

## **БИОПОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОПОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

Станислав Павлович АРЕФЬЕВ<sup>1</sup>  
Владимир Романович ЦИБУЛЬСКИЙ<sup>2</sup>

УДК 574.42:51-76

### **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ УНИКАЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

<sup>1</sup> доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники,  
биотехнологии и ландшафтной архитектуры  
Тюменского государственного университета,  
заведующий Лабораторией биоразнообразия  
и динамики природных комплексов  
Института проблем освоения Севера СО РАН  
sp\_arefyev@mail.ru

<sup>2</sup> профессор, главный научный сотрудник лаборатории  
биоразнообразия и динамики природных комплексов  
Института проблем освоения Севера СО РАН  
tsibulsky@ipdn.ru

#### **Аннотация**

Проанализированы древесно-кольцевые хронологии наиболее старых деревьев (450-500 лет) лиственницы сибирской и сосны сибирской, произрастающих на северном пределе распространения этих видов в Западной Сибири (Ямало-Ненецкий автономный округ). Использован метод спектрального оценивания MUSIC (Multiple Signal

---

**Цитирование:** Арефьев С. П. Спектральный анализ древесно-кольцевых хронологий уникальных деревьев на севере Западной Сибири / С. П. Арефьев, В. Р. Цибульский // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Том 2. № 2. С. 33-44.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-33-44

---

Classification) с учетом возрастной составляющей исходных хронологий. Выявлено наличие цикличности 80-100 лет, 18-22 года, 8-12 лет, а также цикл 4,5-5,5 лет, очевидно, связанный с семенной продуктивностью деревьев.

Последний 50-100-летний период характеризуется увеличением радиального прироста деревьев, что связывается с проявлениями глобального потепления в регионе. Для определения устойчивости роста деревьев проведена оценка стационарности хронологий по критерию серий с числом блоков 20 (примерно по 20 лет), до и после вычитания возрастного тренда. При стационарности прироста отдельных деревьев в том и другом случае судили об устойчивости локальных популяций древесных видов в первом приближении.

Определены стационарность хронологий из ненарушенных местообитаний и нестационарность хронологий из окрестностей населенных пунктов (г. Надым, пос. Самбург), очевидно, связанные с антропогенной трансформацией сообществ и формированием локального климата.

#### Ключевые слова

Древесно-кольцевые хронологии, спектральный анализ, устойчивость природных систем, Западная Сибирь.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-33-44

#### Введение

Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) и сосна сибирская — «кедр» (*Pinus sibirica*) являются основными эдификаторами гипоарктических лесов Западной Сибири и в значительной степени определяют их биоразнообразие [7]. В связи с этим решение задачи сохранения биоразнообразия региона во многом определяется как сохранение устойчивости популяций деревьев-эдификаторов. В свою очередь, полноценная диагностика устойчивости популяций и составляющих их ценопопуляций возможна только на временном фоне и зависит от длительности временного ряда параметров, характеризующих их состояние. Годичные кольца деревьев являются естественными регистрирующими структурами, содержащими разнообразную информацию о состоянии древесного организма в контексте состояния окружающей биотической и абиотической среды (продуктивность, архитектура сообщества, патологии и аномалии, гидротермические условия и др.). При этом интегральным параметром состояния является ширина годичного кольца (радиальный прирост). Во временных рядах радиального прироста — древесно-кольцевых хронологиях (ДКХ) — информационная насыщенность этого параметра возрастает по мере увеличения продолжительности ряда [12].

Таким образом, изучение ДКХ деревьев максимального возраста дает принципиально важные аргументы для оценки биотической устойчивости не только на индивидуальном, но (в определенном приближении) на ценотическом и популяционном уровне. Очевидно, что диагностика устойчивости может даваться как из общих математических представлений о временных рядах [5], так и иметь

конкретное физиолого-экологическое наполнение, исходящее из детерминации ДКХ гормональными, ценотическими, климатическими и другими факторами [12, 13]. На северном пределе лесной зоны, в экотоне леса и тундры, анализ ДКХ особенно показателен, поскольку деревья здесь достигают наибольшего возраста [1, 2] и обладают свойством достаточной наблюдаемости пространственного движения под воздействием изменений климата [8], при том, что структура их сообществ и популяций хотя и мозаична, но сравнительно проста [7]. Цель настоящего исследования — рассмотреть возможность использования спектрального анализа ДКХ наиболее старых деревьев для интегральной оценки устойчивости древесных видов на севере Западной Сибири.

