

Состояние сосновых древостоев в условиях распределённого влияния осадков

© 2008. А.В. Кузьмин, Е.Ю. Полоскова, О.М. Распопов, Л.И. Кузьмина, О.А. Гончарова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН,
Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,
ионосферы и распределения радиоволн РАН

На основе использования дендроэкологического подхода и метода построения соответствий проведена оценка влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов. Определена структурная гетерогенная организация модельных сосновых древостоев в поле влияния данного фактора воздействия. Выявлены географические тренды восприимчивости насаждений и доказана максимальная чувствительность главного элемента притундровых лесных экосистем.

Estimation of precipitation influence on annual radial increments is carried out on the basis of dendroecological approach and method of correspondences construction. Structural heterogenic organization of model pine stands under the influence of the above mentioned factor of precipitation is determined. Geographic receptivity trends of the plantings are found out and the maximal sensitivity of the main element of pre-tundra forest ecosystems is proved.

Исследования, характеризующие влияние температуры воздуха на рост древесных пород, к настоящему времени представляют собой достаточно обширный перечень [1]. Для эффективного решения задач управления природными территориями и обеспечения экологического баланса наиболее важным направлением является идентификация влияния ведущих климатических факторов в пространственном и временном масштабах. В настоящей работе проводится анализ влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов (ГРП) сосновых насаждений; значимость осадков рассматривается на различных временных интервалах. Существенное значение для формирования ГРП в отдельных случаях имеют годовые (суммарные и средние) величины осадков [2, 3], ряд авторов отмечает определяющее положительное влияние осадков на развитие ГРП в период вегетации, некоторыми исследователями представлен феномен существенного влияния осадков на рост главных лесообразующих пород в переходные периоды (весна, осень) [2 – 5].

Используя представленный ранее исследовательский опыт, и в соответствии с актуальностью рассматриваемой предметной области в настоящей работе формулируются следующие основные задачи:

1. Идентификация существенных временных интервалов влияния осадков на ход роста модельных древостоев для каждой породы деревьев.
2. Описание групповых эффектов реагирования элементов древостоя в поле влияния указанного фактора воздействия.

3. Определение степени восприимчивости различных географических типов лесов к воздействию осадков.

Объекты и методы

С целью решения представленных выше задач в Мурманской области, территория которой – удобный модельный объект, по меридианальному направлению выбраны три экспериментальные площади, представляющие собой географическую трансекту от континентальных лесов к притундровым протяженностью около 400 км с запада на восток (рис. 1). Рассматриваемые локальные лесные экосистемы находятся на расстоянии, не превышающем 10 км от населённых пунктов Алакуртти, Умба, Кашкаранцы, в которых ведутся метеорологических наблюдения.

Из всей совокупности пробных площадей, расположенных в южном секторе Кольского региона, выбраны древостои, имеющие максимальное сходство по основным характеристикам преобладающей породы (табл. 1). Кроме того, используемые насаждения не имеют существенных различий по форме поверхности рельефа, поскольку данный фактор достоверно влияет на структуру древостоя. Возвращаясь к таблице 1, следует отметить, что представленные средние арифметические значения основных параметров исследуемых локальных древостоев вычислены достаточно точно. Об этом свидетельствуют низкие значения стандартной ошибки, приведённые для каждой средней величины. В сравнительном аспекте по комплексу параметров, представлен-

ных в таблице 1, модельные насаждения относительно однородны, исключение составляет диаметр ствола на площади № 2.

Типологическое описание исследуемых локальных лесных массивов выглядит следующим образом.

Модельная площадь № 1. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-сфагновый. Подрост – сосна (группами), ель (группами), подлесок – берёза, ива (группами), жимолость (единично).

Модельная площадь № 2. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-вороничный. Подрост – сосна (обильно), ель (единично), подлесок – берёза (единично).

Модельная площадь № 3. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С+Е, тип леса – сфагново-вороничный. Подрост – сосна (группами обильно), ель (редко), подлесок – можжевельник (единично).

На основании представленных описаний можно сделать заключение, что выбранные модельные насаждения занимают достаточно близкие позиции по набору используемых характеристик.

Представленные ранее модельные площади с точки зрения параметрического описания характеризуются следующим образом. В пределах каждого компактного древостоя для сбора эмпирической информации использовались 30 деревьев, расположенных в непосредственной близости. Индивидуальный древесный организм главного элемента леса метрически представлен набором параметров: высота (H), диаметр ствола на высоте груди (D), класс возраста (A). Для каждого из учтённых деревьев буровом Пресслера собраны образцы древесных кернов, измерение которых с точностью до 0,01 мм проводилось с использованием автоматизированной системы телеметрического анализа [6]. Сформированный параметрический комплекс в сочетании с характеристиками модельных объектов являются достаточно точной эмпирической основой для решения поставленных исследовательских задач.

