

УДК 630.561.24
ББК 581.23

Н. В. Ловелиус, Т. А. Комарова,
Вон-Кей Парк, Д. К. Лее, Х. С. Канг

ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ *PINUS KORAIENSIS* SIEBOLD ET ZUCC. В ЮЖНОМ СИХОТЭ-АЛИНЕ

Достоверные сведения о многолетних ритмических изменениях условий произрастания сосны корейской (кедра) получены по радиальному приросту годичных колец деревьев Южного Сихотэ-Алиня и Корейского полуострова. Показана связь аномальных величин прироста сосны в Южном Сихотэ-Алине с метеорологическими показателями Владивостока и Чугуевки. Накануне и в годы аномальных отклонений прироста выявлены даты угнетений и благоприятных условий произрастания деревьев в связи с геомагнитной и солнечной активностью в двух регионах. Впервые для Южного Сихотэ-Алиня за 450 лет определены даты аномальных изменений векового цикла (90–100 лет) в росте сосны корейской. Раскрыта перспективность использования дендроиндикации для решения проблемы солнечно-биосферных связей.

Предисловие

Изучение лесов, образованных *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., имеет продолжительную историю¹, в то время как исследования временной и пространственной изменчивости прироста годичных колец кедра и сопутствующих ему древесных пород с использованием методов дендроиндикации на Дальнем Востоке весьма ограничены².

Накопленные данные по радиальному приросту деревьев в разных регионах указывают на неоднозначность реакции деревьев разных видов на влияние эндо- и экзогенных факторов. И, наоборот, разные по природе воздействия могут выражаться сходными отклонениями в приросте деревьев³. Наиболее определенно связь между колебаниями условий среды и отклонениями в росте деревьев прослеживается в экстремальных условиях произрастания, где количество лимитирующих факторов заметно сокращается. Дендроиндикационные исследования, проведенные

на верхней границе распространения широколиственно-кедровых лесов Сихотэ-Алиня⁴, подтверждают тесную связь многолетней изменчивости радиального прироста сосны корейской с многолетними ритмическими колебаниями климатических факторов.

Использование данных по приросту годичных колец сосны корейской дает возможность определить изменения роста деревьев за отдельные годы и выявить многолетние ритмические колебания условий их произрастания.

Цель настоящей работы – проанализировать характерные тенденции в радиальном приросте сосны корейской, произрастающей на верхнем пределе распространения широколиственно-кедровых лесов Южного Сихотэ-Алиня, в связи с изменениями локальных, региональных и глобальных факторов среды. При этом в задачи исследований входило: 1) установить степень зависимости формирования радиального прироста деревьев от количества атмосферных осадков и температуры воздуха; 2) определить связь внутривековых и вековых колебаний радиального прироста сосны корейской с аномалиями солнечной и геомагнитной активности и изменениями галактических космических лучей.

Объекты и методика

Материалами для исследования изменчивости радиального прироста деревьев как индикаторов изменения условий среды служили спилы и буровые керны модельных деревьев сосны корейской, произрастающей на территории Верхнеуссурийского биогеоценотического стационара Биолого-почвенного института ДВО РАН, который находится в верховьях р. Правая Соколовка (приток р. Уссури) между 43°09'–44°01' N и 133°09'–134°03'.

Средняя годовая температура воздуха на территории стационара близка к 0 °С, абсолютный максимум составляет 37–39 °С и приходится на июль-август, абсолютный минимум –45–48 °С – приходится на январь. Вегетационный период при среднесуточной температуре выше +5 °С продолжается 140–185 дней – с конца апреля до начала октября. Безморозный период длится 128–165 дней. Первые заморозки начинаются в конце сентября, а последние – в начале мая. В среднем за год выпадает 706–709 мм осадков и около 80 % приходится на летний период. Для первой половины лета характерны затяжные моросящие дожди, а для второй – обильные осадки ливневого характера.

Спилы и керны сосны корейской были отобраны в 1977, 1989 и 2006 гг. у модельных деревьев с двух пробных площадей (3-1973 и 12-1976), заложенных в низкотравно-мелкоосоковом лимонниково-лещинном кедровом лесу с примесью *Picea jezoensis*, *Tilia taquetii* и *Quercus mongolicae* на высоте 650–700 м над ур. м., что является верхним пределом массового распространения широколиственно-кедровых лесов в Южном Сихотэ-Алине. На пробной площади 12-1976 в 1976 г. была проведена экспериментальная сплошная вырубка деревьев и здесь отобрано десять спилов наиболее крупных деревьев максимального возраста, что позволило получить серию годичных колец с 1525 по 1976 гг. Вторая серия годичных колец сосны корейской получена по 20 кернам от 10 деревьев на пробной