### Материалы и методы

Нами накоплен достаточно большой архив ДКХ хвойных пород, произрастающих на территории Ямало-Ненецкого автономного округа [9, 10]. Самые продолжительные индивидуальные ряды охватывают период с 1500-1550 гг. по настоящее время. Отобрано 4 таких ряда: два по лиственнице сибирской (с территории заказника «Полуйский» в Приуральском районе и в импактной зоне пос. Самбург Пуровского района) и два по сосне сибирской (из окрестности пос. Красноселькуп и в импактной зоне г. Надым) (табл. 1). Большинство взятых ДКХ приурочено к долинам рек (Полуй, Надым, Пур), одна — к крупнобугристому торфянику на краевом водоразделе р. Таз.

Ширина колец измерена под микроскопом с помощью окуляр-микрометра на кернах, взятых при бурении растущих деревьев. Проведена перекрестная датировка индивидуальных ДКХ с использованием данных Е. А. Ваганова с соавт. [2] по ближайшим пунктам. В отличие от предыдущих публикаций [9, 10],

Таблица 1

#### Характеристика пунктов отбора древесно-кольцевых хронологий

ДКХ	Местонахождение	Биогеоценоз	Бонитет	Дата отбора
Лиственница, Самбург (LSb)	Долина р. Пур, 67°00'18" с.ш., 78°13'17" в.д.	Лиственничник мшисто-травяный	V	2014 г., август
Лиственница, Полуй (LPI)	Долина р. Полуй, 66°20'69" с.ш. 67°32'12" в.д.	Лиственничник мшисто-брусничный	V	2013 г., август
Сосна сибирская, Надым (KNd)	Надпойменная терраса р. Надым, 65°32'00" 72°31'00"	Кедровник мшисто-багульниковый	Va	1990 г., август
Сосна сибирская, Красноселькуп (KKs)	Коренной берег р. Таз, 65°42'20" 82°27'36"	Кедровое редколесье сфагново-багульниковое	Va	1994 г., август

временные ряды взяты без усреднения по одному радиусу, но с максимальным средним и отклонениями (самая чувствительная сторона дерева).

Для анализа выбросов и спектра из исходных ДКХ вычтена составляющая, обусловленная онтогенетическими фазами роста деревьев (возрастной тренд) [Methods..., 1990]. Ее оптимальная полиномиальная аппроксимация (полином 4-й степени) была определена нами ранее [9, 10]. Для определения устойчивости роста проведена оценка стационарности временных рядов (до и после вычитания возрастного тренда) методом спектрального оценивания MUSIC (Multiple Signal Classification) и его модификацией EV [3, 6] по критерию серий с числом блоков 20, что соответствует 20-летнему интервалу, принятому в дендрохронологии [11]. Этот метод позволяет отделить спектр преобладающих гармоник от спектра шума. Модификация EV позволяет получить собственные значения векторов на основе автокорреляционной матрицы сигнала.

### Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлена исходная хронология абсолютного прироста лиственницы из низовьев р. Пур (LSb), наиболее продолжительная из известных (1502-2014 гг.). Она может быть использована как для верификации полученных выводов, так и для дальнейших обобщений по дендрохронологии региона.

На рисунке 1 приведены все рассматриваемые хронологии абсолютного прироста наиболее старых деревьев севера Западной Сибири с их нелинейными трендами, а в таблице 3 — параметры полиномиальной аппроксимации.

На исходных ДКХ и их трендах отчетливо видны два подъема. Первый приходится на 50-100-летний начальный период роста деревьев и ассоциируется с вегетативной фазой молодого дерева, определяемой его гормональным статусом (кривая «большого роста»). При нормальном росте наклон кривых, отражаемый параметрами аппроксимации, характеризует качество лесорастительных условий, но очень сильный наклон может свидетельствовать об их ухудшении по мере роста дерева (например, при заболачивании). Второй подъем прослеживается по всем долинным биотопам, особенно на лиственнице, и приходится на последние 50-100 лет; он связывается с проявлениями глобального потепления в регионе [14], в т. ч., возможно, с растеплением вечномерзлых грунтов.

На остаточных хронологиях, полученных после вычета возрастного тренда (рис. 2), видны цикличности, связанные с влиянием солнечной активности и других планетарных колебаний. На рисунке 3 в скобках указаны периоды преобладающих гармоник, а также приведены EV-спектры исследуемых рядов, подтверждающие наличие цикличностей с периодом 80-100, 18-22, 8-12, 4,5-5,5 лет. Последняя, вероятно, связана с репродуктивными процессами и периодичностью урожая семян [4]. Кроме того, на остаточных рядах стали более заметны 30- и 150-летние всплески усиления роста, особенно при централизации рядов.

