

УДК 630\*561.1

**АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ КРИВЫХ РОСТА В ВЫСОТУ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ В МИНУСИНСКИХ БОРАХ**

Кузьмичев Валерий Васильевич  
д.б.н., профессор

Руссков Виталий Георгиевич  
м.н.с.  
*Российская Академия наук Сибирское отделение  
Институт леса им. В.Н.Сукачева, Красноярск,  
Академгородок №50*

Анализируются отклонения от тенденции роста в высоту для деревьев сосны обыкновенной, которые имеют ярко выраженную периодичность и различаются как по амплитуде, так и по периоду. Величина периода обладает значительной изменчивостью, составляя в среднем 40 -50 лет. Она связана с долговечностью отдельных деревьев и их классами роста. Отклонения обусловлены, прежде всего, внутриценотическими взаимодействиями, а влияние абиотических факторов увеличивается и выходит на первый план в условиях постоянно действующих неблагоприятных для произрастания условиях

Ключевые слова: ХОД РОСТА, ВЫСОТА, ФУНКЦИЯ МИТЧЕРЛИХА, ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ФУНКЦИИ РОСТА

UDC 630\*561.1

**ANALYSIS OF TREE HIGHT GROWTH CURVE DEVIATION OF SCOTS PINE IN MINUSINK PINE WOODS**

Kuzmichev Valery Vasilevich  
Dr.Sci.Biol., professor

Russkov Vitaly Georgievich  
researcher  
*Russian Academy of Sciences Siberian Branch  
V.N.Sukachev Institute of Forest, Krasnoyarsk, Akad-  
emgorodok №50*

A deviation from tree height growth trends of Scots pine is analyzed. They have a periodicity and vary both by the amplitude and period. At average the value of period is 40-50 years and has a significant variability. It depends on longevity of tree life and age classes. The deviation depends on relation between the trees in stand. An abiotic factors effect increases and comes to the fore under constant of actual adverse environment conditions for growing

Keywords: DYNAMICS OF GROWTH, HEIGHT, MITSCHERLICH FUNCTION, VARIATION FROM GROWTH CURVE

## **Характеристика природных условий района**

Минусинская котловина, где расположены на песчаных отложениях сосновые боры, отличается концентрической зональностью. Ближе к г. Минусинску расположена степь, тогда как по мере удаления от него на восток (и увеличения высоты на уровне моря), она переходит в лесостепь. Большая часть пробных площадей расположена в подзоне лесостепи, поэтому приведем для нее средние показатели климата (табл. 1). Почвы на пробах - песчаные и супесчаные, с прослойками лессовых суглинков, свежие.

*Таблица 1. Характеристика климатических условий*

Средние годовые показатели		За вегетационный период		Средние температуры	
Температура	Осадки	Число дней	Сумма температур	января	июля
-0,3	317-402	163	2090	-16 -20,5	21

Климатические условия благоприятны для произрастания древесной растительности, за исключением влияния засух, которые наблюдаются раз в 10-15 лет.

### **Материалы и методы**

В разных частях Минусинских боров были проведены замеры годовичных приростов в высоту по мутовкам у 140 модельных деревьев на 7 пробных площадях. Древостои относятся к 1-111 классам бонитета, в возрасте от 70 до 120 лет. Обмерялись деревья всех классов роста, представленных в древостое. При выборе метода обработки результатов сравнивались два подхода к изучению прироста и его периодических составляющих. Первый заключался в выравнивании абсолютных линейных приростов подходящей аппроксимирующей функцией прироста и определении отклонений от выравнивающей кривой (рис. 1). При втором использовали кумулятивную функцию и изучали периодические отклонения уже от функции роста (рис. 2). В обоих случаях применялась функция роста Митчерлиха (первая производная – для выравнивания приростов, сама функция – для аппроксимации кумулятивной кривой). Эта функция широко применяется для описания роста древесных растений в качестве эмпирического закона (Кузьмичев, 1977; Кивисте, 1988, Демаков, 2000, и др.) и имеет вид:

$$H(A) = b_1 * (1 - \exp(-1 * (b_2 * A)))^{b_3} \quad (1)$$

Где  $H$  – текущая высота,  $b_1$  – предельная высота дерева,  $b_2$  и  $b_3$  – соответственно, параметры масштаба и формы кривой,  $A$  – возраст дерева.

