

УДК 630+582.475 (470.21)

**Оценка динамики радиального прироста и особенности
возрастной структуры сосновых древостоев в южном секторе
Кольского полуострова**

© 2009. О.А. Гончарова¹, к.б.н., н.с., А.В. Кузьмин², д.б.н., профессор,
Е.Ю. Полоскова¹, к.б.н., заместитель директора,

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН,

² Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,

e-mail: poloskova_eu@mail.ru

Проанализированы особенности возрастной структуры сосновых древостоев. Определены основные закономерности динамики годичного радиального прироста сосны обыкновенной, произрастающей в южном секторе Кольского региона.

Age structure of pine forest stands is analyzed. The basic laws of dynamics of a year radial gain of *Pinus sylvestris* L. in the southern sector of the Kola region are determined.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, годичный радиальный прирост, долговременная динамика радиального роста, возрастная динамика радиального роста

Лесные сообщества на Кольском полуострове находятся на северном пределе распространения. Они являются наиболее северными в европейской части России. Общая площадь таёжной зоны в пределах полуострова 98 тыс. км² делится на подзону лесотундры (46 тыс. км²) и северотаёжную подзону (52 тыс. км²) [1]. Наибольшую ценность в крайне-северных лесах представляют сосняки, эти леса обладают более высокой продуктивностью и выполняют важнейшие средостабилизирующие и защитные функции лесного покрова на северном пределе распространения. Сосновые леса Крайнего Севера в экологическом отношении – наиболее действенный фактор природной среды [2].

В современных условиях изменения климата существенно растёт интерес к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на указанные воздействия. В условиях Крайнего Севера подобные исследования особенно актуальны. Больше внимание уделяется вопросу реакции годичного прироста древесных организмов на климатические факторы. Для выявления изменений в структуре лесных экосистем необходимо параллельно изучать реакцию других компонентов, в частности, изменения в долговременной и возрастной динамике годичного радиального прироста. Площадь годичного кольца является наиболее достоверным косвенным показателем изменений продуктивности деревьев и древостоев [3]. С.П. Арефьев [4] отмечает,

что дерево является наилучшим индикатором устойчивости лесных экосистем.

Многие особенности сезонного радиального роста деревьев имеют региональную специфику. Это требует проведения дендрохронологических исследований в различных регионах страны. Оценка изменений в динамике диаметрального роста древесных организмов на региональном уровне является недостаточно разработанным вопросом. В связи с этим оценка тенденций радиального роста древесных организмов в высоких широтах является важным условием для понимания процессов развития и устойчивости лесных экосистем.

В соответствии с актуальностью рассматриваемых вопросов формулируются следующие задачи: описание особенностей возрастной структуры исследованных модельных площадей; анализ долговременной и возрастной динамики радиального роста, изменчивости и вариабельности величины годичного радиального прироста; оценка долговременной и возрастной устойчивости сосновых древостоев с применением индекса стресса; определение географических трендов долговременной и возрастной динамики диаметрального роста деревьев.

Материалы и методика

С целью решения представленных выше задач в Мурманской области по меридианаль-

ному направлению выбраны три экспериментальные площади, представляющие собой географическую трансекту протяженностью около 400 км с запада на восток (рис. 1). Рассматриваемые локальные лесные экосистемы находятся на расстоянии, не превышающем 10 км от населённых пунктов метеорологических наблюдений МО 1 (Алакуртти), МО 2 (Умба), МО 3 (Кашкаранцы). Из всей совокупности пробных площадей, расположенных в южном секторе Кольского региона, выбраны древостои, имеющие максимальное сходство по основным характеристикам преобладающей породы. Кроме того, используемые насаждения не имеют существенных различий по форме поверхности рельефа, поскольку данный фактор достоверно влияет на структуру древостоя.