Таблица 2

Абсолютная индивидуальная ДКХ лиственницы, LSb (мм)

Год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1500	-	1,50	1,79	0,93	2,17	2,07	0,89	0,37	0,69	1510	1,26	1,29	1,46	1,50	0,74	0,89	1,01	1,17	0,79	0,96	1,23
1520	0,61	0,89	0,73	0,67	0,71	0,97	1,21	1,07	0,46	1530	0,53	0,97	0,80	1,21	0,93	1,79	0,93	0,79	0,96	1,23	1,23
1540	1,09	0,81	0,77	0,81	0,56	0,81	0,41	0,57	0,63	1550	0,36	1,21	0,49	0,86	0,80	0,59	0,71	0,70	0,97	0,37	0,37
1560	0,40	0,31	0,47	0,74	0,70	0,46	0,36	0,46	0,17	1570	0,60	0,43	0,31	0,31	0,29	0,16	0,64	0,36	0,31	0,41	0,41
1580	0,24	0,44	0,57	0,71	0,74	0,70	1,01	0,36	0,33	1590	0,31	0,51	0,49	0,41	0,60	0,40	0,59	0,51	0,86	0,73	0,73
1600	0,39	0,41	0,39	0,36	0,31	0,37	0,46	0,30	0,44	1610	0,53	0,57	0,64	0,39	0,40	0,47	0,21	0,39	0,26	0,69	0,69
1620	0,53	0,23	0,46	0,39	0,27	0,29	0,36	0,29	0,27	1630	0,26	0,47	0,54	0,30	0,51	0,79	0,77	0,69	0,64	0,61	0,61
1640	0,67	0,27	0,36	0,36	0,57	0,44	0,47	0,74	0,44	1650	0,31	0,54	0,53	0,53	0,39	0,81	0,43	0,66	1,00	0,61	0,61
1660	0,61	0,66	0,70	0,67	0,37	0,50	0,60	0,43	0,61	1670	0,33	0,53	0,36	0,37	0,31	0,16	0,14	0,31	0,33	0,39	0,39
1680	0,31	0,30	0,29	0,44	0,46	0,43	0,57	0,36	0,37	1690	0,40	0,23	0,49	0,23	0,59	0,46	0,41	0,36	0,21	0,36	0,36
1700	0,37	0,31	0,31	0,23	0,33	0,40	0,60	0,36	0,49	1710	0,43	0,43	0,34	0,23	0,36	0,34	0,29	0,23	0,27	0,29	0,29
1720	0,37	0,41	0,31	0,27	0,14	0,31	0,24	0,27	0,26	1730	0,36	0,27	0,29	0,21	0,20	0,11	0,17	0,13	0,16	0,33	0,33
1740	0,19	0,14	0,37	0,34	0,24	0,27	0,43	0,40	0,24	1750	0,26	0,16	0,17	0,29	0,26	0,14	0,30	0,19	0,17	0,16	0,16
1760	0,53	0,41	0,36	0,34	0,27	0,33	0,37	0,27	0,29	1770	0,29	0,16	0,36	0,30	0,46	0,23	0,46	0,41	0,30	0,27	0,27
1780	0,29	0,29	0,13	0,39	0,36	0,30	0,27	0,20	0,16	1790	0,36	0,27	0,37	0,33	0,41	0,27	0,10	0,31	0,33	0,23	0,23
1800	0,29	0,19	0,24	0,19	0,33	0,24	0,33	0,24	0,24	1810	0,16	0,20	0,24	0,29	0,21	0,19	0,30	0,20	0,17	0,17	0,17
1820	0,26	0,40	0,60	0,29	0,24	0,24	0,19	0,04	0,44	1830	0,30	0,23	0,04	0,21	0,24	0,21	0,20	0,21	0,30	0,37	0,37
1840	0,24	0,36	0,21	0,41	0,47	0,51	0,37	0,39	0,33	1850	0,36	0,20	0,36	0,30	0,33	0,40	0,30	0,36	0,44	0,43	0,43
1860	0,59	0,36	0,56	0,20	0,21	0,30	0,06	0,21	0,14	1870	0,43	0,41	0,31	0,33	0,27	0,30	0,49	0,46	0,53	0,33	0,33
1880	0,23	0,10	0,20	0,14	0,20	0,39	0,41	0,40	0,26	1890	0,20	0,41	0,37	0,51	0,44	0,39	0,43	0,57	0,24	0,39	0,39
1900	0,31	0,36	0,21	0,29	0,20	0,21	0,24	0,17	0,24	1910	0,39	0,24	0,21	0,17	0,34	0,17	0,36	0,40	0,27	0,31	0,31
1920	0,43	0,19	0,34	0,29	0,37	0,44	0,24	0,30	0,36	1930	0,19	0,13	0,27	0,13	0,16	0,14	0,11	0,21	0,21	0,20	0,20
1940	0,19	0,37	0,44	0,27	0,34	0,29	0,24	0,33	0,16	1950	0,23	0,30	0,34	0,30	0,33	0,30	0,37	0,37	0,24	0,04	0,04
1960	0,14	0,17	0,17	0,14	0,19	0,13	0,19	0,16	0,23	1970	0,13	0,13	0,10	0,21	0,16	0,14	0,21	0,29	0,26	0,14	0,14
1980	0,19	0,13	0,23	0,24	0,21	0,27	0,46	0,51	0,43	1990	0,49	0,49	0,51	0,43	0,24	0,51	0,07	0,60	0,24	0,33	0,33
2000	0,40	0,33	0,49	1,36	1,71	0,64	0,99	0,77	0,76	2010	0,63	0,43	0,39	0,46	-	-	-	-	-	-	-