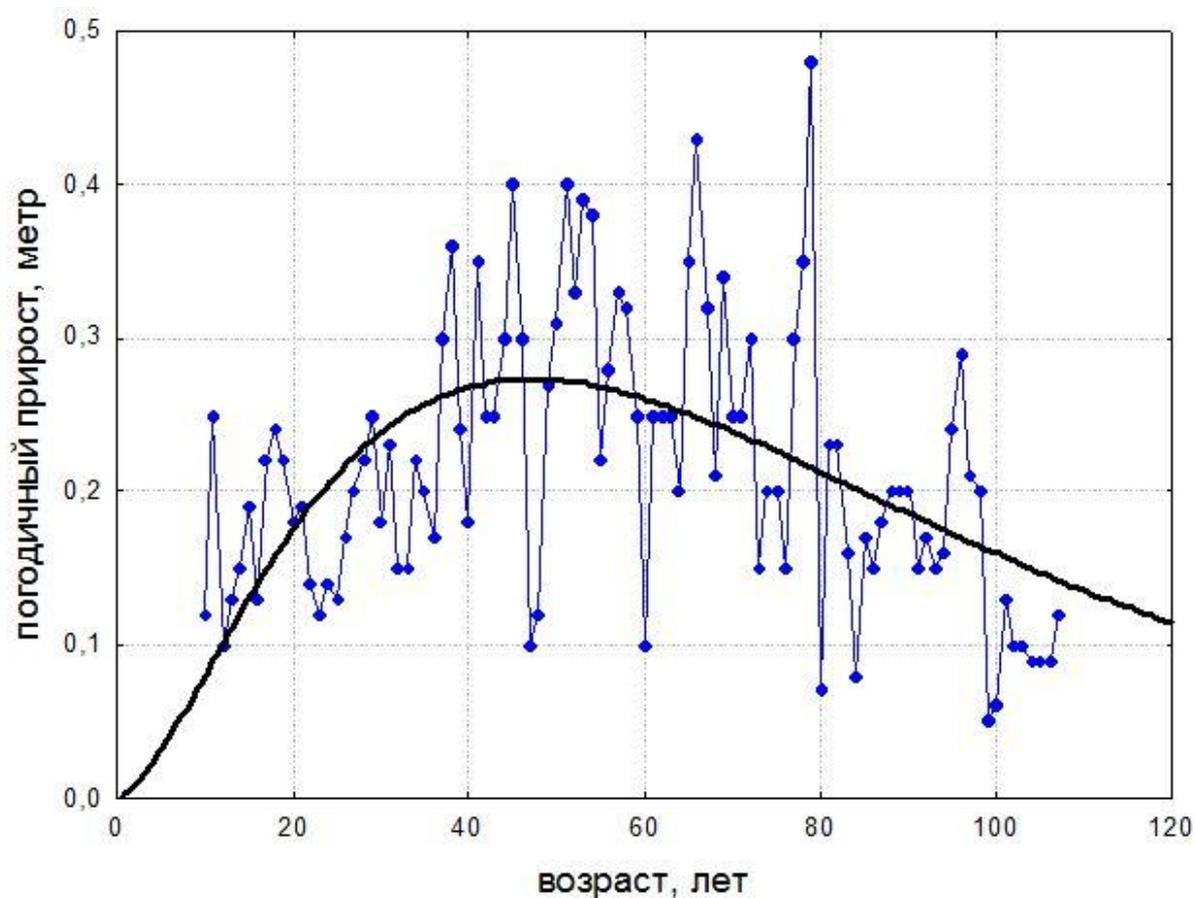


Рис. 1. Годичный прирост, наблюдаемые данные и функция прироста, модель 50. на п.п. 161

Первая производная от функции Митчерлиха, представлена ниже:

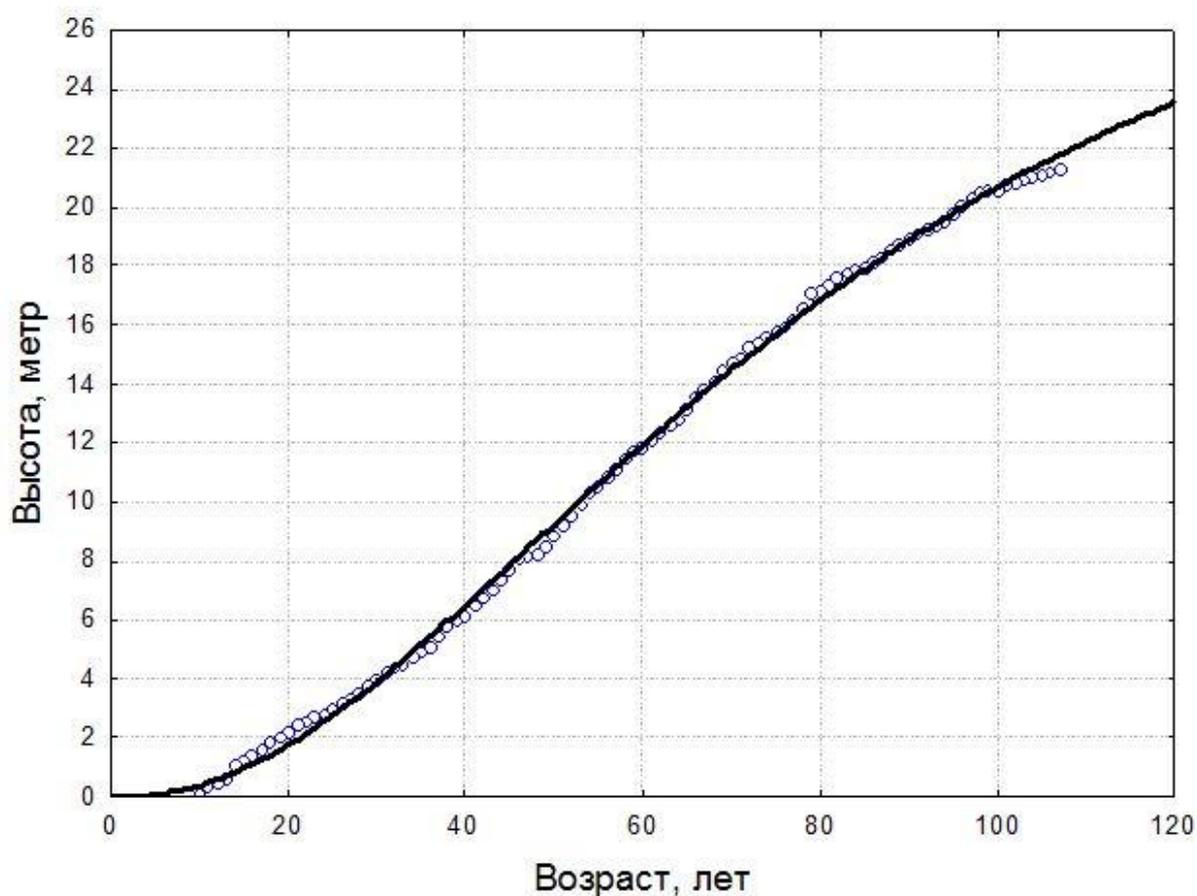
$$F'(X) = b_1 \cdot (1 - \text{EXP}(-b_2 \cdot X))^{b_3} \cdot b_3 \cdot b_2 \cdot (\text{EXP}(-b_2 \cdot X) / (1 - \text{EXP}(-b_2 \cdot X))) \quad (2)$$

Для того, чтобы проверить наличие периодических составляющих в полученных остатках, использовали гармоническую функцию:

$$Z_H(A) = b_1 \cdot \cos(6.28 \cdot A / b_2) + b_3 \cdot \sin(6.28 \cdot A / b_2) \quad (3)$$

Где,  $Z_H$  – выровненные отклонения от кривой роста;  $b_2$  - период в годах;  $b_1$  и  $b_3$  – коэффициенты формы и амплитуды;  $A$  – возраст, лет.

Периодические составляющие процесса прироста в высоту дерева № 50 (п.п.161) имеют периоды колебаний, равные 5 и 14 годам с коэффициентами детерминации 0,34 и 0,25, соответственно. Подбор параметров производился способом минимизации суммы квадратов отклонений расчетных от исходных данных. Вычтем функцию роста из первичных данных и получим остатки, в которых присутствуют волновые компоненты (рис. 3) с периодом 60 и 30 лет. Коэффициенты детерминации для первой и второй компонент соответственно равны 0,64 и 0,21.