Типологическое описание модельных объектов следующее. Модельный объект 1. Рельеф местности ровный. Тип леса: кустарничково-сфагновый. Состав древостоя: 10С. Подрост: сосна группами. Подлесок: берёза, ива группами, жимолость единично. Кустарничковый ярус из черники, брусники, багульника. Напочвенный покров состоит из сфагновых мхов, зелёные мхи представлены незначительно. Модельный объект 2. Рельеф площади ровный. Тип леса: лишайниково-вороничный. Состав древостоя: 10С+ед.Б. Подрост: сосна немногочисленно. Травяно-кустарничковый ярус разрежён, преобладает вороника (*Empetrum nigrum L.*). Лишайниковый покров из *Cladina arbuscula*, *C. stellaris*, *Cetraria islandica*. Модельный объект 3. Рельеф местности равнинный. Тип леса: сфагново-вороничный. Состав древостоя: 10С+ед.Е. Подрост: сосна обильно, ель единично. Подлесок: можжевельник единично. Напочвенный покров состоит из брусники и лишайников.

В пределах каждого компактного древостоя для сбора эмпирической информации использовались 30 деревьев, расположенных в непосредственной близости. Всего обследовано 90 деревьев. У каждого из деревьев с помощью бурава Пресслера отобраны образцы древесных кернов, измерение которых проводилось с точностью до 0,01 мм с использованием автоматизированной системы телеметрического анализа [5]. Возраст каждого дерева определён по количеству годичных слоев. Количественный анализ исходных данных основан на применении стандартных статистических методов [6, 7].

Для оценки устойчивости древостоя применяли индекс стресса (ИС) по С.П. Арефьеву

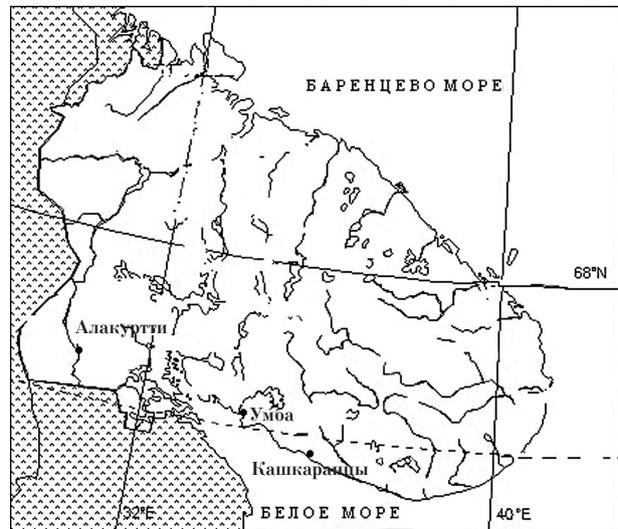


Рис. 1. Расположение модельных объектов

[4]. Биологический смысл показателя – реакция на воздействие дезаптирующего фактора, проявляющаяся в резком уменьшении или увеличении прироста. ИС, соответствующий устойчивому состоянию, близок к нулю по модулю. Поэтому в нашей работе использовали не абсолютные значения ИС, а значения по модулю. Временной ряд индексов стресса является относительно однородным. В используемом показателе уже заложена норма (нулевое значение, соответствующее наибольшей устойчивости). Повышенный уровень индекса стресса наблюдается в пессимальных условиях.

Для достоверного анализа дендрохронологических рядов необходимо выполнить процедуру удаления возрастного тренда. Под возрастным трендом понимали детерминацию возрастом древостоя других показателей. Метод экологической реконструкции ростового процесса по Алексееву А.С. [8] позволяет объективно преобразовать данные о радиальном росте деревьев. Данный способ стандартизации абсолютных значений годового прироста дерева основан на подавлении эффекта возрастной (биологической) кривой роста. Основной единицей информации является значение радиального прироста с двумя временными характеристиками: возрастом дерева, на котором он образовался, и календарным годом отложения. Далее данные о ширине годичных колец, образовавшихся на разных деревьях, группировали по возрастным группам с учётом календарного года их образования. В связи с тем, что общим свойством для исследуемых древостоев является выпадение отдельных классов возраста, в работе использовали