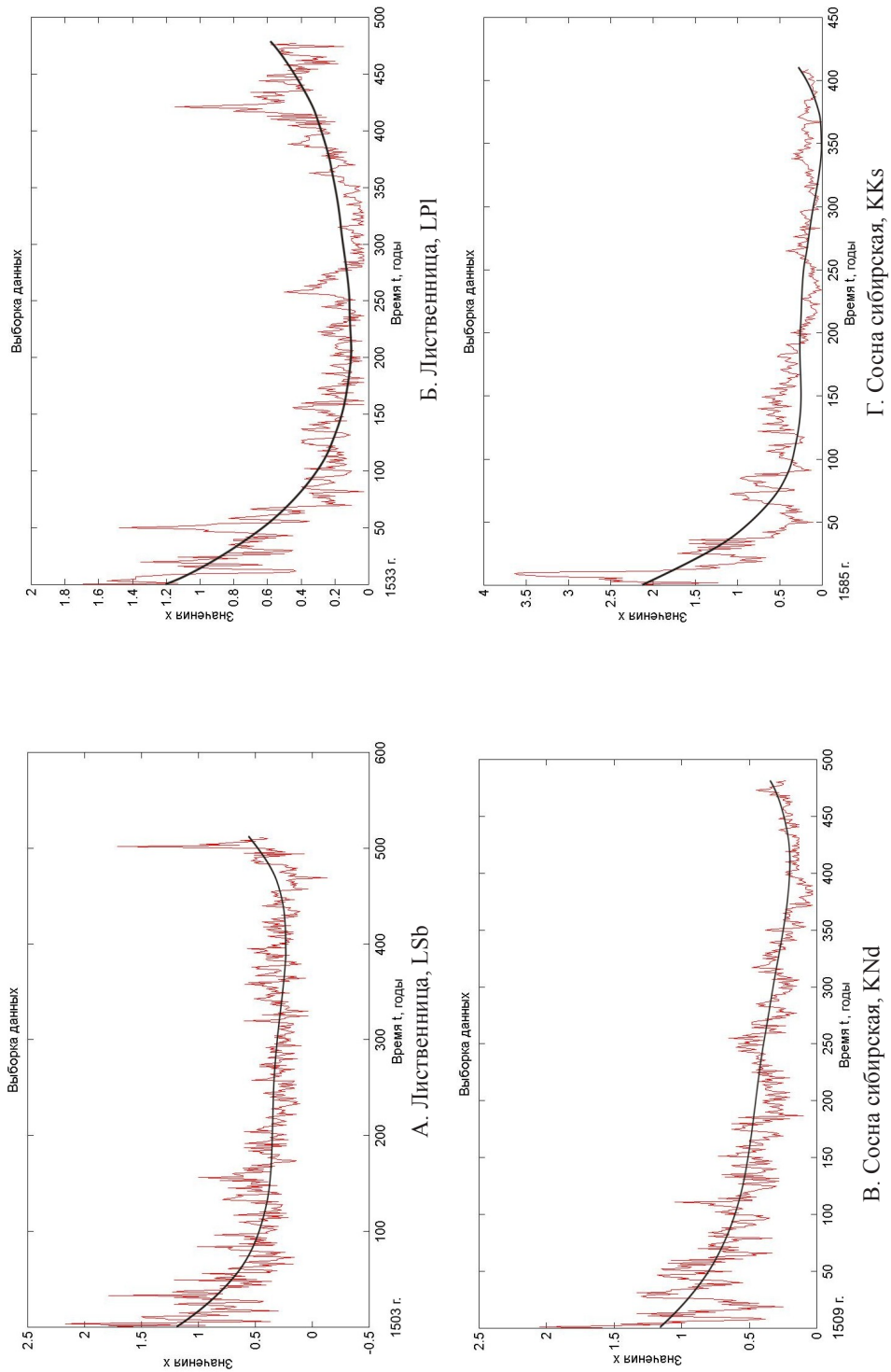


Рис. 1. Абсолютные ДКХ (мм) с полиномиальными