*Рис. 2. Опытные данные и возрастная тенденция (функция Митчерлиха), модель 50, на п.п.161, Минусинские ленточные боры*

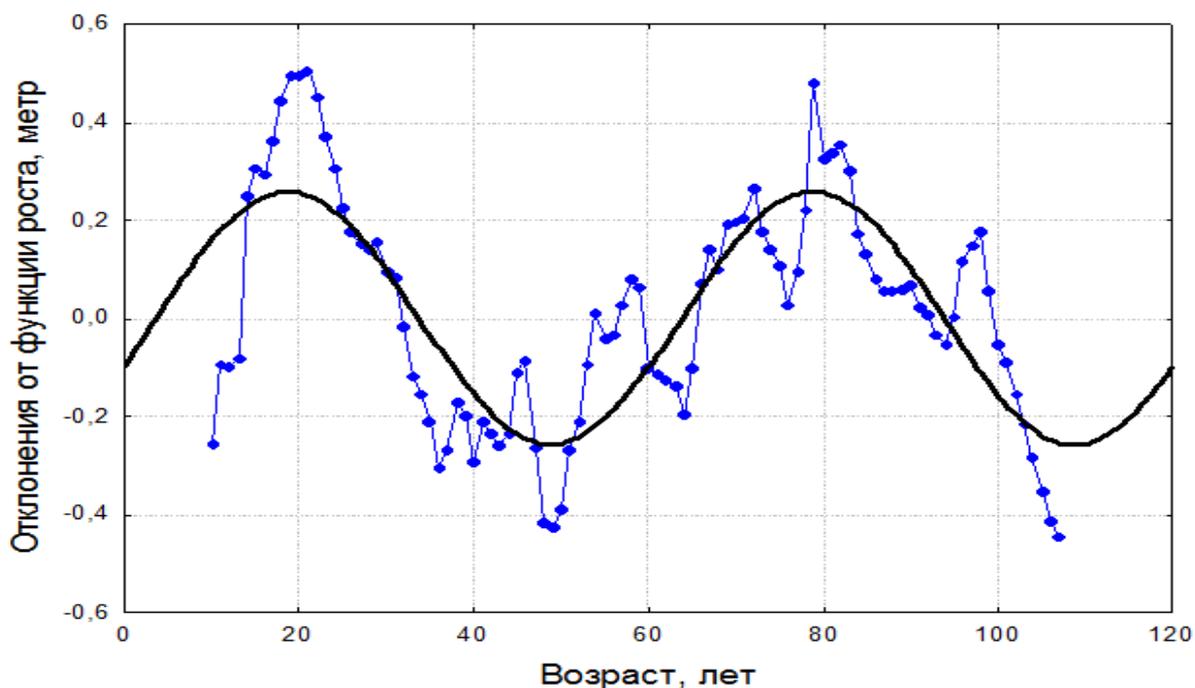


Рис. 3. Остатки после вычитания тенденции, модель 50, п.п. 161

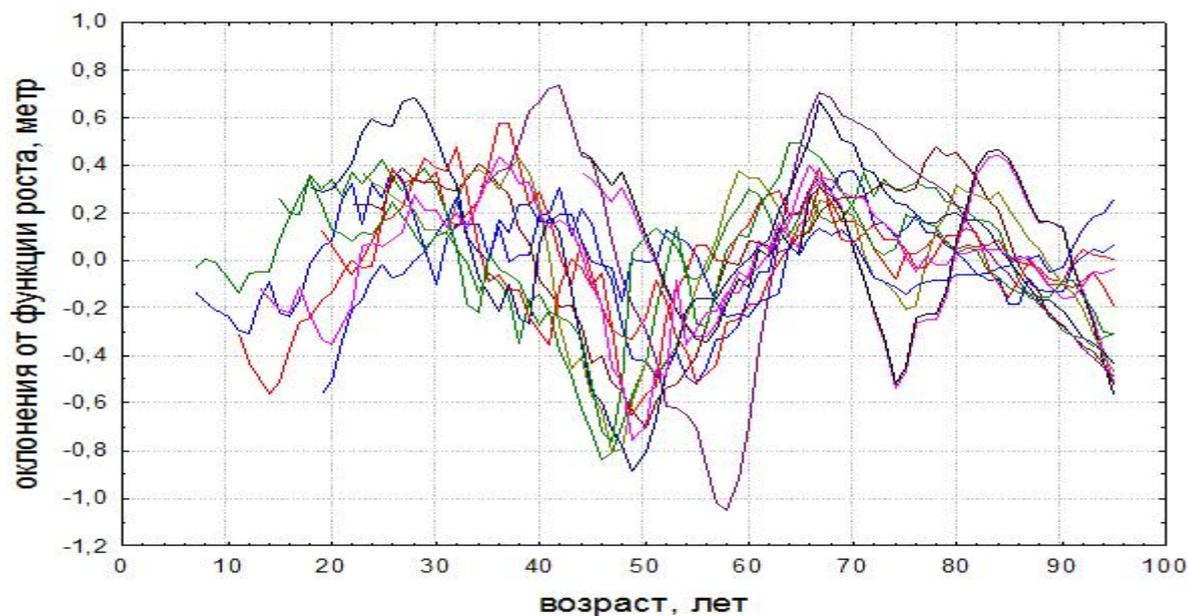
Распределение остатков после исключения периодичностей близко к нормальному в обоих случаях, но во втором случае достоверность статистик распределения выше. Для выявления зависимости роста деревьев от внешних факторов, данные метеостанций сравнивались с отклонениями от функции роста путем нахождения коэффициентов корреляции между месячной суммой осадков или температуры и с соответствующим приростом в высоту.