площади 3-1974 и охватывает период с 1800 по 1989 гг. Измерения годовых колец на спилах и кернах, собранных в 1977 и 1989 гг., проводились под бинокулярной лупой МБС-1 в единицах шкалы окуляр-микрометра с точностью 0,01 мм. Материалы этих измерений, выполненных для всего годового кольца и его отдельных частей – ранней и поздней древесины, содержатся в работе Т. А. Комаровой и др.⁵

У 25 деревьев сосны корейской 50 буровых кернов, взятые в 2006 г., измерялись на полуавтоматической аппаратуре в лаборатории лесного департамента Национального университета Республики Корея в г. Чангбук. Все результаты измерений суммировались для получения среднего прироста за каждый год и построения мастер-хронологии. По данным мастер-хронологии определены годы с аномальными величинами прироста.

Для выявления реакции сосны корейской на изменения факторов среды: температуры воздуха, атмосферных осадков, солнечной и геомагнитной активности, галактических космических лучей были использованы ежегодные величины прироста годовых колец, а для выявления многолетних тенденций – их средние значения по 10-летиям.

Данные по средним месячным температурам воздуха и сумме осадков по месяцам были взяты из инструментальных наблюдений метеостанций «Владивосток» (за 1917–2000 гг.) и «Чугуевка», расположенной в долине р. Уссури на высоте 257 м над ур. м. и находящейся в 30 км к северо-западу от изучаемой территории (1936–2000 гг.), а также метеопоста «Еловый» (за 1968–2003 гг.), расположенного на высоте 680 м над ур. м. в долине ручья Чащевый на территории Верхнеуссурийского биогеоценологического стационара. Сравнительный анализ данных с метеостанций и метеопоста показал, что характеристики их изменяются синхронно в сезонном и межгодовом исчислении, но отличаются по абсолютным средним месячным значениям.

Процедура обработки метеорологических данных заключалась в следующем:

а) получение сумм средних месячных температур и сумм осадков за календарный год, а также за теплую (IV–X мес.) и холодную (XI–III) части экологического года;

б) расчет средней величины за весь срок наблюдений по каждому ряду;

в) расчет отклонений средних значений по 10-летиям от средней величины за весь ряд наблюдений с последующим их интегрированием.

Отношение месячных показателей каждого рассматриваемого метеорологического и геофизического показателя в годы с благоприятными условиями произрастания деревьев к таким же показателям в неблагоприятные годы позволяет судить о диапазоне их различий (К, %). Такие же расчеты выполнены для лет, предшествующих благоприятным и неблагоприятным условиям произрастания, что дает возможность проследить, на фоне каких условий в очередной период вегетации формируется прирост деревьев выше и ниже многолетней нормы.

Характеристики активности Солнца в числах Вольфа (W) и геомагнитной активности (индекс *aa*) заимствованы из работ Ю. И. Витинского и др.⁶, Г. К. Леви и др.⁷ с дополнениями, полученными по галактическим космическим лучам В. А. Дергачевым и В. Ф. Чистяковым⁸; В. И. Ер-

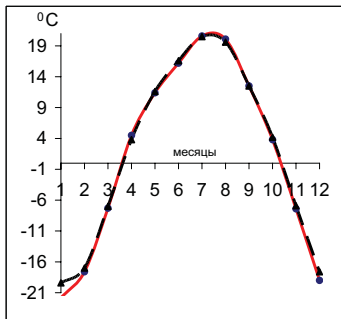


Рис. 1А. Температура воздуха в Чугуевке в годы с приростом сосны корейской больше (сплошная линия) и меньше (пунктир) нормы. По оси абсцисс – месяцы, по оси ординат – температура воздуха – °С

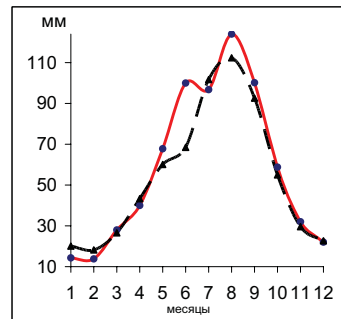


Рис. 1В. Осадки в Чугуевке в годы с приростом сосны корейской больше (сплошная линия) и меньше (пунктир) нормы. По оси абсцисс – месяцы, по оси ординат – осадки, мм