трендами

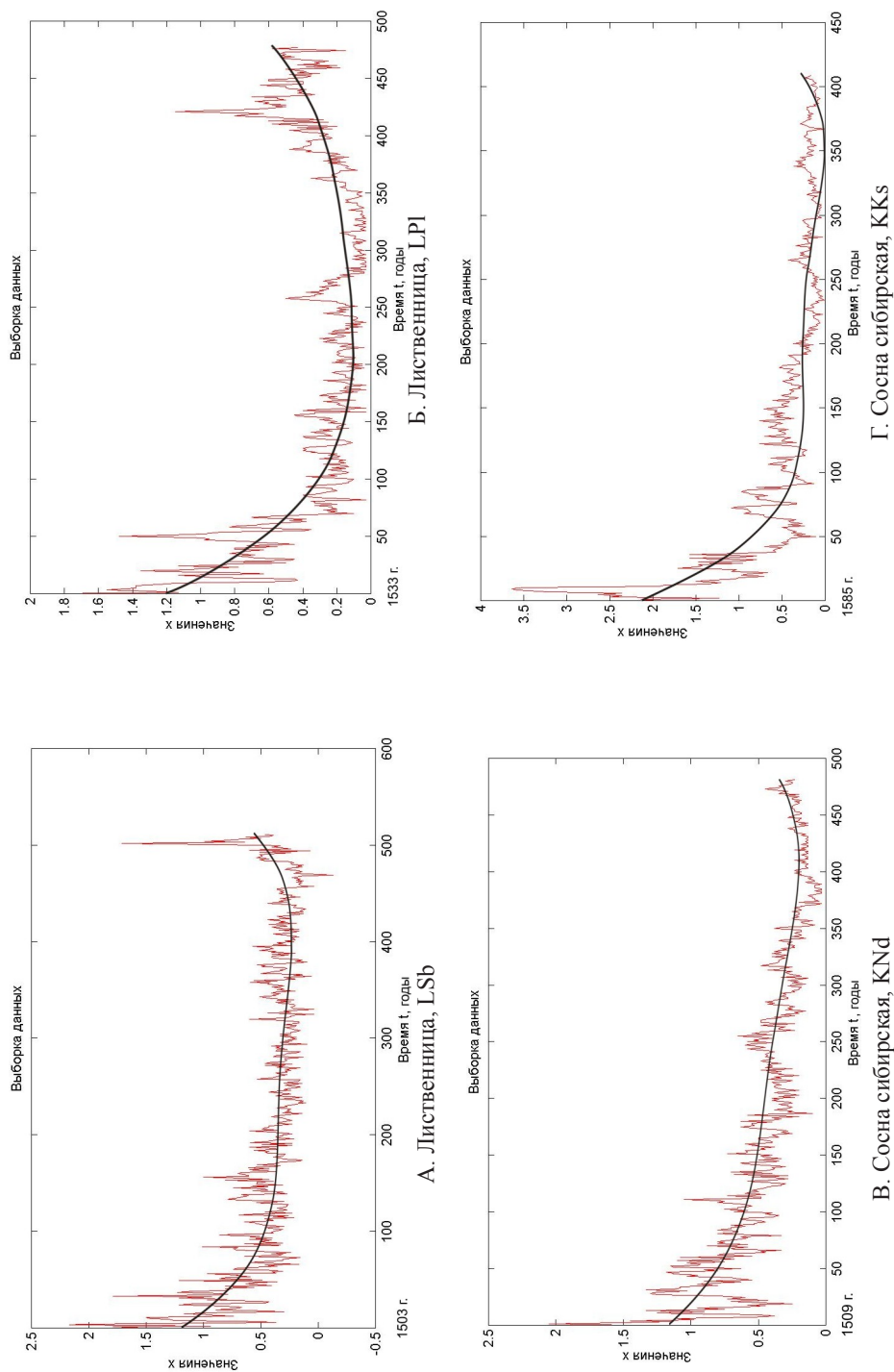


Рис. 2. Остаточные ряды (мм)