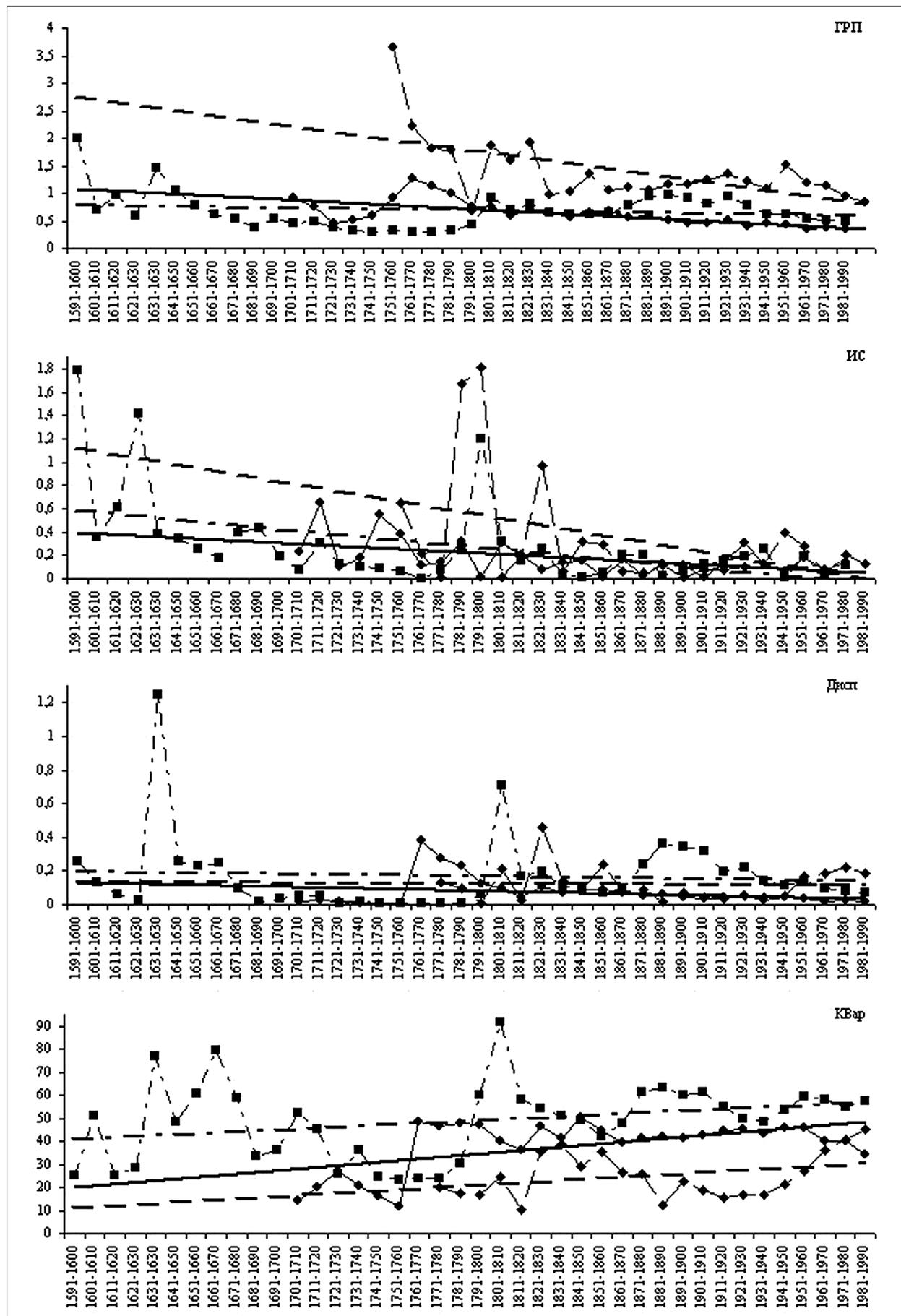


Рис. 2. Долговременная динамика радиального прироста

Примечание к рис. 2:

ГРП – средний годичный радиальный прирост, ИС – индекс стресса, Дисп – дисперсия среднего годичного радиального прироста, КВар – коэффициент вариации среднего годичного радиального прироста

----- МО 1 - . - . - . - . - МО 2 ----- МО 3

Уравнения линейных трендов долговременной динамики

ГРП: МО 1 $y = -0.048x + 2.7918$, $R^2 = 0.3451$; МО 2 $y = -0.0047x + 0.7782$, $R^2 = 0.0284$; МО 3 $y = -0.0183x + 1.1093$, $R^2 = 0.4479$

ИС: МО 1 $y = -0.029x + 1.1563$, $R^2 = 0.1769$; МО 2 $y = -0.0163x + 0.6082$, $R^2 = 0.2405$; МО 3 $y = -0.0087x + 0.4024$, $R^2 = 0.2229$

Дисп: МО 1 $y = -0.0004x + 0.1314$, $R^2 = 0.0005$; МО 2 $y = -0.0014x + 0.1942$, $R^2 = 0.0055$; МО 3 $y = -0.0025x + 0.1391$, $R^2 = 0.0642$

КВар МО 1 $y = 0.5034x + 10.423$, $R^2 = 0.1095$; МО 2 $y = 0.4228x + 40.016$, $R^2 = 0.0899$; МО 3 $y = 0.7257x + 19.287$, $R^2 = 0.3074$

преобразованный «урезанный» метод экологической реконструкции ростового процесса по Алексееву А.С. [8]. Для анализа долговременных тенденций радиального роста данные о ширине годичных колец, образовавшихся на разных деревьях, группировали по календарным годам с шагом в 10 лет от 1591 г. до 1990 г. При исследовании возрастной динамики группировку дендрохронологических данных проводили по возрастным классам с шагом в 20 лет. Всего исследовано на МО 1 4395 годичных слоев, на МО 2 – 5117, на МО 3 – 5361.

Таким образом, у каждого ряда (ряд долговременной и ряд возрастной динамики) максимально исключены индивидуальные характеристики роста по диаметру. Эти ряды отражают в большей степени общую изменчивость, характерную для древостоя в целом, а не индивидуальную. Аналогичным образом группировали значения индекса стресса (ИС), дисперсии среднего ГРП (Дисп) и коэффициента вариации (КВар).

Результаты и обсуждение

Распределение особей сосны обыкновенной по классам возраста представлено в таблице 1.

Обследованные деревья распределили в 16 возрастных классов (от 5-го по 20-й классы). Самыми массовыми являются классы возраста с 6-го по 10-й, в среднем к этим классам отнесли от 10% деревьев в 10-м классе до 21% –

в 9-м. Наиболее представлены 9-й возрастной класс – 21% и 8-й – 16% от общего числа рассмотренных деревьев.

В настоящей работе определено, что общим свойством для исследуемых древостоев является выпадение отдельных классов возраста. Таковыми являются для: МО 1: 10, 11, 13-20-й; МО 2: 8, 11-14, 17, 19-й; МО 3: 5, 13, 14, 16-20-й (табл. 1). На всех модельных площадках не обнаружены деревья 13, 14, 17 и 19-го классов возраста. Датировка обнаруженных событий позволяет определить следующие временные интервалы по годам: МО 1: 1772-1811; МО 2: 1608-1627, 1629-1667, 1708-1787, 1828-1847; МО 3: 1708-1747. Древостой на МО 2 отличается от других МО наиболее масштабным характером выпадения классов возраста, установлено 4 временных интервала, когда не происходило образование новых поколений растений. Для МО 1 и 3 обнаружено по 1 временному этапу, в течение которых отсутствовало возобновление деревьев. Явление выпадения из возрастного спектра отдельных классов возраста ранее было показано для сосновых древостоев Кольского региона [9, 10].

