

ТЕНДЕНЦИИ РОСТА С ОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА  
ПОЛУОСТРОВОВ КАК ИНДИКАТОР ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ  
В УГЛЕРОДНОМ КРУГОВОРОТЕ

АЛЕКСАНДР С. АЛЕКСЕЕВ и АЛЕКСАНДР С. СЮРКА

Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, Лесной факультет, Кафедра  
лесовосстановления, лесовосстановительского института, 194021 Санкт-Петербург, Институтский  
пер., 5, Россия E-mail: Alekseev@AA2996.spb.edu

Аннотация. Тенденции роста с осны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в ее самой северной части могут быть индикатором изменений в углеродном цикле наземных лесных экосистем. Используя метод, который удаляет возрастные тенденции из данных, анализ временных рядов годового радиального прироста древесины за последние несколько десятилетий по сравнению с периодом после ледникового озарегистрированного потепления (максимум около 1930–40 гг.), выявил повышенный рост на 78% для деревьев в возрасте 0–20 лет, на 56% для деревьев в возрасте 21–40 лет, на 21% для деревьев в возрасте 41–60 лет и на 10% для деревьев старше 101 года. Приросты деревьев в классах возраста 61–80 и 81–100 лет в эти два периода были схожими. Более высокие темпы роста в последнее время наблюдались, несмотря на снижение температуры примерно после 1940 года и значительное загрязнение воздуха. В течение после ледникового столетия рост с осны обыкновенной увеличился для деревьев во всех возрастных группах, за исключением деревьев в возрасте 81–100 лет, для которых он был постоянным. Средние темпы роста были оценены в 0,016 мм/год для деревьев в возрасте 0–20 лет, 0,012 мм/год для класса 21–40 лет, 0,005 мм/год для класса 41–60 лет, 0,008 мм/год для класса 61–80 лет и 0,006 мм/год для деревьев в возрасте более 101 года. Тенденции роста были нестабильными с течением времени и происходили одновременно с увеличением колебаний радиального прироста. Наиболее вероятными причинами заметного увеличения радиального прироста с осны обыкновенной в этом регионе являются потепление климата и более высокие уровни углекислого газа. Вместе они могут оказывать синергетический эффект на рост.

## 1. Введение

Исследования углеродного цикла обычно сосредоточены на гуглах и потоках углерода. За последние несколько десятилетий было опубликовано множество превосходных статей, книг и обзоров, относящихся к этой теме (Bydiko, 1977; Kondratiev, 1987; Bydiko and Israel (eds.), 1987; Борисенков и Кондратьев, 1988; Борисенков (ed.), 1988; Climate Change, 1990; Climate in Crisis, 1990; Kolchugina and Vinson, 1993a, 1993b; Gorshkov, 1994; Vitousek, 1994; Weizsaecker, 1994; Lakida et al., 1996; Mannion, 1998; Alekseyev and Birdsey (eds.), 1998). Однако углеродный цикл не находит в устойчивом состоянии и подвержен постоянным и значительным колебаниям.

Поэтому анализ направления и размера текущих и исторических изменений в потоках углерода имеет решающее значение для прогнозирования потоков углерода и пулов в будущем. Одним из основных процессов в углеродном цикле лесных экосистем является накопление углерода в древесине, изменения которого можно вывести из изменений в лесных деревьях.



и рост насаждений. Таким образом, понимание тенденций роста лесов, которые могут быть вызваны изменениями в лесной среде (например, потеплением), важно для понимания углеродного цикла, особенно в отношении способности биосферы компенсировать изменения окружающей среды.

В настоящее время леса также подвержены влиянию загрязнения воздуха в локальном, региональном и даже глобальном масштабах, а также ряд других случайных факторов в локальном масштабе, таких как временные изменения погодных условий (например, ветры, засухи). Предположение о постоянном влиянии случайных факторов на рост деревьев, по-видимому, справедливо для анализа долгосрочных тенденций роста. Влияние загрязнения воздуха на рост может частично маскировать изменения в росте лесов, вызванные потеплением и повышенными концентрациями парниковых газов, и затруднять их распознавание (Иннес и Кук, 1989; Алексеев (ред.), 1990; Норин и Ярмишко (ред.), 1990; Алексеев, 1990, 1991, 1993, 1997; Козлов и др. (ред.), 1993; Ярмишко, 1997).

Для анализа тенденций роста лесов обычно используются три источника данных, которые включают постоянные пробные площади, данные инвентаризации и дендрохронологические данные (Spiecker et al. (eds.), 1996). Мы выбрали дендрохронологический подход, поскольку два других подхода не могли предоставить достаточно долгосрочных данных для достижения наших целей. Недостаточно данных было достаточно постоянных пробных площадей, поскольку имеется относительно мало участков, охватывающих период 80–100 лет назад. Региональные инвентаризации лесов начались только в первой четверти прошлого века, и методология, методы, инструкции и процедуры значительно различались от одной инвентаризации к другой. Поэтому данные последовательных инвентаризаций обычно несоместимы и требуют тщательной предварительной обработки.

