

В.Р. Цибульский, С.П. Арефьев

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ДИНАМИКИ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ
ИЗ РАЗНЫХ ПУНКТОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

В статье приведены древесно-кольцевые хронологии лиственницы, произрастающей на севере Западной Сибири. Керн взят в п. Лабытнанги, вблизи г. Надым и кордона Моим. Проведен статистический анализ и получены аппроксимации тренда полиномом пятой степени.

Древесно-кольцевые хронологии, лиственница, север Западной Сибири, статистический анализ.

Анализ древесно-кольцевых хронологий на основе отбора керна сосен в районе оз. Нумто показал, что случайный временной процесс в большинстве своем стационарен, имеет повторяющиеся цикличности и заметную область усиленного роста в районе 1700–1800 гг. [1].

Для того чтобы провести исследование потери устойчивости (стационарности) этого периода роста необходимо найти причину этого явления и, классифицировав ее, построить модель и метод оценки потери устойчивости.

Первая и главная причина могла носить почвенно-климатический характер: климатическое потепление, подъем уровня почвенной влаги, подтопление и пр. Одной из распространенных причин могут быть пожары. Для подтверждения какой-либо гипотезы проведем сравнительный анализ дендрорядов, полученных в разных пунктах исследуемой территории. Добавим районы: г. Лабытнанги, г. Надым и кордон Моим. На рис. 1. приведена карта-схема района исследования, на ней обозначены пункты и даты взятия образцов.

Поскольку лиственница преобладает в самых северных районах на территории лесотундры, а сосна и темнохвойные южнее, то сравнительный анализ корректнее вести попарно по данным из пунктов Лабытнанги — Надым и Нумто — Моим¹.

Влияние внешних условий на радиальный рост деревьев, выражающееся в синхронном изменении ширины колец разных деревьев, впервые было подробно исследовано Дугласом [13], на основе чего получила развитие дендроклиматология, ныне широко используемая для оценки климатических тенденций. Погодно-климатические условия обычно действительно являются главным фактором формирования годичного кольца, даже на «кривой большого роста» выделяются относительно более узкие кольца, образовавшиеся в неблагоприятные по сочетанию температуры и осадков годы. На Крайнем Севере температурный климатический фактор (обычно температуры воздуха июня и июля) является лимитирующим, то есть практически единственным, жестко определяющим рост и выживание деревьев. Корреляция ширины кольца с июльской температурой достигают там порядка 0,8 [11]. Климатозависимыми являются в большинстве своем и другие внешние абиотические и биотические факторы (пожары, патогены, многие гидрологические факторы), сильно влияющие на ширину древесных колец.

¹ Результаты исследований в районе озера Нумто приведены в предыдущей публикации авторов [1].