В таблице 2 приведены типы возрастной структуры исследованных модельных объектов, определённые на основе значения коэффициента вариации среднего возраста.

Возрастная структура исследованных сосняков не отличается разнообразием: от условно разновозрастных до разновозрастных.

Таблица 1

Распределение деревьев по классам возраста

МО	Количество деревьев по классам возраста, %															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	7	17	20	20	30	–	–	7	–	–	–	–	–	–	–	–
2	17	23	13	–	7	23	–	–	–	–	3	3	–	7	–	3
3	–	3	3	27	27	7	20	3	–	–	3	–	–	–	–	–

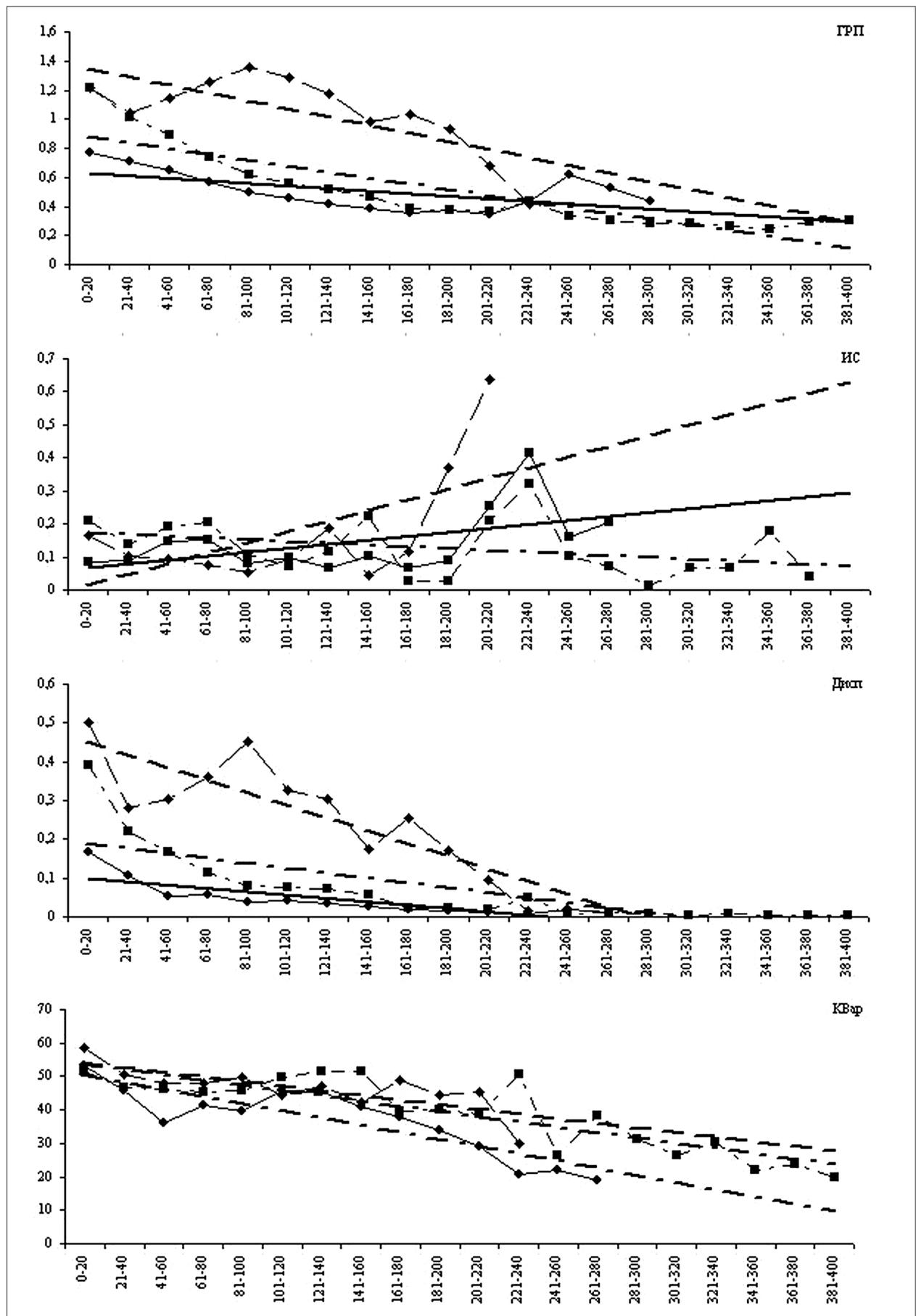


Рис. 3. Возрастная динамика радиального прироста

Примечание к рис. 3: см. примечания к рисунку 2.

Уравнения линейных трендов возрастной динамики

ГРП: МО 1 $y = -0,0558x + 1,4056$, $R^2 = 0,5545$; МО 2 $y = -0,0403x + 0,9163$, $R^2 = 0,7605$; МО 3 $y = -0,0171x + 0,641$, $R^2 = 0,3297$

ИС: МО 1 $y = 0,0324x - 0,0174$, $R^2 = 0,3663$; МО 2 $y = -0,0053x + 0,1785$, $R^2 = 0,1231$; МО 3 $y = 0,0119x + 0,0544$, $R^2 = 0,2714$

Дисп: МО 1 $y = -0,0327x + 0,4827$, $R^2 = 0,7063$; МО 2 $y = -0,0127x + 0,2008$, $R^2 = 0,6077$; МО 3 $y = -0,0087x + 0,1086$, $R^2 = 0,6669$

КВар МО 1 $y = -1,3949x + 55,514$, $R^2 = 0,5873$; МО 2 $y = -1,5904x + 55,452$, $R^2 = 0,7462$; МО 3 $y = -2,1589x + 52,654$, $R^2 = 0,7518$

На следующем этапе рассмотрим результаты анализа долговременной динамики радиального роста, индекса стресса, дисперсии среднего и коэффициента вариации ГРП сосны обыкновенной (рис. 2). Средняя величина ГРП по 10-летним интервалам на всём протяжении анализируемого промежутка времени выше на МО 1 (Алакуртти), данный древостой расположен в континентальной части полуострова и характеризуется меньшим возрастом большинства деревьев.