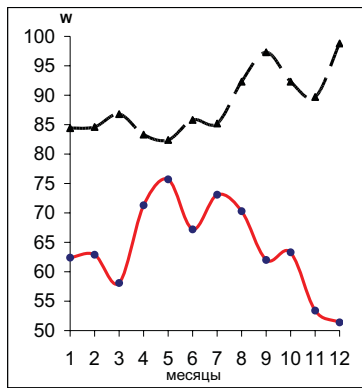


Рис. 2А. Солнечная активность в годы с приростом сосны корейской больше (сплошная линия) и меньше (пунктир) нормы. По оси абсцисс – месяцы, по оси ординат – солнечная активность в числах Вольфа – W

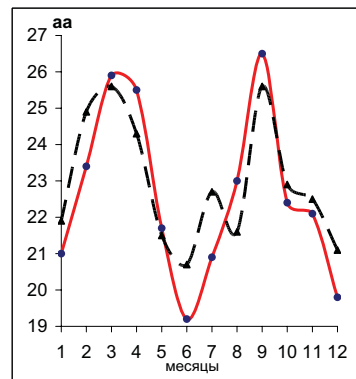


Рис. 2В. Геомагнитная активность в годы с приростом сосны корейской больше (сплошная линия) и меньше (пунктир) нормы. По оси абсцисс – месяцы, по оси ординат – геомагнитная активность – индекс aa

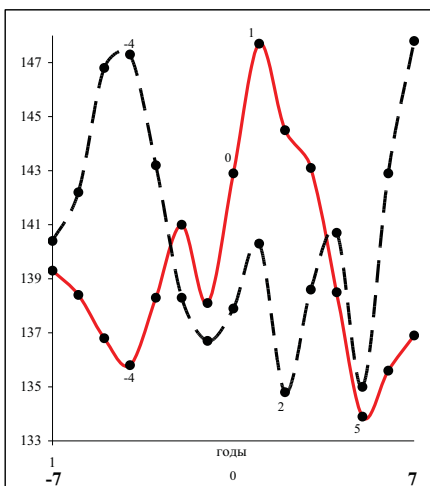


Рис. 3. Прирост сосны корейской в эпохи максимумов (1) и минимумов (2) солнечной активности в 11-летнем цикле. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – прирост сосны корейской в мм

Результаты и их обсуждение

На основе анализа прироста годичных колец сосны корейской были выявлены две группы лет (табл. 1), в которые вошли годы с аномально большим ($K > 100\%$) и малым ($K < 99\%$) годичным приростом сосны корейской от 10-летней календарной нормы.

Таблица 1

Годы с приростом сосны корейской больше и меньше 10-летней календарной нормы

№ п. п.	K > 100 %					№ п. п.	K < 99 %				
	Годы	K, %	№ п. п.	Годы	K, %		Годы	K, %	№ п. п.	Годы	K, %
1	1937	113	13	1962	109	1	1936	95	13	1966	94
2	1938	109	14	1963	104	2	1940	96	14	1967	92
3	1939	119	15	1964	103	3	1941	89	15	1968	99
4	1945	111	16	1970	104	4	1943	96	16	1973	98
5	1946	104	17	1971	108	5	1949	87	17	1976	94
6	1947	110	18	1972	111	6	1955	99	18	1977	93
7	1948	106	19	1974	113	7	1956	99	19	1979	76
8	1950	105	20	1983	109	8	1957	99	20	1980	91
9	1952	108	21	1984	103	9	1958	84	21	1981	95
10	1953	102	22	1986	104	10	1959	97	22	1982	93
11	1954	106	23	1987	105	11	1961	97	23	1985	99
12	1960	110				12	1965	90			
Среднее		107,7					93,6				

Для определения дат с аномальным приростом произведен расчет индексов прироста по методу независимых групп по календарным десятилетиям, когда за норму принимается средний прирост за каждое десятилетие. Такой вариант расчета отклонений от многолетней нормы дает возможность нивелировать особенности так называемой «кривой большого роста», характерной для всех биологических систем. В тех случаях, когда проводятся расчеты отклонений прироста в неполных десятилетиях в начале ряда измерений, то до 10-ти значений заимствуются данные за последующие годы; когда расчеты выполняются для окончания ряда, то до 10-ти значений заимствуются данные предыдущего десятилетия. Аналогичная обработка может быть использована при анализе метеоданных средних месячных температур воздуха за теплую и холодную части года и сумм осадков по метеостанциям. Для определения условий произрастания накануне и в годы с большими и меньшими отклонениями прироста сосны корейской от многолетней нормы была обработана доступная информация о факторах среды (табл. 2).