Дендрохронологический подход широко применяется в экологии и науках об окружающей среде (Innes, Cook, 1989; Kairiukstis (ред.), 1990; Bartholin et al. (ред.): 1992; Vaganov et al., 1996). Несмотря на всю привлекательность, этот метод имеет некоторые существенные ограничения, включая необходимость удаления возрастных тенденций из данных и учета истории роста отдельных деревьев, особенно в отношении взаимоотношений с ближайшими соседями и конкуренции. Эти ограничения можно устранить, используя специальные методы обработки данных и выбрав регион для исследований роста леса.

Мы решили изучить тенденции роста древесного *Pinus sylvestris*, произрастающих в высоких широтах и на севере северных границах северо-западного региона Колымо-полуострова. Полуостров по следующим причинам:

1. Реакция роста лесов на потепление климата будет замечена раньше всего и наиболее отчетливо в лесах высоких широт (Быдик, 1977).
2. Популяция деревьев, растущих вблизи ее северной границы, гораздо более чувствительна к изменениям погодных факторов, таких как температура воздуха. Следовательно, даже небольшое изменение климата может вызвать увеличение роста леса, которое можно легко и надежно обнаружить (Beagon et al., 1986).

3. Эти леса имеют четко выраженную неравномерную возрастную структуру, что важно для выявления тенденций роста с помощью использованных методов (см. раздел «Материалы и методы»).
4. Лесные насаждения в высоких широтах обычно имеют низкую плотность, поэтому влияние конкуренции на рост деревьев минимально по сравнению с другими районами (Walter, 1979).
5. Леса в этом регионе долгое время находились в состоянии, близком к климаксовому или субклимаксовому. Следовательно, влияние на рост деревьев изменений в продуктивности местообитаний, вызванных сукцессией, сведено к минимуму (Норин и Ярмишко (ред.), 1990).
6. Наконец, леса в этом регионе никогда не подвергались лесоводству и лесному хозяйству, поэтому на их рост никогда не влияли такие практики, как рубка леса, прореживание, удобрение и т. д.

Таким образом, можно делать вывод, что сосновые леса в северо-западной части Колыского полуострова идеально подходят для выявления тенденций роста, обусловленных климатом, для анализа потенциального влияния лесов на потоки и резервы углеродного цикла, а также для оценки их значимости как индикатора изменений во всей биосфере.

Основная цель данной статьи — выявить долгосрочные изменения в росте деревьев сосны обыкновенной на исследуемой территории и обсудить возможные причины этих изменений.

## 2. Материалы и методы

Район исследования находится в лесотундровой зоне, которая относительно однородна по таким эдафическим характеристикам, как рельеф, геология, почвы, климат и геоботаника.

Пробные площади располагались вдоль границы между Норвегией, Россией и Финляндией (рис. 1).

Загрязнители воздуха, вырабатываемые металлургическими заводами, расположенными в поселке Никель и городе Заполярный, лежатся из ландшафта избытком подвижного воздуха (небольшое количество безветренных дней) и водными массами. Климат характеризуется большим количеством осадков и малым испарением, что приводит к значительному избытку воды на ландшафте. Малая мощность почв, холмистый рельеф и большое количество ручьев способствуют высокой подвижности гидрологической системы. В этих условиях ущерб лесным растениям от загрязнения зависит в основном от частоты и направления ветров в вегетационный период.

Вегетационный период начинается в конце мая и продолжается до начала сентября. Средние значения среднегодовой температуры и осадков за последнее столетие составляют +0,5 °C и 422 мм соответственно, а за вегетационный период +11,7 °C и 586 мм соответственно.

Состояние здоровья отобранных деревьев описывалось с помощью классов повреждений, обычно используемых в различных программах мониторинга здоровья лесов (Руководство, 1998). Шесть классов описываются следующим образом: 1 – здоровое дерево, 2 – слегка поврежденное, 3 – средне поврежденное, 4 – сильно поврежденное, 5 – деревья, погибшие в течение последнего года.



Рисунок 1. Карта исследуемой территории с указанием мест расположения пробных площадей.

6 – деревья, погибшие несколько лет назад. Состояние здоровья выборочного населения оценивается как среднее числовое значение классов повреждения его деревьев.

Керны древесины были взяты из 175 деревьев с осью обыкновенной, расположенных на 17 пробных площадях, с использованием бура Пресслера (таблица I). Чтобы избежать смещения выборки, деревья-образцы были выбраны так, чтобы отражать неравномерную возрастную структуру изучаемого леса с осью обыкновенной. 63 дерева были отобраны из класса возраста 21–40 лет, 20 из класса возраста 41–60 лет, 18 из класса возраста 61–80 лет, 11 из класса возраста 81–100 лет, 41 из класса возраста 101–200 лет и 22 дерева из класса возраста старше 201 года.

Радиальный прирост измерялся с точностью до 0,015 мм. Были измерены ширины 16 954 годичных колец, которые появились между 1660 и 1992 годами. Данные годичных колец были распределены по 6 возрастным классам. Данные по 3 523 годичным кольцам были помещены в возрастную класс 0–20 лет, 2 920 годичным кольцам — в возрастную класс 21–40 лет, 2 052 годичным кольцам — в возрастную класс 41–60 лет, 1 664 годичным кольцам — в возрастную класс 61–80 лет, 1 373 годичным кольцам — в возрастную класс 81–100 лет и 5 422 годичным кольцам — в возрастную класс старше 101 года.