## Результаты и обсуждение

Таким образом, существуют отклонения от функции роста - как положительные, так и отрицательные, которые достигают на представленных данных 0,5-1,2 м. Как отмечают Н.Я. Саликов и В.М. Ашметков [6], развитие древостоя происходит в диалектическом противоречии между увеличивающимися размерами самих деревьев и ограниченной площадью их питания. В биологической науке этот процесс рассматривается как результат взаимодействия эффектов группы и плотности. Периодические состав-

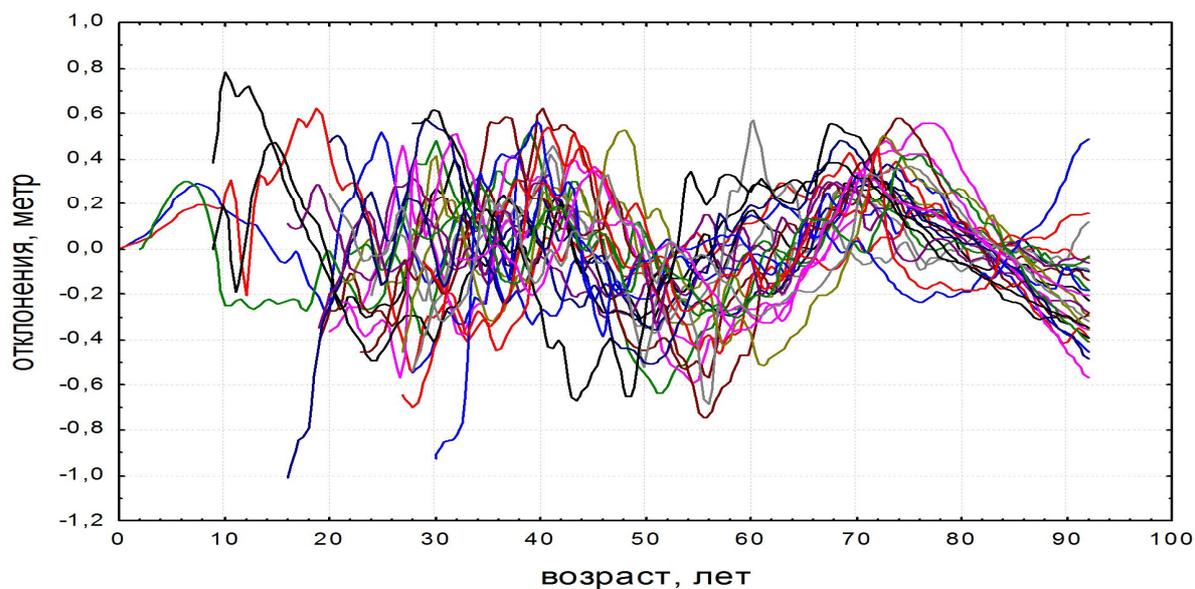
ляющие роста деревьев несут определенную информацию об циклических изменениях в ходе роста деревьев и древостоев. Необходимо было выяснить, от каких причин зависят период и амплитуда колебаний. По нашему мнению, существует многофакторный процесс взаимодействия внешних и внутренних факторов, вклад каждого меняется с течением времени. Тем не менее, ритмическая составляющая существует, и высокий коэффициент детерминации позволяет нам предположить, что она достоверна. При оценке тесноты связи между опытными и выровненными данными коэффициент детерминации лежит в пределах от 22 % до 92 % и является значимым, среднее значение - 62%. Можно констатировать, что периодичность отклонений от кривой роста присутствует в той или иной мере у всех 140 деревьев. В среднем период колебаний (параметр  $B_2$ ) находится в пределах 40-50 лет. Для того, чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим графики отклонений от функции роста на отдельных пробных площадях. Наши исследования ограничились описанием только одной гармоник, вносящей наибольший вклад (от 50 до 80%) в объяснение остатков от функции роста. Описание других гармоник имеет смысл после выявления порождающих их механизмов.