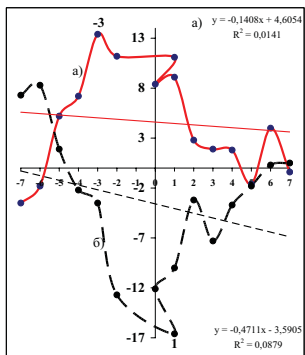


Рис. 4А. Прирост сосны корейской в Верхне-сурскийском стационаре в эпохи максимумов (сплошная линия) и минимумов (пунктир) галактических космических лучей. По оси абсцисс – годы до и после экстремумов, по оси ординат – отклонения прироста сосны корейской от нормы – К, %

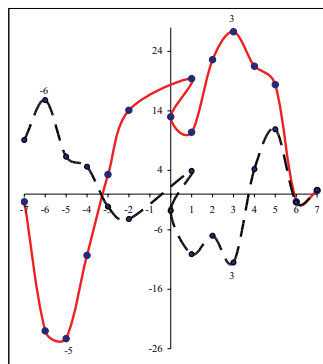


Рис. 4В. Прирост сосны корейской на Корейском полуострове в эпохи максимумов (сплошная линия) и минимумов (пунктир) галактических космических лучей. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – отклонения прироста сосны корейской – К, %.

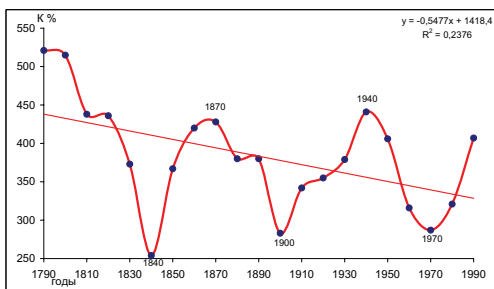


Рис. 5А. Дендрограммы сосны корейской по 4-м районам Корейского полуострова. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – прирост сосны в единицах измерений (мм)

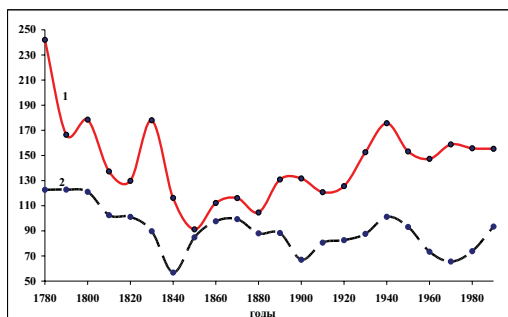


Рис. 5В. Дендрограммы сосны корейской с Южного Сихотэ-Алиня (1) и Корейского полуострова (2). По оси абсцисс – годы, по оси ординат – прирост сосны корейской по 10-летиям в единицах измерений по сумме 10-летий (мм)

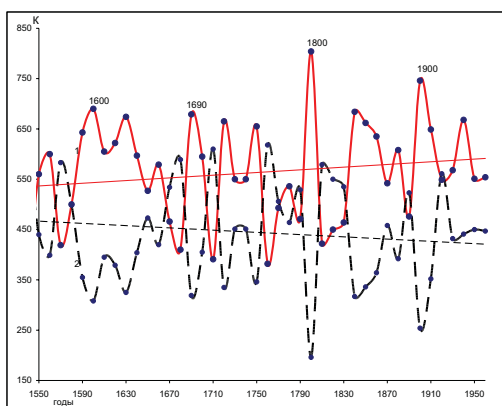


Рис. 6А. Дендрограмма распределения аномальных отклонений прироста сосны корейской в Южном Сихотэ-Алине за 450 лет. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – сумма отклонений прироста по 10 лет – К, %

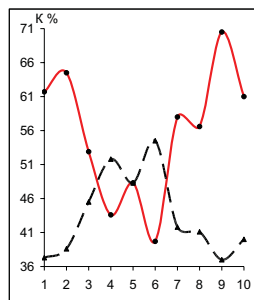


Рис. 6В. Распределение повторяемости отклонений прироста сосны корейской в Южном Сихотэ-Алине за 450 лет по годам декадной матрицы. По оси абсцисс – годы, по оси ординат – прирост сосны корейской в отклонениях от нормы – К, %.

Отношение месячных показателей метеорологических и геофизических факторов накануне и в годы с благоприятными условиями (А) к таким же показателям в неблагоприятные годы (В) позволяет судить о диапазоне их различий в % (К).