Для того чтобы выявить тенденции роста в наших временных рядах данных, необходимо было устранить влияние смещения возраста. Для этой цели был использован метод реконструкции роста леса, который рандомизирует процесс роста путем разбиения временного ряда годичных колец на отдельные кольца с последующей перегруппировкой. Каждой ширине кольца присваивается возраст дерева и календарный год. Впоследствии отдельные годичные кольца деревьев одного и того же класса возраста (6 возрастных групп упомянутых выше) и классы календарного года (1660–1850; 1851–1950; 1951–1992) были сгруппированы вместе, что позволило сравнить ширину годичных колец

Таблица 1

Описание пробных площадей в насаждениях сосны обыкновенной, расположенных в северо-западной части Кольского полуострова вблизи города Заполярный и поселка Никель

Город или расчет, количество км направление выборочной деланки	Среднее опорное расстояние				Среднее количество деревьев в			
	Высота, Диаметр м/с м	а	Возраст, плотность повреждения годы	б	с	орт	ядра	
Никель, юго-запад 3	5.0	12	16	100	0.4	3.08	11	
1	7.0	10	18	120	0,5	3.70	14	
4	7.0	19	18	120	0.3	3.53	12	
5а	9.0	18	20	120	0.4	2.53	12	
12	12.0	12	14	100	0,5	2.19	11	
6	28.0	16	22	160	0,6	1.65	4	
8	50.0	12	14	60	0,6	1.50	13	
7	78.0	20	18	170	0,5	1.96	11	
Никель, юг	9	3.0	16	22	120	0.1	3.65	6
Никель, север	2	8.0	12	36	140	0.2	2.82	10
Никель, север- северо-восток 24	2.0	14	18	120	0,6	4.19	4	
21	12.5	16	26	150	0.4	3.24	6	
25	15.0	10	10	60	0.4	1.93	14	
26	22.5	12	14	80	0,5	1.37	11	
Заполярный, юго-восток 11	10.0	14	18	180	0.1	2.51	4	
12	12.0	9	10	50	0,7	1.45	19	
Заполярный, северо-восток 37	8.0	8	13	30	0,5	1.35	13	

<sup>а</sup> Диаметр измеряется на высоте груди.  
<sup>б</sup> Плотность древостоя измеряется относительно полностью покрытого древостоя.

одного возраста, но из разных классов календарного года. Неравномерная возрастная структура насаждения сосны обыкновенной также способствовала устранению возрастного смещения. Поскольку рост деревьев зависит от многих случайных факторов, действующих в локальном масштабе, эта процедура Рандомизация позволяет учитывать влияние стохастических факторов, усредненных в долгосрочной перспективе.

Для анализа тренда с учетом среднего значения и дисперсии годового радиального прироста деревьев с осью обыкновенной за последнее столетие (1900–1992 гг.). данные были подобраны к нелинейной функции, которая представляет собой сумму линейного тренда и гармонических колебаний (Кайриукстис, 1981):

$$p(t) = (x + y \cdot t) + \sum_{i=1}^n (z_i \cdot \cos \frac{2\pi \cdot t}{T_i} + v_i \cdot \sin \frac{2\pi \cdot t}{T_i}),$$

где,  $p(t)$  – радиальный прирост года  $t$ , мм;  $x, y$  – параметры линейного тренда;  $x$  – скорость роста радиального прироста, мм/год;  $y$  – оценка радиального прироста в первый год, мм;  $z_i$  – скорость роста амплитуды колебаний  $i$ -й гармонической составляющей, мм/год;  $T_i, v_i$  – период и фаза  $i$ -й гармонической составляющей.

Данные о ширине годичных колец были использованы для разработки кривых роста диаметра для тридцати календарных годов обучения.

Стандартные версии однофакторного дисперсионного анализа и линейного регрессионного анализа были использованы для сравнения данных о ширине годичных колец деревьев и данных о температуре (Шмидт, 1984).

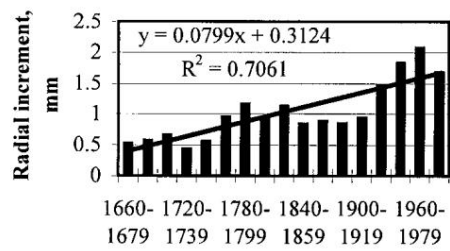
### 3. Результаты и обсуждение

Результаты анализа долгосрочных тенденций среднего радиального прироста по 20-летним периодам для шести возрастных групп свидетельствуют об увеличении среднего радиального прироста деревьев с осью обыкновенной (рисунки 2 и 3). Коэффициенты детерминации для линейных тенденций выше для первых трех младших возрастных групп 0–20 лет (71%), 21–40 лет (81%) и 41–60 лет (68%), чем для старших возрастных групп 61–80 лет (39%), 81–100 лет и старше 101 года (30%). Тенденции для последних возрастных групп статистически достоверны.