Количественный анализ исходных данных основан на применении стандартных статистических методов [7, 8]. Кроме того, для определения существенных интервалов воздействия на развитие главных лесобразующих пород использован специально разработанный алгоритм. Данный подход основан на построении интервальных соответствий между независимыми и зависимыми параметрами [9]. В результате для каждого дерева определяется временной интервал с градацией в один месяц, на про-

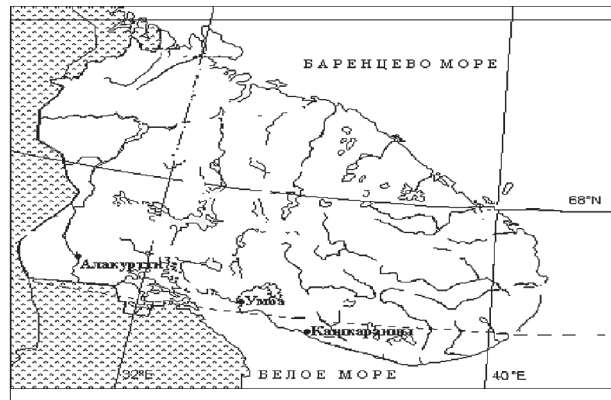


Рис. 1. Схема расположения модельных площадей

тяжении которого факторы воздействия влияют существенно на формирование размеров годичного радиального прироста. Идентификация существенных интервалов (СИ) в данном случае проводится с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). В рассмотрение включаются только значимые величины указанного коэффициента в пределах от -1 до +1, достоверность определялась на основе доверительных интервалов, не превышающих стандартный уровень 0,05.

Результаты и обсуждение

На основе использования метода идентификации существенных интервалов [1] эмпирической базы, представленной многолетними рядами ГРП и осадками определены временные отрезки, с градацией в один месяц значимого влияния осадков. Указанные существенные интервалы (СИ) вычислены для каждого дерева модельной площади.

На рисунках 2–4 ось X представляет собой годичный период, дифференцированный по месяцам, ось Y соответствует суммарному количеству существенных интервалов. В итоге для каждого месяца отмечено количество деревьев, положительно (P) и отрицательно (N) реагирующих на влияние исследуемого фактора. Полиномиальные аппроксимации используются для определения трендов.

Таблица 1

Основные характеристики главного элемента леса на модельных площадях

№ площади	Класс возраста (A)	Высота (H) ствола, м	Диаметр (D) ствола, см
1	8±0,3	12,5±0,4	21,2±1,1
2	9±1,0	14,1±0,5	29,1±1,7
3	9±0,3	12,5±0,4	20,2±1,0

Примечание: приведены средние значения и их стандартные ошибки

Средние многолетние значения осадков

№ п.л.	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12,0±1,78	9,4±2,0	9,7±1,9	10,5±1,9	11,8±2,5	18,9±3,7	23,5±4,2	21,9±3,9	20,5±3,0	17,2±2,7	15,0±1,9	12,6±1,74
2	9±1,4	7,1±1,1	7,2±1,31	7,9±1,4	10,0±2,8	14,7±2,8	15,9±3,2	23,3±4,4	20,3±3,02	18,4±3,05	13,4±1,5	10,7±1,4
3	7,2±1,2	5,7±0,8	6,8±1,12	7,4±1,34	9,3±2,2	11,8±2,2	15,1±2,7	19,7±3,14	18,1±2,65	17,8±2,87	12,4±1,67	8,2±1,20

На экспериментальной трансекте (рис. 1) наиболее западным пунктом, представляющим континентальные леса, является модельный древостой, расположенный в районе населённого пункта Алакуртти. Данный модельный объект (МО 1) в течение годового периода аккумулирует 47 СИ, из которых 21 имеют положительное значение и 26 отрицательное, количество деревьев, независимых от воздействия осадков составляет 13%.