Таблица 2

Средние месячные показатели температуры воздуха, атмосферных осадков, солнечной, геомагнитной активности и галактических космических лучей накануне и в годы больше (А) и меньше (В) прироста сосны корейской в Южном Сихотэ-Алине; а также диапазон различий этих показателей (К, %)

В ГОДЫ НАКАНУНЕ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя месячная температура воздуха по метеостанции «Владивосток»													
А	-13,9	-10,4	-3,1	4,6	9,6	13,2	17,2	20	15,9	8,8	-1,2	-10,2	50,5
В	-13,1	-10,6	-2,9	4,2	9,6	13,2	17,5	19,7	15,5	8,5	-1	-9,6	51
К	106	98,1	107	110	100	100	98,3	102	103	104	120	106	99
Средняя месячная температура воздуха по метеостанции «Чугуевка»													
А	-22,1	-17,3	-7,2	4,4	11,5	16,3	20,6	20,4	12,7	4,3	-7,3	-18,8	17,5
В	-19,2	-17,6	-7	4	11,4	16,4	20,5	19,4	12,2	3,7	-7,2	-17,9	18,7
К	115	98,2	103	110	101	99,4	101	105	104	116	101	105	93,6
Сумма месячных осадков по метеостанции «Владивосток»													
А	9,7	12,6	20,2	56,7	62,3	90,5	127	157	135	44,6	28,3	12,9	757
В	15,6	16,3	30,8	43,5	67,5	93,7	114	163	128	69,6	30	15,9	788
К	62,2	77,3	65,6	130	92,3	96,6	111	96,7	105	64,1	94,3	81,1	96
Сумма месячных осадков по метеостанции «Чугуевка»													
А	13	13,9	22,4	41	64,9	82,1	99,3	117	104	50	28,2	20,3	656
В	18	17,9	26,8	37,2	66,3	83,2	96,5	118	90,2	60,6	38,5	24,2	677
К	72,2	77,7	83,6	110	97,4	98,7	103	99,2	116	82,5	73,2	83,9	96,9
Средние месячные значения солнечной активности (W)													
А	70,6	74,4	71	75	76	74,3	75,7	75,1	71	68,3	64,7	63,7	860
В	73,7	76,8	74,8	80,4	84,8	81,2	82	87,7	92,1	88,6	83,5	90,9	997
К	95,8	96,9	94,9	93,3	89,6	91,5	92,3	85,6	77,1	77,1	77,5	70,1	86,3
Средние месячные значения геомагнитной активности (aa)													
А	22,3	25,9	26,2	25,3	21,7	19,9	22,4	21,3	26,6	24,3	21,4	20	277
В	21,1	23	26,1	25,4	21,7	20	20	21,5	24,1	23,9	22,3	20,8	270
К	106	113	100	99,6	100	99,5	112	99,1	110	102	96	96,2	103
Средние месячные значения галактических космических лучей (ГКЛ)													
А	2,32	2,31	2,32	2,33	2,31	2,33	2,33	2,35	2,38	2,41	2,41	2,42	28,2
В	2,71	2,71	2,71	2,68	2,67	2,66	2,67	2,65	2,65	2,65	2,65	2,75	32,2
К	85,6	85,2	85,6	86,9	86,5	87,6	87,3	88,7	89,8	90,9	90,9	88	87,7