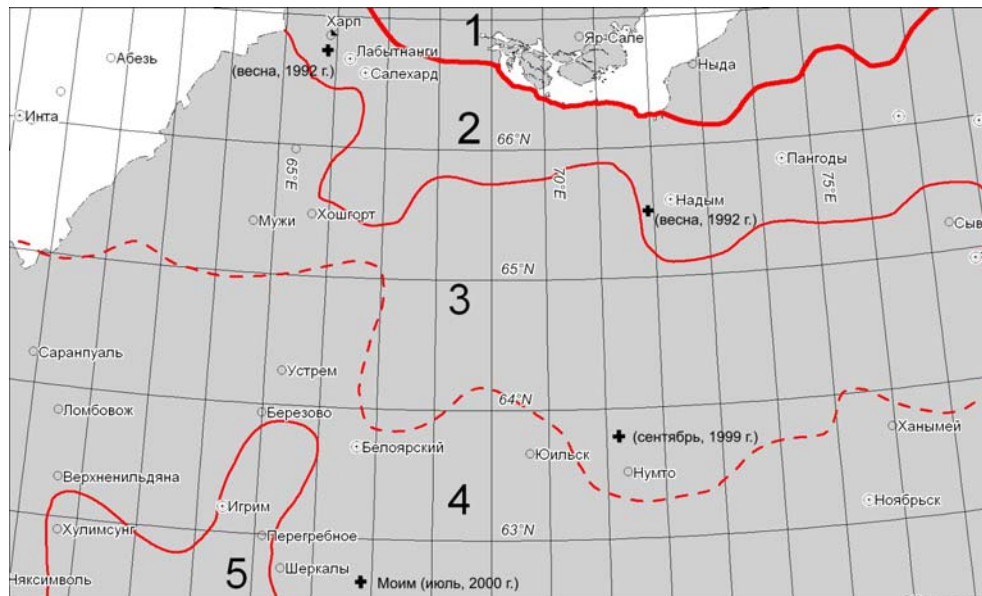


Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов исследования (+)
 Природные зоны даны по «Растительность Западно-Сибирской равнины.
 Геоботаническое районирование». М.:ГУГК,1976

1 — Подзона южных тундр; 2 — Лесотундра; 3 — Подзона северной тайги (северная полоса); 4 — Подзона северной тайги (южная полоса); 5 — Подзона средней тайги

Обычно после низовых пожаров и развития патогенов (вредители и болезни), приуроченных к засушливо-теплым климатическим фазам, древостой в той или иной степени изреживается. Оставшиеся живыми деревья при этом испытывают не только ослабляющие последствия воздействия патогена (что проявляется в первоначальном резком уменьшении ширины и структуры колец — т.н. раневые кольца, часто скошенные, паренхиматозные, с тонкостенными трахеидами и сильно просмоленные у хвойных). Лишившись привычной лесной среды, эти деревья испытывают сильные механические нагрузки от ветра, что чревато их гибелью в результате слома и требует скорейшей компенсации механической прочности путем образования крупных годичных колец с толстостенными недоразвитыми проводящими элементами, обычно имеющими более темную окраску (т.н. «креневые» кольца у хвойных и «тяговые» у лиственных). Эти крупные кольца сменяют тонкие раневые кольца и образуются в течение периода от нескольких лет до нескольких десятилетий (в зависимости от степени изреживания исходного древостоя), при этом ширина таких колец слабо связана с климатическими условиями роста. Наиболее широкие кольца образуются на горях, где структура почвы улучшается и обогащается биогенными элементами. Наибольшая относительная разница между нормальными и послепожарными кольцами отмечается на Крайнем Севере, где на горях сильно увеличивается глубина протаивания почвогрунтов [11, 9]. Возвращение к образованию нормальных колец происходит постепенно, по мере восстановления структуры древостоя, в оптимальных условиях быстрее, на Крайнем севере — медленнее.

Заметим, что нормальным может считаться годичное кольцо, размер и структура которого соответствует возрастной норме, кроме того ряды нор-

мальных колец (при исключении в ходе стандартизации возрастного фактора и автокорреляции первого порядка) проявляют высокий уровень корреляции (обычно множественной) с климатическими факторами. Соответственно, аномальные кольца существенно уклоняются по размеру и структуре, а их ряды плохо поддаются стандартизации и не коррелируют или слабо коррелируют с климатическими факторами [8, 9].

Древесная растительность Крайнего Севера достаточно хорошо адаптирована к неблагоприятным условиям отдельных лет, связанным с недостатком тепла (позднее наступление лета, холодное лето, ранние заморозки). Обычно в такие годы образуются очень узкие годичные кольца или часть камбиальной поверхности не продуцирует прироста совсем — т.н. выпадающие кольца, доля которых у кустарников на северном пределе их распространения в Ямало-Гыданском регионе достигает порядка 10% [10]. В условиях относительно теплого июня и холодного июля образуются т.н. «светлые» узкие кольца. Причем такие кольца синхронно образуются у всех деревьев, находящихся в одинаковых климатических условиях, выпадающие кольца чаще регистрируются у старых и наиболее угнетенных деревьев и выявляются процедурой «перекрестной датировки» [13].