Анализ динамики среднего значения ГРП по десятилетиям показал, что все полученные тренды являются отрицательными, это с биологической точки зрения свидетельствует о наличии тенденции к сокращению величины радиального прироста на исследуемом временном отрезке. Для МО 1 и 3, характеризующихся как условно разновозрастные и отличающиеся сходством в явлении выпадения отдельных классов возраста, полученные линейные отрицательные тренды являются достоверными, на МО 2 отрицательный тренд не является достоверным, однако при анализе долговременной динамики величины ГРП старовозрастных деревьев на данном объекте [41] установлена статистически достоверная тенденция к уменьшению среднего ГРП в возрастных группах до 100 и свыше 240 лет. Общую тенденцию к снижению средней величины радиального прироста можно объяснить увеличением среднего возраста деревьев по ходу исследованного отрезка времени, также началом промышленного освоения.

При анализе изменчивости среднедесятилетних значений ГРП, выражающейся в дисперсии, установлено, что линейные

тренды графиков динамики являются также отрицательными, но статистически недостоверными. Динамика КВар средних величин ГРП по десятилетиям характеризуется наличием статистически достоверной тенденции к росту анализируемого показателя на протяжении исследуемого отрезка времени для МО 3. У графиков долговременной динамики КВар на МО 1 и 2 выделенный линейный тренд также является положительным, но недостоверным.