Таблица 3

## Параметры полиномиальных трендов ДКХ (кривая роста)

ДКХ	Параметры тренда
Лиственница, LSb	$1,204t^4 - 0,014t^3 + 8,062e^{-0,05t^2} - 2,09e^{-0,07t} + 1,92e^{-0,1}$
Лиственница, LPI	$1,102t^4 - 0,015t^3 + 7,42e^{-0,015t^2} - 1,65e^{-0,03t} - 1,92e^{-0,3}$
Сосна сибирская, KNd	$1,137t^4 - 0,01t^3 + 5,71t^2 - 1,58e^{-0,07t} + 1,56e^{-0,13}$
Сосна сибирская, KKs	$2,095t^4 - 0,03t^3 + 0,00026t^2 - 7,87e^{-0,07t} + 8,42e^{-0,08}$

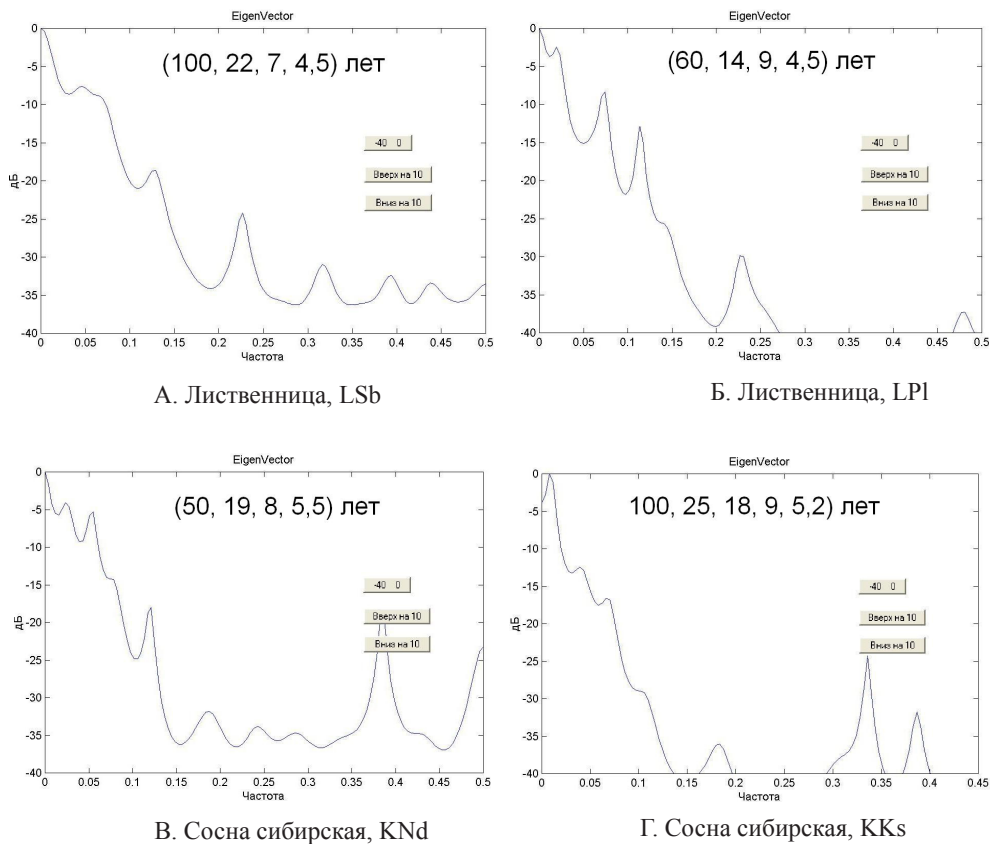


Рис. 3. Спектры MUZIC (EV) остаточных рядов



Результаты оценки устойчивости роста деревьев тестом на стационарность временных рядов до и после вычитания тренда приведены в таблице 4. В двух случаях ряды стационарны, поэтому в первом приближении эти локальные популяции устойчивы. В двух других случаях это, вероятнее всего, не так. Стационарными оказались ДКХ как лиственницы, так и сосны сибирской, полученные из биотопов, не испытывавших существенного антропогенного влияния (территория заказника, крупнобугристый торфяник). Нестационарны ДКХ из импактных зон населенных пунктов (г. Надым, пос. Самбург), что может быть связано как с прямым антропогенным воздействием на сообщества, так и с формированием очагов локального климата.