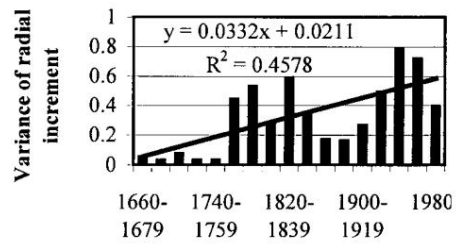
Результаты анализа долгосрочных тенденций дисперсии радиального прироста по 20-летним периодам для шести возрастных групп показаны на рисунках 2 и 3. Эти результаты показывают, что изменчивость радиального прироста деревьев с осью обыкновенной со временем увеличивалась. Коэффициенты детерминации для линейных тенденций варьируются от 38% для класса возраста 81–100 лет до 76% для класса возраста 21–40 лет без закономерности, очевидной для тенденций среднего радиального прироста.

Представляет интерес интерпретация полученных нами данных по многолетней динамике радиального прироста деревьев с осью обыкновенной, с группированных по известным климатическим периодам прошлого (Борисенков, 1982; Лосев, 1985; Cannell, 1995). Для этого были рассмотрены данные по радиальному приросту за три периода времени. Первый временной интервал 1660–1850 гг. совпадает с окончанием малого ледникового периода, второй 1851–1950 гг. является периодом последнеоледнеогляциального потепления климата, максимум которого пришелся на 1930–1940 гг., а третий 1951–1992 гг. охватывает последние десятилетия. Результаты сравнения среднего радиального прироста и его дисперсии за три периода времени приведены в табл. II.

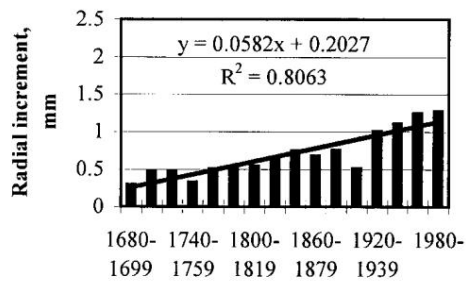
Все различия между средними значениями радиального прироста и дисперсиями в пределах возрастных классов статистически значимы на уровне достоверности 95%, за исключением среднего радиального прироста для возрастных групп 61–80 и 81–100 лет за последние пять лет.



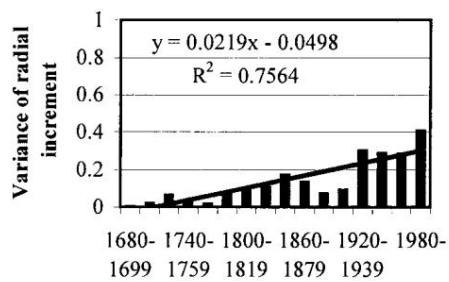
**Mean radial increment of Scots pine trees of 0-20 years old**



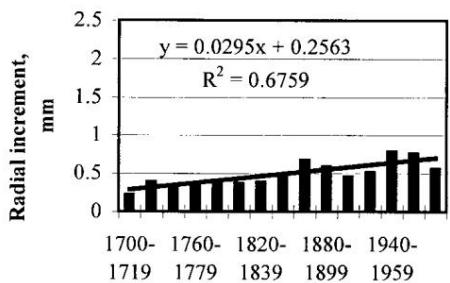
**Radial increment variance of Scots pine trees of 0-20 years old**



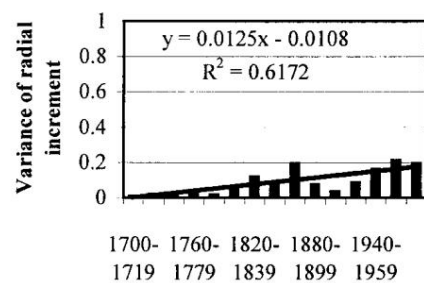
**Mean radial increment of Scots pine trees of 21-40 years old**



**Radial increment variance of Scots pine trees of 21-40 years old**

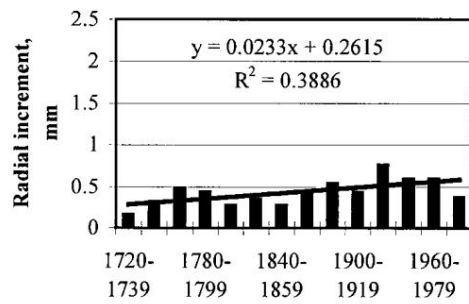


**Mean radial increment of Scots pine trees of 41-60 years old**

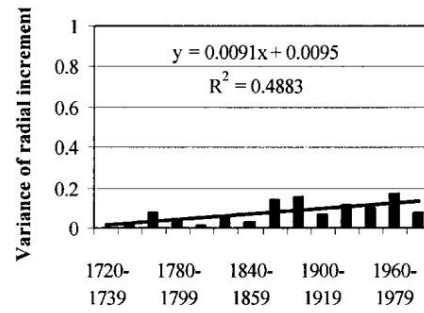


**Radial increment variance of Scots pine trees of 41-60 years old**

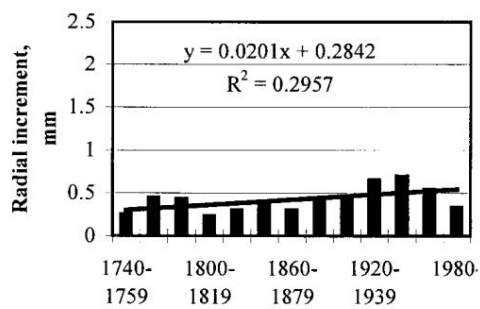
Рисунок 2. Рост с среднего радиального прироста и дисперсии радиального прироста деревьев сосны обыкновенной с Северо-западной части Колыского полуострова для возрастных групп 0-20, 21-40 и 41-60 лет.



