кольского полуострова. — Известия РАН. Серия биологическая. 6: 658–668. <https://doi.org/10.1134/S0002332919060134>
29. Биологическая продуктивность лесов Поволжья. 1982. М. 282 с.
30. Лянгузова И.В., Ярмишко В.Т. 1990. Использование некоторых корреляционных уравнений для выражения связи таксационных показателей с продуктивностью древостоя в фоновых условиях и при атмосферном загрязнении. — Всесоюз. совещание “Проблемы лесоведения и лесной экологии”. Тез. докладов. Минск. С. 76–77.

Growth Rate and Phytomass Structure of *Pinus sylvestris* (Pinaceae) in the Middle-Aged Scots Pine Forests of the Murmansk Region

V. T. Yarmishko^{a, *}, O. V. Ignatieva^b

^aKomarov Botanic Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

^bSaint-Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

*e-mail: vasilijarmishko@yandex.ru

Abstract—Height and radial growth and aboveground phytomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 60–80-year-old lichen and lichen-green moss forests in the Murmansk region were studied. The investigated stands originate from clearcuttings and stand-replacing fires. In the research areas, the trees of Scots pine were characterized by increased annual height increment at the age from 35 to 55–65 years, followed by its stabilization in older trees and decreased annual radial increment over the whole studied age interval. The phytomass of Scots pine trunks was 58–67%, live branches – 15.4–17.3%, foliated shoots with needles – 21–24% and dry branches – 1.4–3.6% of the total aboveground phytomass. A close linear relationship of the tree trunk size parameters and aboveground phytomass has been established.

Keywords: Scots pine, height growth, growth in diameter, pine forest, phytomass, felling and burning, Murmansk region

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment research theme AAAA18-118032890141-4 “Collections of living plants of the Peter the Great Botanical garden of V.L. Komarov Botanical Institute RAS (history, current state and perspectives)”.