Экстремально холодные условия одного года обычно не имеют существенных последствий для состояния и прироста древесных растений на Севере, и уже на следующий год, если условия его было достаточно теплыми, ширина годичного кольца может соответствовать многолетней норме. Если же экстремально холодные годы следуют друг за другом, или часто повторяются на некотором временном промежутке (что обычно отмечается с некоторой цикличностью), возникает недостаток запасенных ассимилянтов. Тогда происходит сбой адаптационных гомеостатических механизмов древесного растения, и для восстановления прироста до нормального уровня потребуется от нескольких лет до десятков лет (в зависимости от степени ослабления), даже в благоприятных последующих условиях [6, 7]. При этом полного восстановления может и не наступить, может развиться суховершинность, а в наиболее экстремальных условиях происходит и гибель дерева.

В табл. 1 приведено обобщение факторов, влияющих на образование тех или иных цикличностей и выбросов в дендрорядках.

Для более убедительного подтверждения и выявления особенностей этих рядов были проведены их исследования в выбранных ранее районах ЯНАО. В таблице 2 приведены их характеристики.

Таблица 1

Факторы, влияющие на рост ширины годичного кольца, и методы их исключения

Факторы	Время влияния	Как исключить или распознать
1. Климатические циклы [1]	200, 100, 20, 11 лет	Цифровая фильтрация
2. Нециклические отклонения [1]	~100 лет	Потеря стационарности
3. Низовой пожар	В интервале 3–30 лет	Вначале «раневые», затем «креновые» кольца у хвойных и «тяговые» у лиственных [9, 10]
4. Сезонные аномалии (температура июня, июля)	1–2 года	Фильтрация выбросов на заданном уровне при наличии «выпадающих» и «светлых» колец [10]

Таблица 2

Краткая характеристика мест древесно-кольцевых исследований

Пункт	Природная зона	Рельеф	Живой напочвенный покров	Древостой	
				Состав	Сомкнутость
Лиственница					
1. Окр-ти г. Лабытнанги	Лесотундра	Холмистый краевой водораздел р. Обь	Мшисто-лишайниково-кустарничковый	10Лц	<0,3
2. Окр-ти г. Надым	Стык лесотундры и северной полосы северной тайги	Надпойменная терраса р. Надым	Мшисто-травяно-кустарничковый	4Лц3К2Е1 Б	0,4
3. Устье р. Моим	Стык северной и южной полос северной тайги	Склон речной долины	Мшисто-травяно-кустарничковый	5Лц4С1К	0,4
Сосна					
4. Побережье оз. Нумто	Северная тайга	Равнинный водораздел	Мшисто-лишайниково-багульниковый	10С+К	0,4

На рис. 2. приведены индивидуальные дендроряды лиственницы с кордона Моим. На всех трех образцах (радиусах) заметен усиленный рост в районе 1700 г. протяженностью около 100 лет, т.е. примерно от 1650 до 1750 г. Напомним, что этот вывод совпадает с исследованиями в районе оз. Нумто [1], что подтверждает предположение о потере устойчивости (стационарности) в этот промежуток времени.

