

БИОПОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОПОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Владимир Романович ЦИБУЛЬСКИЙ¹

УДК 631.4

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЧЕРЕЗ СТАЦИОНАРНОСТЬ ДРЕВЕСНО- КОЛЬЦЕВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ВИДОВ-ЭДИФИКАТОРОВ

¹ доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,
Институт проблем освоения Севера,
Тюменский научный центр СО РАН
v-tsib@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрена оценка устойчивости биоразнообразия, детерминированного древесными видами-эдификаторами на севере Западно-Сибирской равнины (северная тайга — лесотундра). В качестве таковых взяты лиственница сибирская, сосна обыкновенная, сосна сибирская. Биоразнообразие оценено показателем относительного разнообразия, соотнесенным к стационарности остаточных динамических рядов ширины годичных колец. Территория разбита на десять квадратов, в каждом из которых взяты пункты отбора дендрохронологических образцов: в окрестностях населенных пунктов 1) Лабытнанги и Полуй, 2) Надым, 3) Новый Уренгой, 4) Сamburg, 5) Сидоровск и Красноселькуп, 6) Казым, 7) Нумто, 8) Вынгапур, 9) Харампур, 10) Толька. Для каждого пункта проведено исследование древесно-кольцевых временных рядов доминирующих в данном квадрате видов-эдификаторов на стационар-

Цитирование: Цибульский В. Р. Оценка устойчивости биоразнообразия севера Западной Сибири через стационарность древесно-кольцевых временных рядов видов-эдификаторов / В. Р. Цибульский // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 2. С. 44-57.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

ность. В целом за прошедшие 200-300 лет по данному критерию биоразнообразие рассматриваемой биоты оценивается как устойчивое, за исключением некоторых случаев на юге территории (Вынгапур, Харампур, Толька). Даётся возможное объяснение нестационарности. Стационарность древесно-кольцевых рядов сохраняется для интервалов времени интенсивного освоения запасов нефти и газа, начиная с 1960 г. Приведены исходные временные ряды, кривые прироста, остаточные значения рядов, для которых получены спектральные характеристики. На всех рядах выделяются определяющие частоты с периодами 80-100 лет, 18-22 года, 8-12 лет и 4-7 лет. Рекомендована последовательность операций при оценке биоразнообразия через стационарность временных рядов эдификаторов: выбор подходящих деревьев по возрасту, синхронизация и усреднение рядов, аппроксимация кривой роста (прироста), оценка стационарности по критерию серий.

Ключевые слова

Биоразнообразие, устойчивость, древесно-кольцевые хронологии, деревья-эдификаторы, гипоарктические редколесья, Западная Сибирь.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

Введение

Вид-эдификатор в значительной степени определяет качественные и количественные параметры формируемого им сообщества, в том числе его видовой состав, являющийся важнейшим аспектом биологического разнообразия. Наиболее сильными эдификаторами являются виды древесных растений-лесообразователей. И хотя их средообразующее значение с продвижением на север (в северотаежных редколесьях и особенно в лесотундре) уменьшается, исторически сформировавшийся шлейф видов растений, животных, грибов, связанных с ними трофически или топически (консорция), во многом сохраняется. В такую консорцию включаются также виды, связанные с ее древесным детерминантом опосредованно, что намного расширяет сферу его влияния на биоразнообразие сообщества или территориальной совокупности сообществ. Исчезновение вида-эдификатора радикально меняет биологическое разнообразие, однако механизм консортивных связей предполагает также и существенную зависимость видового состава биоты от состояния вида-эдификатора — его возраста, продуктивности, влияния на него климатических и других абиотических факторов, пожаров, патогенов, а также факторов, связанных с деятельностью человека. Таким образом, динамика состояния эдификатора определяет динамические свойства биоразнообразия. Устойчивость видового состава биотического шлейфа эдификатора при изменениях природной среды на территориях разного масштаба определяется, прежде всего, устойчивостью самого вида-эдификатора [6, 14].

Методика

Наличие у деревьев естественных регистрирующих структур — годичных колец, фиксирующих многолетнюю информацию о состоянии эдификатора на фоне изменений внешней среды, предоставляет уникальную возможность оценки устойчивости биоразнообразия формируемых ими сообществ и их совокупностей. Для оценки устойчивости биоразнообразия сообществ лесотундровой и северотаежной зон ЯНАО, детерминированных древесными растениями, территория каждой зоны разбита на 10 квадратов, для каждого из которых определен древесный вид-эдификатор, доминирующий в данном квадрате. Для каждого такого эдификатора характерен свой в той или иной мере специфический биотический шлейф. По состоянию эдификатора на модельной площади с наиболее распространенным типом образуемого им сообщества в некотором приближении можно судить об устойчивости связанного с эдификатором биоразнообразия во всем квадрате. Вероятностная оценка такого подхода, основанная на геоботанических описаниях, исследована авторами Г. Вальтером [3], Г. С. Розенбергом и др. [8].