Диаграмма количественного участия элементов древостоя в формировании годичных радиальных приростов для МО 1 представлена на рисунке 2. Рассмотрим ординированный в порядке уменьшения значимости ряд месяцев по количеству СИ прямо пропорционального действия.

$$2(4), 6(4), 10(4), 11(3), 5(2), 1(1), 4(1), 7(1), 9(1), 3(0), 8(0), 12(0) \quad [1]$$

В представленном ряду первая цифра соответствует порядковому номеру месяца, в скобках указано число существенных интервалов. Рассматривая запись первую (Д1), можно сделать заключение, что максимальное положительное воздействие осадков отмечается в периоды: февраль (19%), май – июнь (29%), октябрь – ноябрь (33%). Общая величина сгруппированных интервалов – 81%. В первом и третьем случае осадки выпадают в виде снега, а во втором –

в виде дождя. Очевидно, что в данном случае определяется преобладание снежных осадков. Сравнительный анализ с абсолютными значениями средних величин осадков (табл. 2) позволяет констатировать минимальное количество СИ (1) в период максимального количества летних осадков (июль, август).

Рассматривая полиномиальную кривую на рисунке 2, можно сделать утверждение, что выполненная аппроксимация достаточно точно описывает исходный временной ряд существенных интервалов.

Кривая, представленная на рисунке 2, включает три максимальных (февраль, июль, ноябрь) и два минимальных (апрель, сентябрь) экстремума. Тренды в пределах годового цикла выглядят следующим образом: февраль – апрель (уменьшение СИ), апрель – июнь (увеличение СИ), июнь – сентябрь (уменьшение СИ) и сентябрь – ноябрь (увеличение СИ). Таким образом, минимальная значимость прямо пропорционального действия осадков приходится на начало весны и окончание лета.

Аналогичная краткая запись (Д 2) отрицательных СИ по осадкам (О) для МО 1 имеет следующий вид.

$$2(5), 3(5), 10(4), 6(3), 9(3), 12(2), 1(1), 5(1), 8(1), 11(1), 4(0), 7(0) \quad [2]$$

В данном случае максимальное отрицательное воздействие осадков (38%) отмечается в феврале и марте. Далее следует октябрь и сентябрь (27%). В суммарном выражении данные интервалы составляют – 65%. Сопоставление полученных результатов со средними многолетними данными (табл. 2) позволяет определить, что максимальное количество отрицательных СИ совпадает с периодом минимального количества осадков (февраль, март). Полиномиальная кривая существенных интервалов обратно пропорционального действия (рис. 2N) содержит два максимальных экстремума (2-3, 9-10 месяца) и один минимальный (5-6 месяц). Соответственно, тренды можно представить следующим образом. Январь – февраль (увеличение), февраль – май (уменьшение), май – октябрь (увеличение). На основании представленных тенденций можно

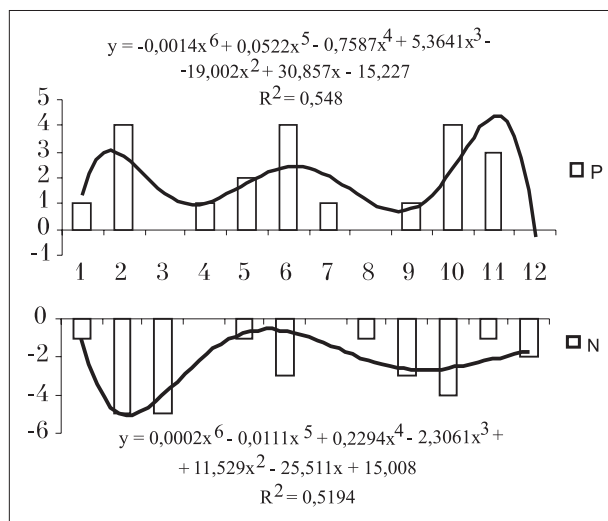


Рис. 2. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Алакуртти)

сделать заключение, что минимальная значимость обратно пропорционального действия осадков отмечается во второй половине весны и второй половине лета.

В завершении оценки влияния осадков на формирование ГРП в районе Алакуртти можно сделать заключение, что в первом случае суммарное влияние (от количества +СИ) указанных месяцев составляет 57%, во втором (от количества -СИ) 46%. Объединяя прилегающие по времени интервалы (по +СИ и -СИ), можно определить временные периоды максимального воздействия осадков на формирование годичных радиальных приростов, таковыми являются: сентябрь – ноябрь (34%), февраль – март (30%), май – июнь (21%). В данном случае пересчет проводился на общее количество СИ (47) для данной модельной площади. В суммарном выражении выявленные периоды составляют 85% от общего влияния осадков на формирование ГРП.