В ГОДЫ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя месячная температура воздуха по метеостанции «Владивосток»													
A	-13,7	-10,6	-3	4,4	9,4	12,9	17,4	20,1	15,9	8,5	-1,2	-10,4	49,7
B	-13,1	-10,3	-3,2	4,1	9,3	13,6	17,7	19,9	16	9	-1,1	-9,6	52,3
K	104,6	102,9	93,8	107,3	101	94,9	98,3	101	99,4	94	109	108,3	95
Средняя месячная температура воздуха по метеостанции «Чугуевка»													
A	-21,8	-17,6	-7,3	4,5	11,4	16,2	20,6	20,1	12,5	3,8	-7,4	-19	16
B	-19,4	-17	-7	3,8	11,6	16,6	20,5	19,6	12,5	4,2	-6,9	-17,6	20,9
K	112	103,5	104,3	118	98,3	97,6	100,5	102,6	100	90,5	107,2	108	76,6
Сумма месячных осадков по метеостанции «Владивосток»													
A	10,9	12,7	19,2	52,2	63	117	140,4	159,3	138,9	56,5	29	15,3	814,4
B	16,3	14,4	31,9	49	78,3	89,3	102,3	168,5	111,1	82	32,5	13,7	789,3
K	66,9	88,2	60,2	106,5	80,5	131	137,2	94,5	125	68,9	89	111,7	103,2
Сумма месячных осадков по метеостанции «Чугуевка»													
A	14,3	13,8	28	40	67,8	100	96,8	124	100,2	58,8	32	22	697,7
B	20,1	18,2	26,6	43,3	60,1	68,5	101,7	112,4	92,6	55	29,6	22,7	650,8
K	71	75,8	105	92,4	112,8	146	95,2	110,3	108,2	106,9	108,1	96,9	107,2
Средние месячные значения солнечной активности (W)													
A	62,4	62,9	58,1	71,3	75,7	67,2	73,1	70,3	62	63,3	53,4	51,4	771,1
B	84,4	84,6	86,8	83,3	82,4	85,8	85,2	92,3	97,3	92,3	89,7	98,8	1063
K	73,9	74,3	66,9	85,6	92	78,3	85,8	76,2	63,7	68,6	59,5	52,0	72,5
Средние месячные значения геомагнитной активности (aa)													
A	21	23,4	25,9	25,5	21,7	19,2	20,9	23	26,5	22,4	22,1	19,8	271,4
B	21,9	24,9	25,6	24,3	21,5	20,7	22,7	21,6	25,6	22,9	22,5	21,1	275,3
K	95,9	94	101,2	104,9	100,9	92,8	92,1	106,5	103,5	97,8	98,2	93,8	98,6
Средние месячные значения галактических космических лучей (ГКЛ)													
A	2,8	2,82	2,89	2,83	2,82	2,8	2,82	2,8	2,84	2,87	2,85	2,89	34,03
B	2,89	2,88	2,89	2,86	2,85	2,83	2,81	2,79	2,78	2,78	2,78	2,87	34,01
K	96,9	97,9	100	99	98,9	98,9	100,4	100,4	102,2	103,2	102,5	100,7	100,1

Проведение анализа разных факторов среды накануне и за годы аномального прироста дает возможность проследить насколько велико значение внутригодового и сезонного перераспределения метеорологических и геофизических характеристик для роста деревьев во время их относительного покоя и в период вегетации.

Анализ распределения температуры воздуха (по данным метеостанции «Чугуевка») в годы с большими (сплошная линия) и малыми (пунктир) величинами прироста годовых колец сосны корейской (рис. 1А) показывают, что между ними почти не наблюдается различий. В особенности в годы накануне периодов вегетации (табл. 2), причем накануне и в годы больших приростов температура воздуха ниже, чем в годы с

малыми приростами (в годовом исчислении их отношение 93,6 и 76,6 % соответственно (табл. 2)). В распределении осадков в отдельные месяцы уровень различий в годы больших и малых величин радиального прироста деревьев более значительный (рис. 1В).

В годы с большими и малыми величинами прироста сосны корейской диапазон различий в распределении осадков наиболее широкий в теплую часть года, при этом наблюдаются два максимума осадков – в июне и августе. В годы с аномально малыми радиальными приростами отмечается только один явный максимум – в августе. Недостаток осадков в мае, июне и августе отрицательно отражается на росте сосны корейской.

Анализ многовековых и вековых ритмов радиального прироста сосны корейской показывает, что они находятся под влиянием таких глобальных факторов среды, как солнечная и геомагнитная активность, сохраняя во времени и в пространстве устойчивые тенденции и повторяемость экстремумов. Выявление солнечно-земных связей представляет одну из наиболее сложных теоретических и прикладных проблем современного естествознания. Несмотря на обширные исследования¹¹ до сих пор нет четких представлений о механизмах этих явлений.

Для выявления реакции растений на аномалии активности Солнца в 11-летних циклах применялся метод наложенных эпох относительно дат максимумов и минимумов. За реперные годы были использованы даты максимумов и минимумов 11-летних циклов активности Солнца, приведенные в работе Ю. И. Витинского и др.¹² и Г. К. Леви и др.¹³

Годы минимумов: 1810, 1823, 1833, 1843, 1856, 1867, 1878, 1889, 1913, 1923, 1933, 1944, 1954, 1964, 1976, 1986, 1996.

Годы максимумов: 1805, 1816, 1829, 1837, 1848, 1860, 1870, 1883, 1894, 1907, 1917, 1928, 1937, 1947, 1957, 1968, 1979, 1989.

Для анализа радиального прироста сосны корейской в связи с изменениями галактических космических лучей были использованы данные наблюдений за таковыми на трех российских станциях: в Мурманске (начиная с 1958 г.), Москве (с 1958 г.) и Мирном (с 1963 г.). В качестве реперов служили даты максимумов – 1965, 1977, 1995 гг. и минимумов – 1970, 1981, 1990 гг., которые совпадают на все трех станциях.

В годы с приростом больше нормы распределение характеристик солнечной активности (W) во все месяцы систематически низкие, а самые большие различия в холодную часть года (накануне периода вегетации) наблюдается в марте, а в теплую часть – в августе и сентябре (табл. 2, рис. 2А).