На представленных ниже двух графиках (рис. 4 и рис. 5) показаны отклонения от функции роста на пробных площадях, расположенных в Минусинском лесничестве. Оно непосредственно граничит со степным пространством и характеризуется более засушливым климатом по сравнению с остальной частью Минусинских ленточных боров. Отклонения разносены по времени по фазе, но влияние какого-то общего внешнего лимитирующего фактора, согласующего максимумы и минимумы прироста у деревьев на пробных площадях, прослеживается.



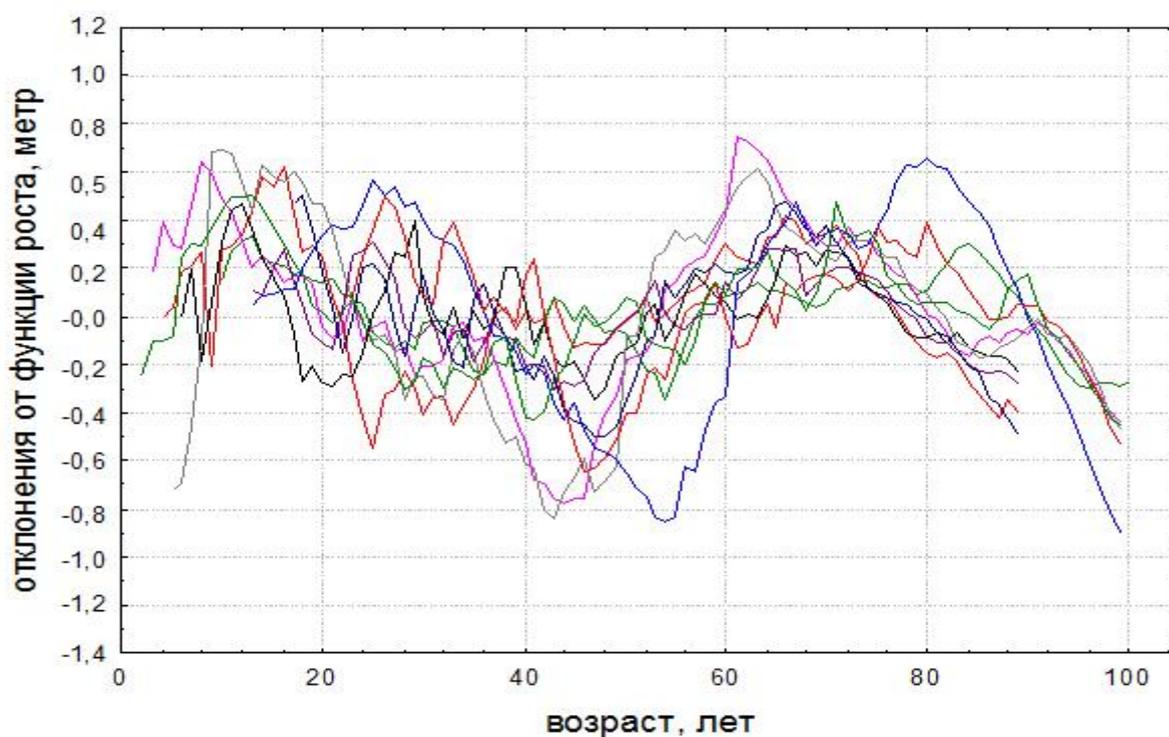
*Рис. 4 Отклонения на п.п.159, Минусинское лесничество*

На рис. 5 приводятся отклонения от функции роста на пробных площадях, расположенных в Знаменском лесничестве. Эти места - более увлажненные по сравнению с Минусинским лесничеством. Здесь на графике нет влияния внешнего фактора или, по крайней мере, оно слабо выражено. Деревья на этих пробных площадях в большинстве своём имеют различные фазы и циклы своего развития. Необходимо отметить, что в ходе онтогенеза фазы отклонений у деревьев ближе в более позднем возрасте. Это, вероятно, связано с изреживанием древостоя, когда взаимное влияние ослабевает, и значение внешнего фактора возрастает. Особенно четко это видно на пробной площади 5 (рис. 5).