REFERENCES

1. *Maksimov V.A.* 1967. [The structure and growth of *Pinus sylvestris lapponica* plantations in the Murmansk region]. – In: [Problems of the management of boreal forests in the European North]. Moscow. P. 79–86. <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/voprostae/text.pdf> (In Russian)
2. *Pravdin L.F.* 1964. [Scots pine]. Moscow. 189 p. (In Russian)
3. *Tsvetkov V.F., Semenov B.A.* 1985. [Pine forests of the Far North]. Moscow. 116 p. (In Russian)
4. *Tsvetkov V.F.* 2002. [Pine forests of the Kola forest-growing region and their management]. Arhangelsk. 380 p. <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/sosn/text.pdf> (In Russian)
5. *Tsvetkov V.F., Semenov B.A.* 2012. [Modern problems of tundra forests]. – In: [Proceedings of the All-Russian conference with international participation “Modern problems of tundra forests” September 4–9, 2012, Archangelsk]. Arhangelsk. P. 5–14 <https://narfu.ru/university/library/books/0685.pdf> (In Russian)
6. *Nikonov V.V., Pereverzev V.N.* 1989. [Soil formation in the Kola Subarctic Region]. Leningrad. 168 p. (In Russian)
7. *Shishov L.L., Tonkonogova V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I.* 2004. [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk. 342 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_28031#7 (In Russian)
8. [Methods for studying forest communities]. 2002. Saint Petersburg. 240 p. (In Russian)
9. *Fritts H.C.* 1976. Tree rings and climate. London, New York, San Francisco. 582 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>
10. *Juknis R.A.* 1990. [Growth and productivity of pine forests of the same age in a polluted environment: Abstr. ... Diss. Doct. (Biology) Sci.]. Krasnoyarsk. 40 p. (In Russian)
11. *Usoltsev V.A.* 2010. Urasian forest biomass and primary production data. Yekaterinburg. 573 p. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/2606/1/Usoltsev_Fitomassa.pdf (In Russian)
12. *Ilyina N.A., Rozhdestvenskij S.G., Utkin A.I., Gul'be. Ja.I. Kaplina N.F., Arutjunjan S.G.* 1986. [Comparison of different functions used to approximate the empirical data of model trees]. – In: [Vertical and fractional forest phytomass distribution]. Moscow. P. 14–18. (In Russian)
13. *Moiseev V.S.* 1971. [Mensuration of the young forest growth]. Leningrad. 343 p. (In Russian)
14. *Luganskij N.A.* 1974. [Scientific substantiation of the methods of renewal and formation of young stands on fellings in the pine forests of the Urals: Abstr. ... Diss. Doct. (Biology) Sci.] Alma-Ata, 56 p.
15. *Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S.* 1978. [Phytomass and features of its production in trees of different coenotic positions]. – In: [Capability of pine forests]. Moscow. P. 69–89. (In Russian)
16. *Usoltsev V.A., Vorobejchik E.L., Bergman I.E.* 2012. Biological productivity of Ural forests under conditions of air pollutions: an investigation of a system of regularities. Ekaterinburg. 366 p. https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/458/5/Usolcev_Vorobeychik.pdf (In Russian)
17. *Tsvetkov V.F.* 1989. [Formation of pine forests on the Kola Peninsula due to continuous logging]. – In: [Dynamic typology of the forest]. Moscow. P. 119–143. (In Russian)
18. *Listov A.A.* 1986. [Reindeer lichen pine forests]. Moscow. 191 p. (In Russian)
19. *Barabin A.I.* 2012. [Forecasting yields of the seeds of conifers in the European North]. – In: [Proceedings of the All-Russian conference with international participation “Modern problems of tundra forests” September 4–9, 2012, Archangelsk]. Arhangelsk. P. 313–317. <https://narfu.ru/university/library/books/0685.pdf> (In Russian)
20. *Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A.* 1978. [Zonal features of the formation of blueberry pine forests in Karelia and on the Kola Peninsula and dynamics of their vegetation structure]. – In: [Forming and productivity of the pine forests of the Karelin ASSR and Murmansk region]. Petrozavodsk. P. 30–75. (In Russian)
21. *Yarmishko V.T., Tsvetkov V.F.* 1987. [Structure, stocks and distribution of plant root systems in soil in the young pine tree communities of the Kola Peninsula]. – Bot. zhurnal. 2(4): 496–505. (In Russian)
22. *Yarmishko V.T., Lumme I., Yarmishko M.A.* 2007. [Response of *Pinus sylvestris* L. tender roots to changes in their habitat on the Karelian Isthmus and in South-Eastern Finland]. – In: [Biodiversity, conservation and sustainable use of plant resources]. Arkhangelsk. P. 93–98. (In Russian)
23. [Dynamics of forest communities in Northwest Russia]. 2009. Saint Petersburg. 276 p. (In Russian)
24. *Yarmishko V.T.* 1997. [Scots pine and atmospheric pollution in the European North]. Saint Petersburg. 210 p. (In Russian)
25. *Maksimov V.A.* 1963. [Sketching tables of the growth rate of pine plantations in the Murmansk region]. – In: [Collection of articles on the production and exchange of technical expertise in forestry and forest management]. Leningrad. P. 79–86. (In Russian)

26. *Kazimirov N.I., Kabanov V.V., Presnuhin Ju.V.* 1978. [Growth patterns of pine plantations in North Karelia]. – In: [Forming and productivity of the pine forests of the Karelin ASSR and Murmansk region]. Petrozavodsk. P. 102–107. (In Russian)
27. *Yarmishko V.T.* 2015. Radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in varied environment influenced by air pollution in the European North of Russia. – *Forestry Ideas*. 21(2): 375–383.
https://forestry-ideas.info/issues/issues_Download.php?download=260
28. *Yarmishko V.T., Ignatyeva O.V.* 2019. Multiyear impact monitoring of pine forests in the central part of the Kola Peninsula. – *Biology Bulletin*. 46(6): 636–645.
<https://doi.org/10.1134/S106235901906013X>
29. [Biological productivity of the Volga region forests]. 1982. Moscow. 282 p. (In Russian)
30. *Ljanguzova I.V., Yarmishko V.T.* 1990. [Application of some correlation equations to express the relationship between taxation indicators and forest stand productivity in the background conditions and under atmospheric pollution]. – [Problems of forestry and forest ecology: Abstracts of the All-Union conference]. Minsk. P. 76–77. (In Russian)