Таблица 4

Результаты теста ДКХ на стационарность

ДКХ	С трендом	Без тренда
Лиственница, LSb	–	–
Лиственница, LP1	+	+
Сосна сибирская, KNd	–	–
Сосна сибирская, Kks	+	+

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С. П. О максимальном возрасте деревьев на территории Тюменской области / С. П. Арефьев // *Aus Sibirien-2009: научно-информационный сборник*. Тюмень: ИПЦ «Экспресс», 2009. С. 9-10.
2. Ваганов Е. А. Дендрохронологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
3. Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 2001i и Mathcad 11 / В. П. Дьяконов. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 832 с.
4. Каппер О. Г. Хвойные породы / О. Г. Каппер. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. 304 с.
5. Кухаренко Б. Г. Исследования по методу Прони динамических систем на основе временных рядов / Б. Г. Кухаренко. М.: Труды МФТИ, 2009. Т. 1. № 2. С. 176-192.
6. Марпл С. В. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. В. Марпл. М.: Мир, 1990. 584 с.
7. Носова Л. М. Воздействие деревьев-эдификаторов на биологическое разнообразие лесных экосистем / Л. М. Носова, Е. В. Тихонова, Н. Б. Ледкова // *Лесоведение*. 2005. № 4. С. 40-48.
8. Харук В. И. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры / В. И. Харук, С. Т. Им, К. Дж. Рэнсон, М. Н. Наурзбаев // *Доклады Академии наук*. 2004. Т. 398. № 3. С. 1-5.

9. Цибульский В. Р. Сравнительный анализ динамики древесно-кольцевых хронологий из разных пунктов на севере Западной Сибири / В. Р. Цибульский, С. П. Арефьев // Вестник кибернетики. 2015. № 1(17). С. 30-37.
10. Цибульский В. Р. Математическая модель динамики древесно-кольцевых хронологий природных зон севера Западной Сибири / В. Р. Цибульский, С. П. Арефьев // Вестник кибернетики. 2015. № 2(18). С. 65-71.
11. Briffa K. R. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long time scales / K. R. Briffa, P. D. Jones, T. S. Bartholin, D. Eckstein, F. H. Schweingruber, W. Karlen, P. Zetterberg, M. Eronen // *Clim. Dynam.* 1992. Vol. 7. Pp. 111-119.
12. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences* / E. R. Cook, L. A. Kairiukstis (Eds.). Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 364 p.
13. Schweingruber F. H. *Tree rings and environment. Dendroecology* / F. H. Schweingruber. Bern, Stuttgart; Vienna: Paul Haupt Publishers, 1996. 609 p.
14. Shishov V. V. Dendroclimatological evidence of climate changes across Siberia / V. V. Shishov, E. A. Vaganov; Heiko Balzter (Ed.) // *Environmental Change in Siberia. Advances in Global Change Research*. Springer. 2010. Vol. 40. Pp. 101-114.

**Stanislav P. AREFYEV<sup>1</sup>**  
**Vladimir R. TSYBULSKY<sup>2</sup>**

## **SPECTRAL ANALYSIS OF TREE-RING CHRONOLOGIES OF UNIQUE TREES IN THE NORTH OF WEST SIBERIA**

<sup>1</sup> Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Botany,  
Biotechnology and Landscape Architecture,  
Tyumen State University,  
Head of Laboratory of Biodiversity and Dynamics of Ecosystems,  
Institute of the Problems of Northern Development,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
sp\_arefyev@mail.ru

<sup>2</sup> Dr. Sci. (Engin.), Professor, Chief Researcher,  
Laboratory of Biodiversity and Dynamics of Ecosystems,  
Institute of the Problems of Northern Development,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
tsibulsky@ipdn.ru

### **Abstract**

The study analyzes tree-ring chronologies of the oldest trees (450-500 years) of *Larix sibirica* and *Pinus sibirica* from the northern distribution limit of West Siberia (Yamal-Nenets Autonomous Area). The authors use the method of spectral estimation (Multiple Signal Classification) with assessment of age component from initial chronologies. Cycles of 80-100, 18-22, and 8-12 years are revealed. The cycle of 4.5-5.5 years, obviously, is connected with seed efficiency of trees. The last 20-30 year period is characterized by increase in radial tree increment that is linked with global warming in the region. To determine the stability of tree growth, chronologies' stationarity is assessed by the criterion of series with 20 blocks (approximately 20 years) before and after age trend calculation. When increment stationarity of separate trees, the authors assess the stability of local wood types at a first approximation. The chronologies' stationarity from undisturbed habitats and chronologies' non-stationarity from neighboring settlements (Nadym, Samburg) are determined. Obviously, they are linked with anthropogenous transformation of cenosis and formation of local climate.