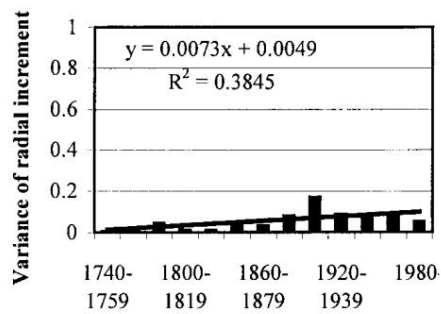
**Mean radial increment of Scots pine trees of 61-80 years old**



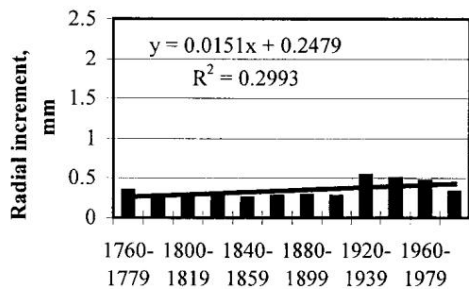
**Radial increment variance of Scots pine trees 61-80 years old**



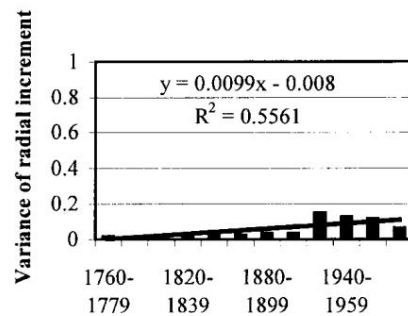
**Mean radial increment of Scots pine trees of 81-100 years old**



**Radial increment variance of Scots pine trees of 81-100 years old**



**Mean radial increment of Scots pine trees older than 101 years**



**Radial increment variance of Scots pine trees older than 101 years old**

Рисунок 3. Динамика среднего радиального прироста и дисперсии радиального прироста деревьев с осины обыкновенной Северо-западной части Колымо-Камчатского полуострова для возрастных групп 61-80, 81-100 и старше 100 лет.



Таблица 2

Сравнение среднего радиального прироста и дисперсии радиального прироста за три периода времени «Малый ледниковый период» 1660–1850, «Последнее потепление» 1851–1950, «Последние десятилетия» 1951–1992 (в каждой ячейке данных верхние числа представляют собой реальные значения среднего радиального приращения и дисперсии, а нижние числа – это отношение к предыдущему периоду времени)

Возрастные классы, годы	Средний радиальный прирост, мм			Дисперсия радиального приращения, мм <sup>2</sup>		
	1660–1850	1851–1950	1951–1992	1660–1850	1851–1950	1951–1992
0–20 0,87	1.16	2.06	0,38	0,44	0,70	
1.00	1.33	1.78	1.00	1.16	1.59	
21–40 0,53	0,81	1.26	0,08	0,21	0,35	
1.00	1.53	1.56	1.00	2.65	1.67	
41–60 0,37	0,58	0,70	0,06	0,11	0,21	
1.00	1.57	1.21	1.00	1.83	1.91	
61–80 0,37	0,54	0,53	0,05	0,13	0,15	
1.00	1.46	0,98	1.00	2.60	1.15	
81–100 0,35	0,51	0,50	0,03	0,11	0,08	
1.00	1.46	0,98	1.00	3.67	0,73	
>100 0,27	0,39	0,43	0,02	0,09	0,11	
1.00	1.44	1.10	1.00	4.50	1.22	

десятилетия по сравнению с периодом последнего зарегистрированного потепления климата, которые не значительно отличаются (таблица II). Средний радиальный прирост значительно выше для четырех возрастных групп за период последних пяти десятилетий по сравнению с периодом последнего зарегистрированного потепления и осталась прежней для двух других возрастных групп. Величина увеличения радиального прироста самая высокая в молодом возрасте. Классов и варьируется от 10% для возрастной группы старше 100 лет до 78% для возрастной группы от 0 до 21 года (таблица II). Сравнение дисперсий для тех же данных дали аналогичные результаты, где увеличение дисперсии для приращения роста колебалось от 15 до 91% для пяти возрастных групп. Статистически значимое более низкое значение для дисперсии наблюдалось только для возрастной группы 81–100 лет, где она уменьшалась на 27% за последние пять десятилетий по сравнению с периодом 1851–1950 гг.

Кривые роста среднего диаметра для лесов сосны обыкновенной были разработаны с использованием данных радиального приращения за три периода времени (1660–1799, 1800–1899 и 1900–1992). Результаты показывают, что рост диаметра за последний период (1900–1992) больше, чем за оба предыдущих периода (рис. 4).