Следующим модельным объектом в восточном направлении от Алакуртти является древостой, расположенный в непосредственной близости от населенного пункта Умба (рис. 1). Общее количество существенных интервалов для МО 2 равно 47, из которых 24 – положительных и 23 – отрицательных. Количество независимых от влияния осадков деревьев составляет 23%. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП в поле влияния осадков для МО 2 представлена на рисунке 3. Как и в предыдущем случае на МО 1 рассмотрим ординированный по количеству СИ ряд (Д 3) в части прямо пропорционального воздействия (рис. 3Р).

6(7), 4(3), 5(3), 7(3), 8(2), 10(2),
12(2), 3(1), 9(1), 1(0), 2(0), 11(0) [3]

Здесь уже можно говорить о существенно ином характере проявления +СИ в течение года. В группе лидирующих месяцев сохраняется только июнь. При этом отмечается значимое увеличение СИ в данный период. Распределение существенных интервалов имеет более интегрированный характер: летние месяцы (6-8) – 50%, весенние (4-5) – 25% от количества +СИ (24). Общий вклад указанных временных интервалов равен 75%. Период действия положительных температур для района п. Умба включает май – октябрь. На данном модельном объекте отмечается явное преобладание осадков в виде дождя. Сопоставление динамики количественного участия (рис. 3Р) и абсолютных значений осадков по месяцам (табл. 2) не позволяет выявить объективной количественной значимости осадков.

Полиномиальная кривая (рис. 3Р) характеризуется одним максимальным экстремумом

(июнь) и двумя минимальными (февраль, октябрь). В данном случае тренды выглядят достаточно просто: февраль – июнь (увеличение), июнь – октябрь (уменьшение) влияния осадков на формирование ГРП, следовательно, осадки оказывают минимальное положительное воздействие зимой и осенью.

Проведем анализ кратной записи (Д 4), представляющей собой характеристику значимости СИ в отрицательной части для МО 2.

11(4), 2(3), 10(3), 3(2), 6(2), 7(2),
8(2), 9(2), 1(1), 4(1), 12(1), 5(0) [4]

Как видно из краткой записи Д4, отрицательные СИ имеют более равномерно распределенный характер. Тем не менее, представляется возможным установить следующие значимые периоды, октябрь – ноябрь (30%) и февраль – март (22%). В суммарном выражении указанные месяцы составляют 52% от общего количества существенных интервалов (23) обратно пропорционального действия на МО 2. На основе сравнительного анализа ранжированного ряда Д 4 и средних значений О (табл. 2) можно сделать заключение, что количество СИ в отрицательной части не связано с абсолютными значениями осадков по месяцам.

Используя соответствующую МО 2 полиномиальную аппроксимацию (рис. 3Н), можно установить характерные временные изменения и тренды. В данном случае отмечается два максимальных экстремума (2 и 11 месяцы) и один минимальный (4 – 5 месяцы). Тренды в течение годового цикла слагаются следующим образом. Январь – февраль (увеличение), февраль – май (уменьшение), май – ноябрь (увеличение). Следовательно, минимальная значимость обратно пропорционального влияния осадков является характерной для второй половине весны.

Относительно интегрированный характер количества СИ прямо пропорционального и обратно пропорционального действия в приложении к МО 2 отмечается для июня – июля и составляет 30% от общего количества существенных интервалов. В целом можно отметить, что для модельного древостоя, расположенного в районе населенного пункта Умба, суммарное распределение (+СИ и -СИ) имеет достаточно плавный характер.

Заключительным пунктом экспериментальной трансекты (рис. 1) в восточном направлении является модельный древостой, представляющий собой притундровые леса, расположенный в районе п. Кашкаранны (МО 3). Общее количество СИ для данного объекта составляет 56, из них положительных – 33, отрицательных – 23, доля независимых от влияния осадков деревьев в составе древостоя составляет 20%.

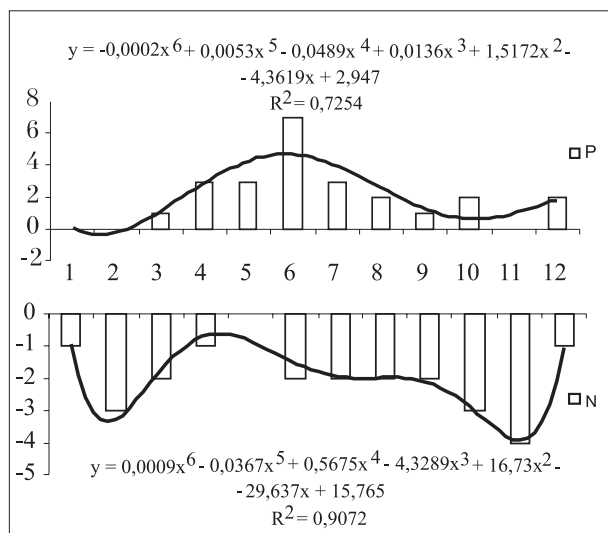


Рис. 3. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Умба)