В распределении характеристик геомагнитной активности хорошо выражен сезонный ход с максимумами в марте и сентябре, с минимумом в июне. В годы большим приростом сосны корейской наиболее значительными были характеристики геомагнитной активности в марте-апреле и августе-сентябре и хорошо выраженным минимумом в июне (рис. 2В).

В эпоху максимумов 11-летних циклов активности Солнца радиальные приросты сосны корейской, произрастающей в Южном Сихотэ-Алине, увеличиваются и их максимумы приходятся на второй год после даты максимума, а в эпоху минимума приросты деревьев снижаются (рис. 3). Следовательно, оптимальные условия для радиального прироста сосны корейской формируются при высоких значениях солнечной активности.

В поисках причинной обусловленности вековых колебаний радиального прироста сосны корейской относительно реперов галактических космических лучей был проведен сравнительный анализ серий годичных колец деревьев, произрастающих на территории Верхнеуссурийского стационара и на Корейском полуострове (рис. 4). Результаты этого анализа показали, что максимальный прирост деревьев в Южном Сихотэ-Алине отмечается за три года до максимума галактических космических лучей (рис. 4А, сплошная линия), а минимальный – в эпохи минимума (пунктир) и приходится на 1-й год после прохождения минимума. Аналогичные анализы серий годичных колец сосны корейской, произрастающей в четырех районах Южной Кореи – Hglpkavg, Ospkavg, Schanavg, Srhcavg (рис. 4В), показали, что максимальный рост деревьев здесь отмечается в эпоху максимума на третий год после экстремума и минимальный прирост приходится на третий год после минимума галактических космических лучей. Это указывает на наличие реакции сосны корейской на экстремальные воздействия галактических космических лучей, которая изменяется в зависимости от района произрастания деревьев.

Анализ измерений годичных колец сосны корейской, произрастающей на Корейском полуострове (1660–1980 гг.), позволил определить годы одновременных аномалий в приросте деревьев в четырех районах Южной Кореи (рис. 5А) и сравнить их с деревьями на территории Южного Сихотэ-Алиня (рис. 5В).

Средний прирост годичных колец деревьев за период в 210 лет имел значительные колебания с самым глубоким минимумом на Корейском полуострове в десятилетие 1840-х годов, а в Южном Сихотэ-Алине в 1850-е годы. Выявленные экстремумы, очевидно, можно считать проявлением глобальных изменений природных условий, вызванных самым низким значением солнечной активности за весь период инструментальных наблюдений.

Различия в датировке аномальных изменений радиального прироста сосны корейской в четырех районах Южной Кореи не всегда синхронны (рис. 5А). Наиболее согласованно проявились минимумы в трех десятилетиях – 1840, 1970 и 1900 гг. при средней повторяемости через 75 лет, а даты максимумов в четырех десятилетиях – 1790, 1870, 1940 и 1990 гг. при средней повторяемости через 65 лет. Выявленные ритмы повторения аномальных лет могут служить основой для прогнозирования последующих дат экстремальных значений в изменении прироста сосны корейской, которые приблизительно соответствуют 2015 и 2035 гг.

Для выявления вековых колебаний за более длительный период – с 1525 по 1976 гг. была использована серия годичных колец деревьев с Южного Сихотэ-Алиня, по которой были рассчитаны отклонения от средней нормы в каждом десятилетии, а затем все величины больше и меньше нормы суммировались и по ним строился график (рис. 6А). Как следует из данного рисунка, наибольшие амплитуды колебаний радиального прироста деревьев со средней повторяемостью 90–110 лет приходятся на четыре десятилетия – 1600, 1690, 1800, 1900 гг. При этом наиболее значительной амплитудой выделяется экстремум 1800-х годов. Следует отметить, что экстремумы 1800-х и 1900-х годов в изменении прироста сосны корейской точно совпадают с минимальными значениями

ми солнечной активности за 250 лет. Это позволяет предположить, что и экстремумы 1600-х и 1690-х годов обусловлены минимальной солнечной активностью. Высказанное предположение сложно проверить, так как инструментальные наблюдения в этот период отсутствовали.

Анализ повторяемости лет с различной амплитудой отклонений радиального прироста сосны корейской в 450-летней серии от 10-летней нормы, выполненный в декадной матрице (рис. 6В), позволил отнести первый и девятый годы в десятилетиях к годам с наибольшими отклонениями. Этот показатель может быть использован для прогностических целей направленных колебаний роста деревьев внутри десятилетий.