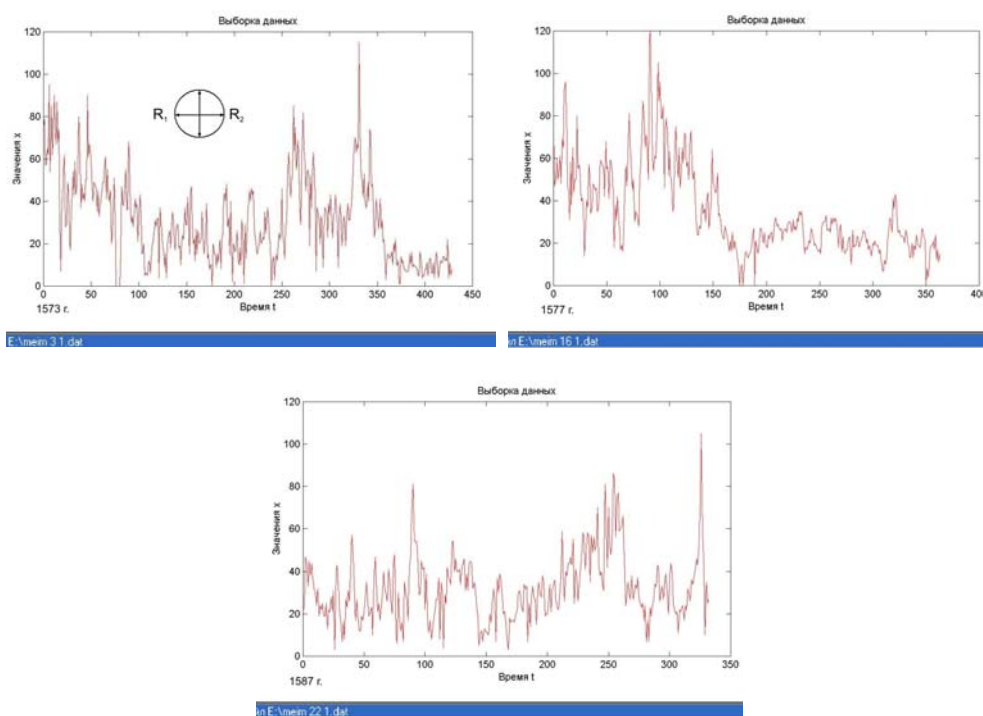
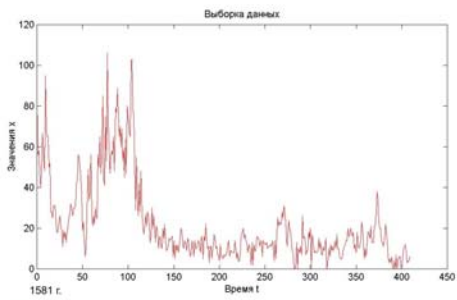
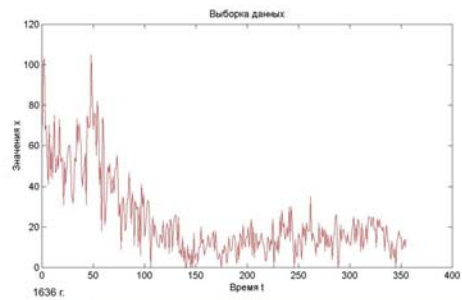


Рис. 2. Индивидуальные временные дендроряды $\Delta R(t)$ лиственницы из окрестностей кордона Моим. Данные получены по одному радиусу R_1 и не ориентированы по частям света



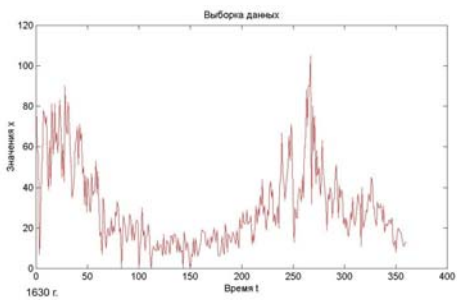
in E:\nad\9.1.dat

а)



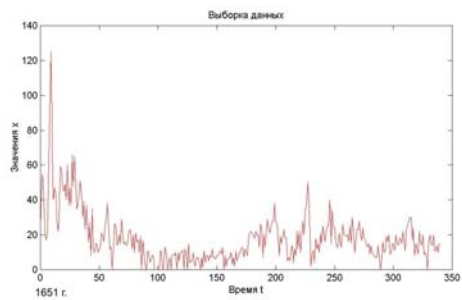
in E:\nad\25.1.dat

б)



in E:\nad\26.1.dat

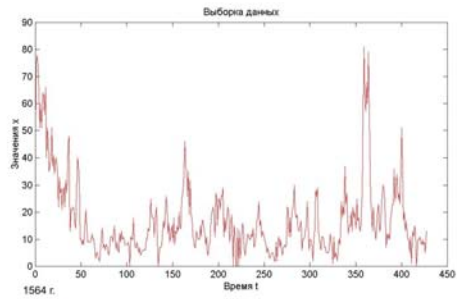
в)