Результаты линейного тренда и анализа колебаний для среднего значения и дисперсии Годовой радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной за последнее столетие показан на

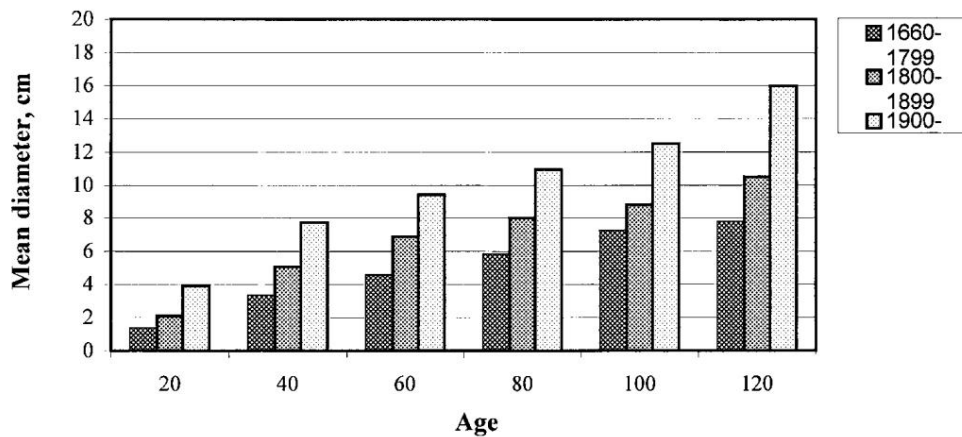


Рисунок 4. Кривые роста с среднего диаметра для трех периодов времени: 1660–1799, 1800–1899 и 1900–1992.

Таблица 3

Результаты смешанного линейного трендового и колебательного анализа динамики среднего годового радиального прироста деревьев сосны обыкновенной в 1900–1992 гг.

Возраст сорт	Параметры линейного тренда		Параметры колебаний				R <sup>2</sup> , %
	x, мм/у, мм		z, мм/Т	с	в	Количество	
	г од		г од	г оды	г армоники		
0–20	0,016	0,89	–0,007	1.0	–	1	74,5
21–40	0,012	0,49	–0,002	1.4	–	1	72,7
41–60	0,005	0,44	0,003	1.0	–	1	76,6
61–80	0,008	0,34	0,007	3,4	–	2	61,7
81–100	0,000	0,61	0,159 <sup>а</sup>	1.1	259.0	1	38,7
>101	0,006	0.20	0,006	3.7	–	1	69,6

<sup>a</sup> В этом случае z не зависит от временной амплитуды колебаний и имеет размерность мм.

Таблица III. За последнее столетие наблюдалось увеличение прироста однолетних деревьев сосны обыкновенной. Радиальный прирост деревьев всех возрастных групп, за исключением класса 81–100 лет для которых он оставался постоянным. Среднегодовая скорость радиального прироста составила 0,016 мм/г для возрастной группы 0–20 лет, 0,012 мм/г для возрастной группы 21–40 лет, 0,005 мм/г для возрастной группы 41–60 лет, 0,008 мм/г для возрастной группы 61–80-летнего возраста и 0,006 мм/г для деревьев в возрасте более 101 года.

Тенденции роста были нестабильны с течением времени и демонстрируют растущие колебания. Радиальный прирост. Увеличение амплитуды колебаний было обнаружено для пяти возрастных групп и колебания варьировались от 0,002 до 0,007 мм в г. Для 81–100-летней возрастной группы амплитуда колебаний была постоянной. Результаты

Таблица IV

Влияние колебаний температуры воздуха в период роста на  
Рост деревьев сосны обыкновенной за период 1901–1992 гг.

Возрастная группа, лет	Параметр $\alpha$ , мм/°C	R <sup>2</sup> , %
0–20	0,0149	94,5
21–40	0,0095	95,9
41–60	0,0057	93,7
61–80	0,0052	93,1
81–100	0,0051	95,4
101	0,0040	96,4

представленные в Таблице III подтверждают, что за последнее столетие, более короткий период времени, чем в этом исследовании были проанализированы те же тенденции, что и на рисунках 2 и 3.

Загрязнение воздуха, по-видимому, не оказало существенного влияния на рост сосны обыкновенной. Загрязнение воздуха стало значительным только за последние несколько десятилетий, поэтому не сильно влияет на долгосрочные тенденции роста. Кроме того, специфическое сравнение прироста диаметра деревьев разного состояния здоровья не выявило существенных различий. Существенные различия могли не быть выявлены из-за небольшого количества сильно поврежденных деревьев, которые наиболее подвержены подавлению роста по загрязнению, были взяты пробы.

Данные о динамике температуры были использованы для исследования одного из возможных причин, по которым деревья сосны обыкновенной растут сейчас быстрее, чем в период последнего зарегистрированного потепления. Эти данные охватывают период с 1901 по 1992 год и представляют среднюю температуру воздуха за вегетационный период. Мы взяли метеорологические и приращение данных с помощью простой пропорциональной функции:

$$y = a \cdot x,$$

где,  $y$  – среднегодовой радиальный прирост, мм;  $x$  – средняя температура воздуха за вегетационный период, °C;  $a$  – параметр, показывающий увеличение радиального прироста по мере результата повышения температуры воздуха, мм/°C. Результаты показаны в таблице IV.