Результаты исследования долговременной динамики среднедесятилетних величин ИС показали следующее. Для всех МО установлена статистически достоверная тенденция к сокращению значений ИС на протяжении анализируемых десятилетий, судить об этом позволяет наличие достоверного отрицательного тренда у графиков долговременной динамики ИС. Отметим, что величина угла наклона линии тренда максимальна для МО 1, минимальна – для МО 3. В целом для МО 1 значения ИС выше, чем для МО 2, для МО 3 данный показатель имеет незначительные значения. Выше отмечено, что ИС используется как показатель устойчивости, следовательно, можно сделать заключение о тенденции к снижению уровня устойчивости на протяжении рассмотренного временного интервала и в географическом направлении с запада на восток. Аналогичные результаты получены при исследовании влияния климатических факторов на радиальный прирост в данных сосняках. Модельный древостой в Алакуртти проявляет меньшую устойчивость к воздействию комплекса метеофакторов [9, 10].

Таблица 2

Типы возрастной структуры сосняков Кольского полуострова

МО	Средний возраст, лет	Коэффициент вариации, %	Тип возрастной структуры
1	146 ± 6	22	Условно разновозрастная
2	171 ± 16	50	Разновозрастная
3	179 ± 6	19	Условно разновозрастная

На следующем этапе исследовали возрастную динамику средних значений радиального прироста, его изменчивость и коэффициент вариации, индекс стресса. Анализировали ГРП всей совокупности обследованных деревьев по 20-летним интервалам независимо от временного фактора. Анализ дендрохронологических рядов с шагом в 20 лет является общепринятым для хвойных видов.

В данной работе установлено наличие статистически достоверных отрицательных линейных трендов динамики среднего ГРП для всех МО. С биологической точки зрения, это свидетельствует о существовании достоверной тенденции к сокращению размера радиального прироста с увеличением возраста древесных организмов. Общеизвестно, что возрастной ход прироста по диаметру у древесных растений в основном характеризуется одновершинной кривой, в настоящей работе получены аналогичные результаты. Отметим, что наиболее существенно возрастная тенденция к снижению ГРП выражена на МО 1, менее – на МО 3, МО 2 занимает промежуточное положение (рис. 3), т. е. для сосняков более западного расположения характерно большая степень сокращения среднего ГРП с увеличением возраста.

При анализе изменчивости и вариабельности среднего ГРП по 20-летним интервалам аналогично получены статистически достоверные отрицательные линейные тренды динамики указанных параметров, что говорит о достоверной возрастной тенденции к сокращению вариабельности и изменчивости среднего радиального прироста. На МО 1 более ярко, чем на других МО выражена тенденция к сокращению изменчивости ГРП, для МО 3 наблюдается противоположная ситуация, МО 2 занимает промежуточное положение. На МО 1 в большинстве случаев величина КВар выше, на МО 3 – всегда меньше, чем на других МО. По С.П. Арефьеву, рост КВар свидетельствует о более низкой структурной устойчивости деревьев, следовательно, устойчивость древостоев сокращается в ряду МО 1 – МО 2 – МО 3.

Исследование динамики значений ИС по модулю показало следующие результаты. Статистически достоверный линейный тренд характерен только для динамики ИС на МО 1, выделенный тренд является положительным, что с биологической точки зрения свидетельствует о тенденции к росту анализируемого показателя. Выше отмечено, что повышенный уровень индекса стресса, отражающего

уровень устойчивости, наблюдается в пессимальных условиях, следовательно, для МО 1 характерно снижение уровня устойчивости с увеличением возраста деревьев. Для МО 2 и 3 установленные линейные тренды: отрицательный и положительный соответственно, но данные тенденции статистически недостоверны.

Сокращение ширины годичного кольца, изменчивости и вариабельности среднего ГРП изученных групп растений объясняем возрастным фактором, т. к. на протяжении анализируемого времени средний возраст исследованных совокупностей деревьев увеличивался. Старовозрастные деревья более подвержены воздействию внешних факторов, вредителей, кроме этого, снижение величины радиального прироста может происходить вследствие атмосферного загрязнения.