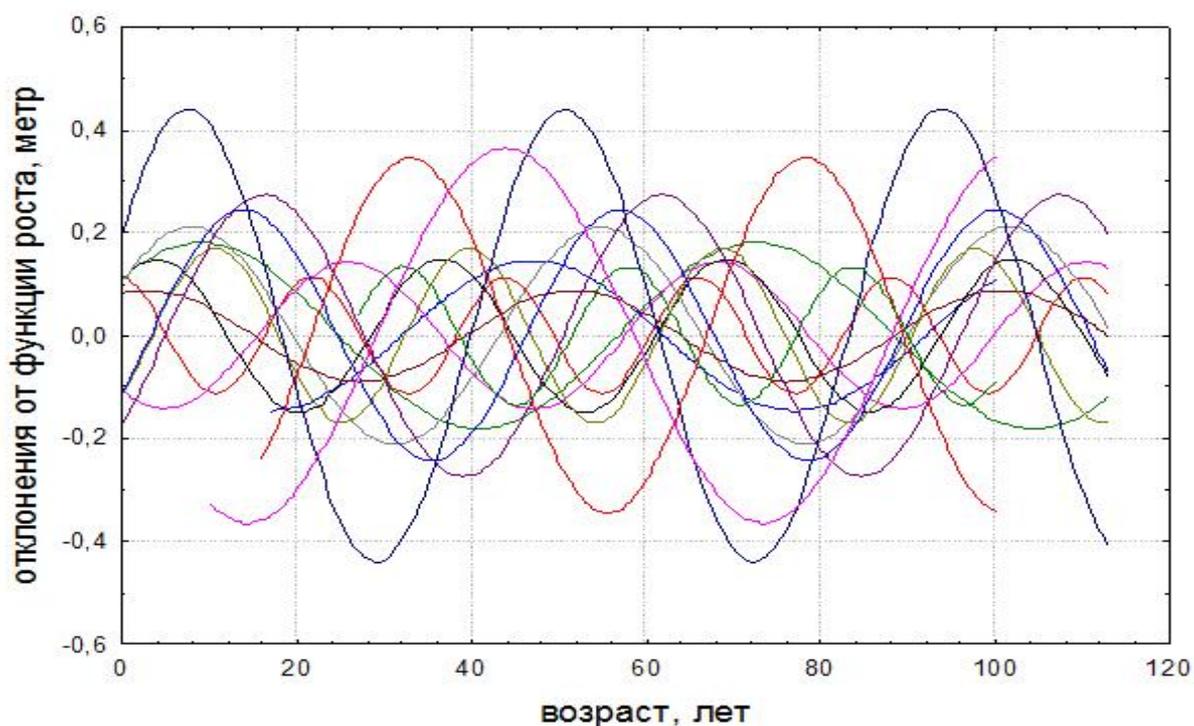
*Рис. 5 Отклонения от функции роста на п.п.5, Знаменское лесничество*

Для проверки, как влияет внешний фактор на отклонения суммарно на всех пробных площадях, были выбраны деревья с приблизительно одинаковым периодом отклонения от функции роста (разница не более 5 лет), средним для Минусинских боров (около 50 лет, рис. 6.).



*Рис. 6 Отклонения от функции роста у деревьев с большим периодом*

Прослеживается влияние внешнего фактора, синхронизирующего отклонения от функции роста. Тем не менее, индивидуальная изменчивость присутствует и здесь. Чтобы изучить полученные отклонения, вычисляли разности между кривой роста и экспериментальными данными. Полученные отклонения выравнивались гармонической функцией (3) (рис. 7).