in E:\nad\27.1.dat

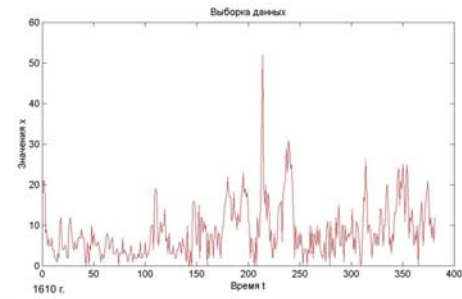
г)

Рис. 3. Индивидуальные дендроряды лиственницы их окрестностей г. Надым



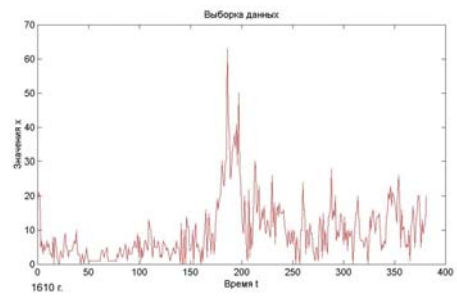
in E:\lab\1.1.dat

а)



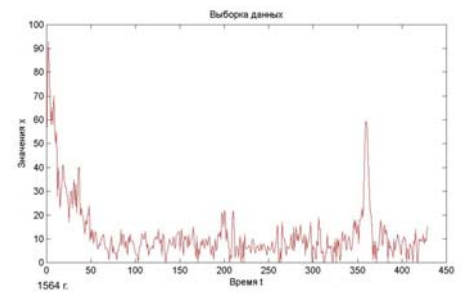
in E:\lab\3.dat

б)



in E:\lab\4.dat

в)



in E:\lab\2.1.dat

г)

Рис. 4. Индивидуальные дендроряды лиственницы из окрестностей г. Лабитнанги

На рис. 3, 4 приведены дендроряды, полученные в окрестностях г. Надыма и г. Лабытнанги. В районе г. Лабытнанги (рис. 4) все образцы лиственницы имели усиленный рост в точке 1800 г. также длительностью 50–100 лет, но менее очевидный. Кроме того, у деревьев (рис. 4а, 4г) замечен всплеск в 1900-х гг. Ни у одного образца нет всплеска роста ширины колец в 1650–1750 гг. Это демонстрирует отсутствие корреляции с данными оз. Нумто.

Анализ данных динамических рядов из района г. Надым (рис. 3) говорит о наличии третьей неопознанной причины усиления роста ширины колец у лиственницы в точке 1850–1900 гг. Однако образцы 3а и 3в имеют не столь заметный всплеск.

В целом в этой паре (п. Лабытнанги и г. Надым) значительно меньший годичный прирост и разнос ширины колец по сравнению с парой кордон Моим и оз. Нумто [1].

Для определения устойчивости роста $\Delta R(t)$ во всех точках исследования для всех дендрорядов было проведено тестирование на стационарность. Использовался критерий серий и разбиение ряда на 20 блоков. Все ряды признаны стационарными, кроме Моим 16.1 (рис. 2) при доверительной вероятности 0,95. Причем нестационарность указанного ряда сохраняется и при разбиении на 10 и 50 интервалов.

В предыдущей публикации [1] было предложено применять для древесно-кольцевых временных рядов модель с двумя входами. На один поступают климатические влияния, приводящие к выбросам и циклам 100 и более лет, на второй — короткие цикличности и кратковременные факторы, указанные в табл. 1. Разделить эти входы можно аппроксимацией тренда полиномом высокого порядка (в данном случае пятого) и отнесения к шуму всего остального.

Учитывая вышесказанное, приведем статистический анализ дендрорядов, аппроксимируя тренд полиномом пятой степени. В табл. 3. приведены соответствующие аппроксимации тренда и статистики остаточного ряда, т.е. шума, отдельных рядов (рис. 5).