Заключение

Проведённые исследования позволили выявить основные закономерности в возрастной структуре и динамике годичного радиального прироста деревьев сосны обыкновенной, произрастающей в южном секторе Кольского региона. Возрастная структура исследованных сосняков отличается незначительным разнообразием: от условно разновозрастных до разновозрастных. Общим свойством для всех обследованных древостоев является выпадение из возрастного спектра отдельных классов возраста. В разновозрастном древостое на модельном объекте Умба данное явление наиболее масштабно.

Долговременная динамика радиального прироста, его изменчивости и коэффициента вариации, а также индекса стресса на исследованных модельных объектах, расположенных по географической трансксекте в направлении с запада на восток, в южном секторе Кольского полуострова характеризуется следующими чертами. Существует достоверная тенденция к сокращению средних величин радиального прироста для сосняков условно разновозрастного типа (МО 1 и 3), в разновозрастном сосняке на МО 2 подобных тенденций не установлено, средние величины ГРП стационарны, вероятно, это связано с большим объёмом выборки, включающим в себе особи как молодые, так и старовозрастные. Изученные лесные системы характеризуются снижением уровня устойчивости, отражающейся в значении индекса стресса, в течение рассмотренных десятилетий.

Результаты анализа особенностей возрастной динамики радиального прироста с шагом в 20 лет следующие. Для всех обследованных объектов установлена статистически достоверная тенденция к сокращению средней ширины радиального прироста, снижению его изменчивости и вариабельности с увеличением возраста деревьев. Выраженность данной тенденции уменьшается в ряду МО 1 – МО 2 – МО 3. Достоверное снижение устойчивости лесной системы с увеличением возраста древесных организмов определено для МО 1, об этом говорит рост индекса стресса и большие величины коэффициента вариации.

В целом результаты работы не противоречат данным итогового отчета Европейского института леса [12], где для Кольского полуострова указана убывающая тенденция в росте древостоев.

Литература

1. Зайцева И.В., Кобяков К.Н., Никонов В.В., Смирнов Д.Ю. Коренные старовозрастные леса Мурманской области // Лесоведение. 2002. № 2. С. 14-22.
2. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116с.
3. Николаева С.А., Савчук Д.А., Петрова Е.А. Динамика роста и развитие *Pinus sibirica* (*Pinaceae*) в лесных культурах // Растительные ресурсы. 2006. Вып. 2. С 1-17.
4. Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология. 1997. № 3. С. 175-183.
5. Кузьмин А.В., Олейник А.Г., Олейник О.В., Зотов А.И. Автоматизированная система телеметрического анализа древесных кернов // Экология. 1989. № 3. С. 79-80.
6. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
7. Кендалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
8. Алексеев А.С., Сорока А.Р. Анализ долговременных тенденций роста *Pinus sylvestris* L. на северо-западе Кольского полуострова // Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 6. С. 59-75.
9. Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Распопов О.М., Кузьмина Л.И., Гончарова О.А. Дифференцированный анализ влияния элементарных климатических факторов нетемпературной группы на формирование сосновых древостоев Кольского региона в пространстве географических градиентов. Апатиты: изд. Кольского НЦ РАН, 2006. 66 с.
10. Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И. Интервально-групповой анализ гетерогенной реакции элементов соснового древостоя и идентификация географических трендов в поле влияния температурного фактора. Апатиты: изд. Кольского НЦ РАН, 2005. 35 с.
11. Гончарова О.А. Долговременная динамика радиального роста старовозрастных деревьев *Pinus sylvestris* L. в условиях Кольского полуострова (пос. Умба) // I Всерос. молодёжная научная конференция «Молодёжь и наука на Севере» (в 3-х томах). Т. III. XV Всерос. молодёжная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии»: Матер. докл. Сыктывкар. 2008. С. 52-54.
12. Growth trends in European forests/ Ed. by H. Spiecker et al. Springer Verlag. Berlin, New York. 1996. 347 p.