Изменение среднегодовой температуры воздуха объясняет от 93% до 96% изменчивости среднегодового радиального прироста деревьев сосны обыкновенной, даже при отсчете статистически достоверное повышение температуры воздуха в 1901–1992 гг. (таблица IV). Чем моложе деревья сосны обыкновенной, тем они более чувствительны к потеплению (таблица IV).

Наши результаты согласуются с выводами некоторых других авторов, которые выявили повышенный рост лесов в самых северных широтах (Myneni et al., 1997) и предсказал величину увеличения прироста лесов под влиянием возможного потепления климата (Бейкери др., 1996).

Наиболее вероятные причины заметного увеличения радиального прироста шотландских сосны в этом регионе имеют небольшие, статистически незначимые эффекты потепления климата и

более высокие уровни углекислого газа. Вместе они могут оказывать синергетический эффект на рост. Кроме того, повышенный рост деревьев с осины обыкновенной может быть вызван и другими причинами, такими как увеличение продолжительности вегетационного периода, мелиоративный эффект умеренного загрязнения воздуха или изменение частоты лесных пожаров.

Из общего теоретического анализа круговорота углерода известно, что углерод из атмосферы в виде диоксида углерода фиксируется фотосинтезом растений, переносится с начала в почвы и дно водоемов, а затем в различные виды осадочных отложений, такие как природный газ, нефть, уголь и т. д. (Косицын, 1984).

Теоретически увеличение среднего радиального прироста деревьев с осины обыкновенной на северо-западной границе указывает на начало позитивных изменений в углеродном цикле, приводящих к более высокой скорости накопления углерода в лесной биомассе. В целом это можно считать показателем реакции биосферы на противодействие парниковому эффекту и глобальными изменениями окружающей среды.

#### 4. Выводы

Наши результаты свидетельствуют о том, что темпы роста деревьев с осины обыкновенной в северо-западной части северо-западного региона Кольского полуострова увеличились в долгосрочной перспективе. Как правило, чем моложе деревья, тем больше увеличение роста. Увеличение роста оценивается на уровне 78% за последние пять десятилетий по сравнению с периодом последепрессивного потепления. Тенденции роста неустойчивы во времени и демонстрируют растущие колебания радиального прироста.

Наиболее вероятной причиной заметного увеличения радиального прироста осины обыкновенной в этом регионе является синергизм умеренного потепления климата и более высоких уровней углекислого газа. Другие причины могут включать увеличение продолжительности сезона роста, мелиоративный эффект умеренного загрязнения воздуха или изменение частоты лесных пожаров.

Повышенная скорость роста деревьев с осины обыкновенной является реакцией этих лесов на региональные или глобальные изменения окружающей среды и может рассматриваться как индикатор саморегулирующегося механизма биосферы, направленного на повышение ее устойчивости, в том числе устойчивости климата.

#### Ссылки

- Алексеев, А.С.: 1990, «Колебания радиального прироста лесных древостоев, растущих под влиянием загрязнения воздуха», Лесное хозяйство, 2009, № 2, с. 82–85.
- Алексеев, А.С.: 1991, «Радиальный прирост древостоев *Picea abies* (Pinaceae), растущих под влиянием воздушного загрязнения», Ботанический журнал 76, 1498–1503.
- Алексеев, А.С.: 1993, «Радиальный прирост деревьев и древостоев, страдающих от атмосферных воздействий». Загрязнение // Лесоведение. 4. С. 66–70.
- Алексеев, А.С.: 1997, Мониторинг лесных экосистем, Санкт-Петербургская лесотехническая академия, Санкт-Петербург, с. 116.
- Алексеев, В.А. (ред.): 1990, Лесные экосистемы и загрязнение воздуха, Издательство «Наука», Ленинград, с. 200.

Алексеев, В.А. и Бердс и РА(ред.): 1998, Хранение углерода в лесах и торфяниках России,

Общий технический отчет Министертв сельскох озяйства США NE-244, стр. 137.

Этис, М.Дж. и Курц, Вашингтон: 1993, «Оценки роли канадских лесов и лесного сектора»

«Деятельность в глобальном углеродном балансе», World Resour. Rev. 3, 333–344.

Бартолин, Т.С., Бьорн, Б.Е., Экштейн, Д. и Шайнгрубер, Ф. (ред.): 1992, «Годичные кольца деревьев и окружающая

среда», Труды Международного дендрохронологического симпозиума, Истад, Южная Швеция, 3–9 сентября 1990 г., стр. 394.

Бигон, М., Харпер, Дж. Л. и Таунсенд, К. Р.: 1986, Экология: особи, популяции и сообщества, Blackwell Scientific Publications, Оксфорд. т. 1 – стр. 667; т. 2 – стр. 477.

Беукер, Э., Колстром, М. и Келломаки, С.: 1996, «Изменения в производстве древесины *Picea abies* и *Pinus sylvestris* в условиях более теплого климата: сравнение полевых измерений и результатов математических моделей», в Korpiälhti, Э., Келломаки, С. и Карьялайнен, Т. (ред.), Изменение климата, биоразнообразие и экосистемы бореальных лесов, перепечатано из *Silva Fennica* 30, 159–166.

Борисенков, Э.П. 1982, Климат и деятельность человечества, Издательство «Наука», Москва, стр. 128 (на Русский).