Таблица 3

Характеристики выбранного варианта модели

№ ряда	Аппроксимация тренда	Остаточный ряд		
		Средне-квадр. отклонение	Стандартное отклонение	Тест стационарности
Lab1.1	$x = 74,35t^5 - 2,28t^4 + 0,028t^3 + 3,77e^{-0,07t} - 3,38e^{-0,10t}$	88,5	9,4	–
Nad 26.1	$x = 56,87t^5 + 0,56t^4 - 0,025t^3 - 6,12e^{-0,07t} + 6,24e^{-0,10t}$	146	12,1	–
Moim 22.1	$x = 24,33t^5 + 0,39t^4 + 6,72e^{-0,05t^2} - 2,11e^{-0,07t} + 2,27e^{-0,10t}$	225,1	15	+

Как отмечалось выше, среднеквадратическое отклонение годичного колебания ширины колец $\Delta R(t)$ в приполярной полосе значительно меньше, чем на уровне Моима. Остаточные ряды в большей части нестационарны (см. табл. 3).

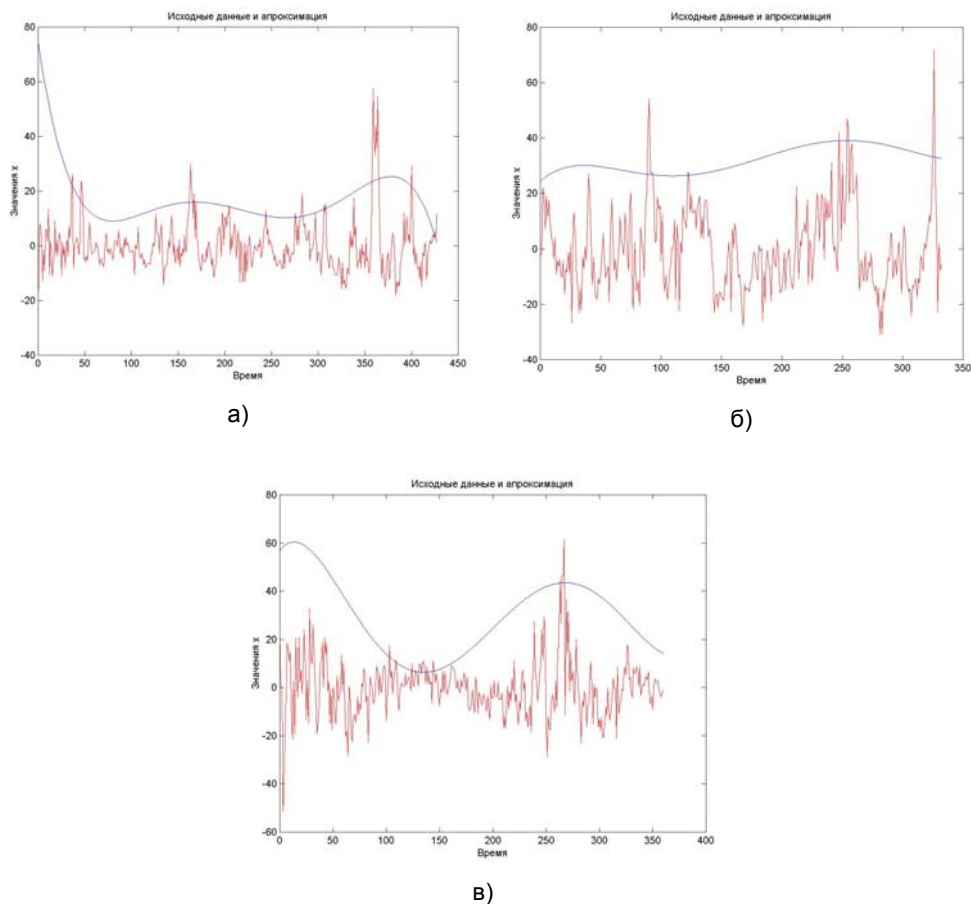


Рис. 5. Тренд исходного и остаточный временной ряд:
а) г. Лабитнанги (lab 1.1); б) кордон Моим (Meim 22.1); в) г. Надым (Nad 26.1)