Заключение

Проведенные исследования серий годовичных колец с Южного Сихотэ-Алиня и Корейского полуострова указывают на высокую чувствительность сосны корейской к изменениям локальных и региональных (метеорологических), а также глобальных (космических) факторов среды. Внутригодовое перераспределение осадков имеет более существенное значение для роста деревьев этого вида, чем температура воздуха.

Экстремумы наибольших амплитуд в изменении прироста кедра (90–110 лет) вызваны вековыми изменениями солнечной активности.

Построение обобщенной серии годовичных колец по материалам из четырех районов Корейского полуострова позволило подтвердить период наиболее неблагоприятных условий для роста сосны корейской, соответствующий десятилетию 1840-х годов. Кроме того, были установлены минимумы десятилетий 1900 и 1970 годов, обусловленные глобальными изменениями солнечной активности. Расчеты сумм отклонений от 10-летней нормы позволили определить периоды наибольших амплитуд в изменении прироста деревьев.

¹ Манько Ю. И., Журавков А. Ф. Материалы к истории лесного хозяйства на Дальнем Востоке // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток, 1965. – № 1. – С. 245–270.

² Таранков, В. И. Введение в дендроклиматологию Дальнего Востока // Гидроклиматические исследования в лесах Советского Дальнего Востока. – Владивосток, 1973. – С. 7–23. Комарова, Т. А. Материалы к характеристике послепожарного лесовосстановительного ряда лещинного кедровника с темнохвойными / Т. А. Комарова, Н. В. Ловелиус, С. А. Ахмедьянов, С. Г. Глушко, А. П. Сапожников, А. Г. Шакирзянова. – Владивосток, 1990.

³ Ваганов, Е. А., Терсков, И. А. Анализ роста дерева по структуре годовичных колец. – Новосибирск, 1977. Битвтинкас, Т. Т. Дендроклиматические исследования. – Л., 1974. Стравинскене, В. П. Дендрохронологический банк Советского Союза. – Каунас, 1989.

⁴ Комарова, Т. А. Материалы к характеристике послепожарного лесовосстановительного ряда лещинного кедровника с темнохвойными / Т. А. Комарова, Н. В. Ловелиус, С. А. Ахмедьянов, С. Г. Глушко, А. П. Сапожников, А. Г. Шакирзянова. – Владивосток, 1990.

⁵ Комарова, Т. А. Материалы к характеристике послепожарного лесовосстановительного ряда лещинного кедровника с темнохвойными / Т. А. Комарова, Н. В. Ловелиус, С. А. Ахмедьянов, С. Г. Глушко, А. П. Сапожников, А. Г. Шакирзянова. – Владивосток, 1990.

⁶ Витинский, Ю. И., Копецкий М., Ку克林 Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М., 1986.

⁷ Леви, Г. К. 500-летняя хронология аномальных явлений в Сибири и Монголии / Г. К. Леви и др. – Иркутск, 2003.

⁸ Дергачев, В. А., Чистяков, В. Ф. 210- и 2400-летние солнечные циклы и колебания климата // Солнечный цикл. – СПб., 1993. – С. 112–130.

⁹ Ермаков, В. И., Стожков, Ю. И. Космические лучи и потепление климата Земли // Известия РАН. – Сер. геофизическая. Т. 69. – 2005. – № 6. – С. 904–907.

¹⁰ Веретененко, С. В., Дергачев, В. А., Дмитриев, П. Б. Долгопериодные изменения приземного давления в Северной Атлантике и их связь с вариациями галактических космических лучей // Известия РАН. – Сер. геофизическая. Т. 69. – 2005. – № 6. – С. 900–903.

¹¹ Чижевский, А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М., 1976. Чижевский, А. Л. Космический пульс жизни. Земля в объятиях Солнца. – М., 1995. Витинский, Ю. И., Копецкий М., Куклин Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М., 1986. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск, 1992. Чистяков, В. Ф. Солнечные циклы и их роль в истории Земли : дис. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук. – Владивосток, 1993. Чистяков, В. Ф. Солнечные циклы и колебания климата. – Владивосток, 1997. Чистяков, В. Ф. К вопросу о солнечной природе Брикнерова цикла // Солнечная активность и ее влияние на Землю : Труды Уссурийской астрофизической обсерватории. – 1997. – Вып. 2. – С. 118–134.

¹² Витинский, Ю. И., Копецкий М., Куклин Г. В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М., 1986.

¹³ Леви, Г. К. 500-летняя хронология аномальных явлений в Сибири и Монголии / Г. К. Леви и др. – Иркутск, 2003.