*Рис. 7. Выравненные гармонической функцией отклонения от функции роста у всех деревьев на п.п.5*

Гармоническая функция позволяет в первом приближении описать отклонения от функции роста, хотя на самом деле зависимость более сложна и, скорее всего, не носит столь яркий гармонический характер. В начале жизни деревьев, в основном, период колебаний более короткий, затем он увеличивается и достигает значений, превышающих половину возраста дерева, что может быть следствием более низкочастотных вековых и сверхвековых колебаний внешней среды. Эти колебания, на имеющихся данных, невозможно выявить в соответствии с теоремой Слуцкого (период гармонических колебаний надежно определяется, если только он меньше в 2,5

раза длины исследуемого временного ряда). Кроме того, биоценоз постоянно развивается, и если в начальный период развития густота максимальна, и внутриценозические отношения преобладают, то на следующем этапе онтогенеза, после массового отпада и ближе к возрасту спелости, внешние условия могут быть более значимы, чем на первом этапе.

Далее, выявлялась связь коэффициентов уравнения Митчерлиха и гармонической функции. Наиболее значительна связь между коэффициентом  $b_1$  (предельная высота дерева) и  $B_1$  – периодом гармонической функции. Т.е. можно предположить, что с увеличением высоты дерева растет и период колебаний отклонений от кривой роста, достигая своего максимума - 120 лет, что отмечалось в работе [5]. В целом, связь периода отклонений и предельной высоты связана, по нашему мнению, с долговечностью каждого члена биоценоза. Судя по всему, чем больше период колебаний и, следовательно, сбой и возвращение к генетической программе роста, тем долговечнее дерево, т.е. его жизненный цикл содержал меньшее количество стрессов и возмущений и, таким образом, его генетическая программа выполняется более успешно. Но отклонения от функции роста зависят не только от абиотических и биотических факторов, но и от генетических, связанных с наличием внутренних циклов жизнедеятельности каждого организма. Различные циклы, накладываясь, могут войти в резонанс, повышая свою амплитуду. В свою очередь, она может совмещаться с внутриценозическими и климатическими воздействиями, совпадая с ними по фазе. Все это приводит к катастрофическим для жизни дерева последствиям. Для того чтобы, четко объяснить это явление, необходимо исследовать сухостойные деревья, отпавшие в ходе развития древостоя. Для оценки влияния внешних факторов, в частности, осадков и температуры, использовались данные Минусинской метеостанции за 80 лет. По нашему мнению, древостой, растущий в определенных лесорастительных условиях, приспособил-

ся к существующему гидротермическому режиму, и если эти условия не выходят за рамки оптимальных, то реакция несущественна. Другое дело, если происходит существенный выход за пределы оптимального диапазона, тогда реакция многих деревьев (но не всех) возрастает. Если брать в целом взаимосвязь между осадками и температурой, с одной стороны, и приростом в высоту - с другой, коэффициент корреляции на протяжении всего периода жизни деревьев находится на уровне 0,30.

### Заключение

1. Отклонения от кривой роста в высоту имеют ярко выраженные периодичности. Колебания различаются как по амплитуде, так и по периоду, что связано с классами роста и долговечностью отдельных деревьев, причём величина периода составляет в среднем 40 -50 лет. Отклонения обусловлены, прежде всего, внутриценотическими взаимодействиями, а влияние абиотических факторов увеличивается и выходит на первый план в условиях постоянно действующих неблагоприятных для произрастания факторов. Когда факторы среды переменны, отклик на сильный внешний фактор (выходящий за рамки канального эффекта) проявляется в согласовании периодов отклонений от функции прироста.
2. Внешние условия (температура и осадки) оказывают слабое влияние, которое сглаживается неодинаковой реакцией на них различных деревьев в благоприятных условиях внешней среды.
- 3.

### Список литературы

1. **Демаков Ю.П.** Диагностика устойчивости лесных экосистем (методические и методологические аспекты). Йошкар-Ола, 2000. 415с.
2. **Кивисте А.К.** Функции роста леса. Тарту: ЭСХА, 1988. 108 с.
3. **Кузьмичев В.В.** Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
4. **Руссов В.Г.** Исследование особенностей роста в высоту сосны обыкновенной // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск, 2004. № 1(33) с. 34-37

5. **Руссков В.Г.** Особенности роста в высоту сосны обыкновенной в Восточной Сибири // Изв. Вузов. Лесной журнал, Архангельск, 2008. № 3. с. 34-39
6. **Саликов Н.Я. Ашметков В.М.** Полнота как норматив режима формирования древостоев // Лесное хоз-во. 1985.-№10. с.52-54.