Таким образом, в целом модель может быть представлена двумя блоками: полиномом пятой степени и некоторым шумом, включающим в себя как влияния коротких колебаний климата, так и вышеобозначенных факторов, включая ошибки измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цибульский В.Р., Арефьев С.П. Динамика древесно-кольцевых хронологий сосны в районе озера Нумто // Вестн. кибернетики. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2014. № 4 (16). С. 3–11.
2. Кузнецов В.И., Козлов Н.И., Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Динамические системы в задачах вычислительной экологии леса. М.: Полибук Мультимедиа, 2006. 112 с.
3. Острём К. Введение в стохастическую теорию управления. М.: Мир, 1973. 322 с.
4. Чебакова Н.М., Парфенова Е.И. Прогноз продвижения границ леса при изменении климата к концу 20 века в Средней Сибири // Вычислительные технологии, 2006. Т. II, ч. 3. Специальный выпуск. С. 77–86.
5. Харук В.И., Им С.Т., Рэнсон К. Дж., Наурызбаев М.М. Временная динамика лиственницы в экотоне лесотундры // Доклады академии наук, 2004. Т. 398. № 3. С. 1–5.

6. *Арефьев С.П.* Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // *Экология*. 1997. № 3. С. 149–157.
7. *Арефьев С.П.* Хронологическая оценка состояния кустарниковых тундр Ямала // *Сибирский экологический журнал*. 1998. № 3–4. С. 237–243.
8. *Арефьев С.П.* Корреляционный анализ аномальности прироста деревьев и кустарников Тазовского полуострова // *Дендрохронология: Достижения и перспективы*. Мат-лы Всероссийского совещ., 27–30 октября 2003 / Ин-тут леса им. В.Н.Сукачева СО РАН. Красноярск, 2003. С. 51.
9. *Арефьев С.П.* Дендрохронологические исследования и динамика биоты в Тазовской Субарктике // *Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2006. Вып. 7. С. 85–96.
10. *Арефьев С.П.* Потепление климата в древесно-кольцевых хронологиях кустарников на севере Ямало-Гыданского региона // *Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов*. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2014. С. 20–22.
11. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазела В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
12. *Briffa K.R., Jones P.D., Bartholin T.S., Eckstein D., Schweingruber F.H., Karlen W., Zetterberg P., Eronen M.* Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long time scales // *Clim. Dynam.* 1992. V. 7. P. 111–119.
13. *Douglass A.E.* Climatic cycles and tree-growth/ A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst., 1919. Vol. 1. 127 p.
14. *Fritts H.C.* Tree-ring and climate. London; New York; San Francisco: Acad. Press, 1976. 567 p.
15. *Gopalan G.* An interactive image analysis system for dendrochronology. The University of Arizona, 2000. 99 p.
16. *Hantemirov R.M., and Shiyatov S.G.* A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia // *Holocene*. 2002. Vol. 12. P. 717–726.
17. *Schweingruber F.H.* Tree rings and environment. Dendroecology. Bern, Stuttgart; Vienna: Paul Haupt Publishers, 1996. 609 p.
18. *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences* / Eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 364 p.

Тюмень, ИПОС СО РАН

V. R. Tsibulsky, S. P. Arefyev

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMICS IN WOOD AND ANNULAR CHRONOLOGY FROM DIFFERENT PARTS OF WESTERN SIBERIA NORTH

The given article presents data on wood and annular chronology of larch trees growing in the north of Western Siberia. The core has been taken in the settlement Labytnangi, near town Nadym and ledgement Moim. The statistical analysis has been carried out and approximations of the trend have been obtained by a polynomial of the fifth degree.

Wood and annular chronology, larch, North of Western Siberia, statistical analysis.