По аналогии с ранее рассмотренными модельными древостоями проведём анализ динамики количественного участия элементов насаждения в формировании ГРП под воздействием осадков для МО 3 (рис. 4Р). Соответствующий ординированный ряд выглядит следующим образом в части прямо пропорционального воздействия

$$6(7), 8(7), 2(4), 9(4), 7(3), 12(3), 4(2), 1(1), 3(1), 5(1), 10(0), 11(0) \quad [5]$$

Максимальная интеграция существенных интервалов, как видно из рисунка 4Р, отмечается в летние месяцы и начало осени (6-8, 9) и составляет 64% от количества +СИ (33), в феврале 12%, в суммарном выражении 70%. В соответствии с многолетними данными летние осадки для рассматриваемого района отмечаются в период с мая по октябрь. На данном модельном объекте отмечается преобладание осадков в виде дождя. Сравнительный анализ количественного участия осадков в формировании ГРП и абсолютных значений данного параметра (табл. 2) позволяет установить устойчивые совпадения: февраль (минимум), июнь – сентябрь (максимум).

Полиномиальная кривая (рис. 4Р) количественного участия элементов древостоя включает два максимальных экстремума (февраль, июль) и два минимальных (март, ноябрь). Последовательность трендов на устойчивых временных интервалах выглядит следующим образом: февраль – апрель (уменьшение), апрель – июль (увеличение), июль – ноябрь (уменьшение). Таким образом, минимальное влияние осадков на формирование годичных радиальных приростов отмечается весной и осенью.

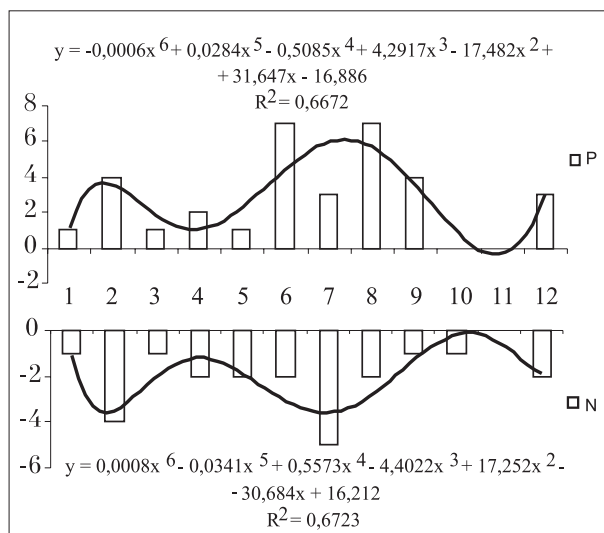


Рис. 4. Динамика количественного участия элементов древостоя в формировании ГРП под воздействием осадков (Кашкаранцы)

Краткая запись Д 6 обратно пропорционального влияния осадков на МО 3 имеет следующий вид.

$$7(5), 2(4), 4(2), 5(2), 6(2), 8(2), 12(2), 1(1), 3(1), 9(1), 10(1), 11(0) \quad [6]$$

Объединенные по времени периоды максимального проявления существенных интервалов имеют следующий состав: июнь – август (39%) и февраль (17%) от суммы -СИ (23%). В суммарном выражении интегрированные существенные интервалы обратно пропорционального воздействия осадков на формирование ГРП составляют 56% от общего количества отрицательных СИ. Соотношение летних и зимних осадков имеет вид 13:10, что свидетельствует о незначительном преобладании первых. Представленные периоды объединенного влияния осадков и соответствующие абсолютные величины осадков (табл. 2) как и в случае с положительными СИ, выявляют максимальные воздействия в феврале при минимальных абсолютных значениях и июне – сентябре при максимальных значениях.

Полиномиальная аппроксимация отрицательных СИ для модельного древостоя в районе Кашкаранцев (рис. 4N) практически симметрична кривой +СИ (рис. 4Р) относительно оси X, рассматривая рисунок 4N, можно обнаружить два максимальных экстремума (февраль, июль) и два минимальных (апрель, октябрь). Тренды по соответствующим временным интервалам можно представить следующим образом: февраль – апрель (уменьшение), февраль – июль (увеличение), июль – октябрь (уменьшение), октябрь – декабрь (увеличение). Таким образом, минимальная значи-

мость обратно пропорционального влияния осадков в данном случае определяется весной и осенью.