Борисенков, Е.П. (ред.): 1988, Изменения климата за последние тысячелетия, Издательство Литература по гидрологии и метеорологии, Ленинград, стр. 408.

Борисенков, Е.П. и Кондратьев, К.И.: 1988, Углеродный цикл и климат, Издательство Литература по гидрологии и метеорологии, Ленинград, стр. 319.

Быдыко, М.И.: 1997, Глобальная экология, Москва, стр. 328.

Байдик, М.И. и Исразль Я.А. (ред.): 1987, Изменения климата, вызванные деятельностью человека, Издательский дом Литература по гидрологии и метеорологии, Ленинград, стр. 406.

Кэннелл, М.: 1995, Леса и глобальный цикл углерода в прошлом, настоящем и будущем, Европейский Институт леса, Исследовательский отчет № 2, Йенсхуу, стр. 67.

Изменение климата 1990, University Press, Нью-Йорк, стр. 365.

Климат в кризисе: парниковый эффект и что мы можем сделать: 1990, Издательство технической литературы Со., Сэммергаун, стр. 228.

Кук, Э.Р. и Кайрюкстис, Л. (ред.): 1990, Методы дендрохронологии: применение в науках об окружающей среде, Kluwer Acad. Publ., Дордрехт, Бостон, Лондон, стр. 394.

Иннес, Дж. Л. и Кук, Э. Р.: 1989, «Анализ годовичных колец как средство оценки воздействия загрязнения на рост деревьев», Can. J. Forest Res. 19, 1174–1189.

Горшков, В.Г.: 1994, Физические и биологические основы стабильности жизни, Springer Verlag, Берлин, Новый Йорк, стр. 471.

Кайрюкстис, Л.: 1981, Дендрохронология для индикации фоновых климатических изменений, Доклад на симпозиуме СССР-США по влиянию солнечной изменчивости на климат, Вильнюс, Каунас, стр. 100.

Кольчугина, Т.П. и Винсон, Т.С.: 1993а, «Анализ равновесия углеродных пулов и потоков «Лесные биомы бывшего Советского Союза», Can. J. Forest Res. 23, 81–88.

Кольчугина, Т.П. и Винсон, Т.С.: 1993б, «Источники и поглотители углерода в лесных биомы бывшего Советского Союза», Global Biogeochem. Циклы 7, 291–304.

Кондратьев, К.И.: 1987, Глобальный климат и его изменения, Издательство «Наука», Ленинград, стр. 231 (на Русский).

Косицын, В.А.: 1984, Эволюция атмосферы, биосферы и климата, Издательство «Наука», Москва, стр. 96.

Козлов М.В., Хаккия Э. и Ярмишко В.Т. (ред.): 1993, «Загрязнение воздуха на Кольском полуострове», Труды Международного семинара, 14–16 апреля 1992 г., Санкт-Петербург, Апатиты, стр. 418.

Лакида, П., Нильсон, С. и Швиденко, А.: 1996, Фитомасса и углерод лесов Европейской России, WP-96-28, Лаксембург, Австрия, Международный институт прикладного системного анализа, стр. 31.

Лосев, К.С.: 1985, Климат: вчера, сегодня, завтра? Издательство литературы по гидрологии и метеорологии, Ленинград, стр. 175.

- Мэннион, АМ: 1998, «Глобальные изменения окружающей среды: причины и последствия нарушений»  
«Биологический журнал», Geogr. J. 164, 168–182.
- Руководство по методологии и критериям гармонизированного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа воздействия  
загрязнения воздуха: 1998, Координационный центр программ, ЕЭК ООН, Гамбург /Женева, с. 177.
- Минени, Р.Б., Килинг, К.Дж., Такер, Г., Асвар, Р. и Немани, Р.: 1997, «Увеличение роста растений  
в северных широтах с 1981 по 1991 г.», Природа 386, 698–702.
- Норин, Б.Н. и Ярмишко В.Т. (ред.): 1990, Влияние промышленного загрязнения воздуха на осадочные лесные  
полуострова, Ботанический институт РАН, Ленинград, с. 196.
- Шмидт, В.М.: 1984, Математические методы в ботанике, Ленинградский государственный университет, с. 210 (на  
Русский).
- Шликер, Х. и др. (ред.): 1996, Тенденции роста в европейских лесах, Springer Verlag, Берлин, Нью-Йорк  
Йорк, с. 347.
- Ваганов, Е.А., Шляхов К.Г., Мазепа В.С.: 1996, Дендроклиматологические исследования Урало-Сибирской Субарктики,  
Сибирское отделение РАН, с. 244.
- Виттоусек, ПМ: 1994, «За пределами глобального потепления: экология и глобальные изменения», Экология 75, 1861–  
1876 г.дд.
- Вальтер, Х.: 1979, Allgemeine Geobotanik, Verlag Eugen Ulmer GmbH and Co, Штутгарт, с. 264.
- Вайцеккер, Э.У. фон: 1994, Earth Politics, Zed Books Ltd, Лондон и Нью-Йорк, с. 234.
- Ярмишко, В.Т.: 1997, Состояние окружающей среды в Европе Европейской России, Санкт-Петербург.  
Петербург, с. 210.

(Получено 23 января 2001 г.; в измененном виде 12 апреля 2002 г.)