---

**Citation:** Arefyev S. P., Tsybulsky V. R. 2016. "Spectral analysis of tree-ring chronologies of unique trees in the north of West Siberia". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 2, no. 2, pp. 33-44.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-33-44

---

**Keywords**

Tree-ring chronology, spectral analysis, stability of ecosystems, Western Siberia.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-33-44**

**REFERENCES**

1. Arefyev S. P. 2009. O maksimalnom vozraste derevev na territorii Tyumenskoj oblasti [About Maximal Age of Trees from Tyumen Region]. Aus-Sibirien-2009 nauchno informacionnyj sbornik [Aus Sibirien-2009: Scientific Information Manual], pp. 9-10. Tyumen: Express.
2. Briffa K. R., Jones P. D., Bartholin T. S., Eckstein D., Schweingruber F. H., Karlen W., Zetterberg P., Eronen M. 1992. Fennoscandian Summers from AD 500: Temperature Changes on Short and Long Time Scales. *Clim. Dynam.*, vol. 7, pp. 111-119.
3. Cook E. R., Kairiukstis L. A., eds. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*, 364 p. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ.
4. Dyakonov V. P. 2004. Enciklopediya Mathcad 2001i i Mathcad 11 [Encyclopedia of Mathcad 2001 and Mathcad 11], 832 p. Moscow: SOLON-Press.
5. Kapper O. G. 1954. *Hvojnye porody [Coniferous Species]*, 304 p. Moscow — Leningrad: Goslesbumizdat.
6. Kharuk V. I., Im S. T., Renson K. J., Naurzbaev M. N. 2004. Vremennaya dinamika listvenicy v ehkotine lesotundry [Chronological Dynamics of Larch in Forest tundra Ecoton]. *Doklady Akademii nauk [Reports of RAS]*, vol. 398, no. 3, pp. 1-5.
7. Kukharenko B. G. 2009. Issledovaniya po metodu Proni dinamicheskikh sistem na osnove vremennyh ryadov [The Dynamic Systems Researches on a Base of Chronological Ranges by the Prony Method], vol. 1, no. 2, pp. 176-192. Moscow: Trudy-MFTI.
8. Marple S. V. 1990. *Cifrovoj spektralnyj analiz i ego prilozheniya [Digital Spectral Analysis and its Applications]*, 584 p. Moscow: Mir.
9. Nosova L. M., Tikhonova E. V., Ledkova N. B. 2005. Vozdejstvie derevev ehdfikatorov na biologicheskoe raznoobrazie lesnyh ehkosistem [The Influence of Edificatory Species of Trees on Biodiversity of Forest Ecosystems]. *Lesovedenie [Forest Science]*, no. 4, pp. 40-48.
10. Schweingruber F. H. 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. 609 p. Bern, Stuttgart; Vienna: Paul Haupt Publishers.
11. Shishov V. V., Vaganov E. A. 2010. Dendroclimatological Evidence of Climate Changes Across Siberia. *Environmental Change in Siberia. Advances in Global Change Research*, vol. 40, Springer, pp. 101-114.
12. Tsybulsky V. R., Arefyev S. P. 2015. Sravnitelnyj analiz dinamiki drevesno kolcevyyh hronologij iz raznyh punktov na severe Zapadnoj Sibiri [Comparative Analysis of Tree-ring Chronologies Dynamics from Different Points in the North of West Siberia]. *Vestnik kibernetiki [Messenger of Cybernetics]*, no. 1(17), pp. 30-37.
13. Tsybulsky V. R., Arefyev S. P. 2015. Matematicheskaya model dinamiki drevesno kolcevyyh hronologij prirodnyh zon severa Zapadnoj Sibiri [Mathematical Model of Tree-ring Chronologies Dynamics in Natural Zones of the North of West Siberia]. *Vestnik kibernetiki [Messenger of Cybernetics]*, no. 2(18), pp. 65-71.
14. Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Mazepa V. S. 1996. *Dendrochronologicheskie issledovaniya v Uralo Sibirskoj Subarktike [Dendroclimatological Study of Subarctic Regions of Ural and Siberia]*, 246 p. Novosibirsk: Nauka.