Сопоставление кратких записей Д5 и Д6 позволяет определить временные интервалы максимального совместного положительного и отрицательного влияния осадков на формирование годичных радиальных приростов. Таковыми являются: июнь – август и февраль. В указанный летний период суммарное количество существенных интервалов (+СИ и - СИ) составляет 46% от общей суммы СИ (56), установленный для данного модельного древостоя. Февраль имеет соответствующий вклад в размере 14%. В суммарном выражении выявленные периоды интеграции существенных интервалов составляют 70%.

Возвращаясь к исследуемым объектам (рис. 1), проведём сопоставление МО 1, МО 2 и МО 3 по комплексу характеристик в направлении с запада на восток по мере приближения к границе леса. Общее количество существенных интервалов в указанном ранее порядке составляет 47-47-56. В первых двух случаях (МО 1, МО 2) суммарное количество СИ превышает число модельных деревьев на 57%, в третьем (МО 3) на 87%. Следовательно, во всех модельных древостоях существуют группы деревьев с несколькими существенными интервалами реагирования на воздействие осадков. Количество независимых от влияния осадков деревьев (НД) определяется следующим набором 4-7-6 в аналогичном порядке. Исключая НД из общего числа модельных деревьев на пробной площади, и выполнив пересчет суммы СИ на количество реагирующих древесных организмов, получает следующие превышения существенных интервалов: 81%, 104%, 133%. Следовательно, можно сделать заключение, что по мере приближения к границе леса общее удельное влияние осадков на формирование годичных радиальных приростов увеличивается. Полученный результат хорошо согласуется с распределением средних многолетних величин осадков, абсолютные значения которых уменьшаются по экспериментальной трансекте в направлении с запада на восток (табл. 2).

Вклад прямо пропорционального влияния осадков в формирование годичных радиальных приростов (от общего числа СИ) для МО 1 – МО 2 – МО 3 представлен следующим рядом: 45%, 51%, 59%. В аналогичном порядке обратно пропорциональное влияние осадков характеризуется данной последовательностью удельных весов: 55%, 49%, 41%. На основании представленных двух ординаций можно сделать заключение, что по мере приближения к границе

леса положительное влияние осадков на формирование ГРП увеличивается, а отрицательное уменьшается.

Заключение

Для южной части Кольского региона максимальное общее влияние осадков, без разделения по знаку, отмечается в июне и феврале. В первом случае данный эффект можно объяснить минимальным количеством осадков в виде дождя, во втором – минимумом снежных осадков. Минимальное влияние осадков по всей экспериментальной трансекте фиксируется в январе и мае. Интересно отметить, что обобщенные минимумы непосредственно предшествуют максимумам. Данные результаты по уровню обобщения репрезентативны на уровне географического района и представляют собой теоретическую основу для разработки эффективных многоцелевых схем ведения хозяйства на лесных территориях.

Литература

1. Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И. Структура временной детерминации роста соснового древостоя комплексом метеорологических факторов // Успехи современной биологии. 2004. Том 124. № 4. С. 390-396.
2. Пугачев П.Г. Динамика годичного прироста сосны обыкновенной в Тургайской впадине в связи с климатическими факторами // Бот. журнал. 1975. Т. 60. № 3. С. 401-412.
3. Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на рост сосны в южной Карелии // Лесоведение. 2004. № 5. С. 73-74.
4. Забуга В.Ф., Забуга Г.А. Зависимость радиального прироста сосны обыкновенной от факторов внешней среды в лесостепи Предбайкалья // Лесоведение. 2003. № 5. С. 73-74.
5. Шпалте Э.П. Влияние метеорологических факторов на радиальный прирост сосны в Латвийской ССР // Лесоведение. 1978. № 3. С. 11-18.
6. Кузьмин А.В., Олейник А.Г., Олейник О.В., Зотов А.И. Автоматизированная система телеметрического анализа древесных кернов // Экология. 1989. № 3. С. 79-80.
7. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
8. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
9. Кузьмин А.В., Кузьмина Л.И., Полоскова Е.Ю. Структурная организация и потенциальная устойчивость интродуцированных насаждений *Larix sibirica* Ledeb. в условиях Кольского региона // Растительные ресурсы. 2004. Т. 40. Вып. 1. С. 18-28.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 06-04-48792).