Пусть площадь, определяемая выше, будет обозначена как S_{ij} , i — номер квадрата по долготе, j — его номер по широте, n_s — число видов на ней, α -разнообразие — число видов в сообществе, α -разнообразие — число видов в i -, j - квадрате. Г. С. Розенберг [8] вводит показатель относительного разнообразия b , пропорциональный отношению α -разнообразия к γ -разнообразию.

Можно предположить, что по каким-то причинам меняется биологическая продуктивность (опад) дерева-эдификатора и меняются условия произрастания соответствующего биома, т. е. меняется число видов в квадрате ij на величину $\Delta\gamma(n_s)$. В этом случае изменчивость состояния (биопродуктивность) эдификатора отражается на относительном биоразнообразии в ij -квадрате.

Г. С. Розенберг приводит таблицу, составленную П. М. Жуковским и А. Н. Толмачевым, которые в своих исследованиях показали, что для субарктических редколесий при $b = 0,03$ относительное разнообразие достаточно устойчиво при различных возмущениях [8].

Нами предложено одним из методов оценки устойчивости относительного биоразнообразия считать стационарность временных рядов прироста ширины годичных колец древесных видов-эдификаторов.

Материалы

В качестве примера была взята лесотундра на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (Западная Сибирь). В таблице 1 представлены виды-эдификаторы: лиственница сибирская, сосна обыкновенная, сосна сибирская (кедр сибирский) — с указанием модельного сообщества, в котором были отобраны дендрохронологические образцы. Вид дерева-эдификатора, преобладающего в данной местности, указан по Карте лесов РФ [2]. Керны древесины взяты из растущих деревьев, отдельно стоящих или обладающих высоким ценотическим

статусом [5, 15]. Использованы также материалы Международного банка древесных колец (ITRDB) [16].

В таблице 2 приведена характеристика древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) с этих модельных площадей.

Таблица 1

Древесные виды-эдификаторы и модельные сообщества севера Западной Сибири

Table 1

Tree edificators species and model communities in the North of West Siberia

Координаты квадратов	Координаты квадратов				
	i = 1 66° в. д.	i = 2 70° в. д.	i = 3 74° в. д.	i = 4 78° в. д.	i = 5 82° в. д.
Редколесья j = 1 65-68° с. ш.	Лиственница. Лабытнанги: лиственнич- ник мшисто- лишайниково- кустарничко- вый. Полуй: лиственнич- ник мшисто-брус- ничный	Лиственница. Надым: лиственнич- ник мшисто- травяно-ку- старничковый	Лиственница. Новый Уренгой: долина р. Евояха	Лиственница. Самбург: разнотравное лиственнич- ное редколе- сье в долине р. Пур	Лиственница. Сидоровск: лиственнич- ник лишайни- ково-кустар- ничковый. Кедр. Красносель- куп: кедровое редколесье на крупнобугри- стом торфяни- ке
Северная тайга j = 2 62-65° с. ш.	Сосна. Казым: сосняк брусничный	Сосна. Нумто: сосняк лишайниково- бруснично-ба- гульниковый	Сосна. Вынгапур: сосняк брусничный	Кедр. Харампур: кедровник мшисто-ку- старничковый	Кедр. Толька: кедровник мшистый

Таблица 2

Характеристики ДКХ

Table 2

The features of tree-ring chronologies

S_{ij}	Обозначения ДКХ	Годы	Координаты
1.1	Лабытнанги Л7-1	1791-1992	66°57' с. ш., 66°41' в. д.
	Полуй Л7-1	1533-2013	66°20' с. ш., 67°37' в. д.
	Л7-1,2	1533-2013	»
	Л6-1,2	1542-2013	»
1.2	Казым C RUS244-1* C RUS244-2* C RUS244-3*	1523-2006 1523-2006 1523-2006	63°33' с. ш., 69°10' в. д. » »
	Надым Л12-2	1770-1992	65°53' с. ш., 72°51' в. д.
	Л9-1	1581-1992	»
	Л25-1	1636-1992	»
2.2	Нумто C3-3	1647-1999	63°32' с. ш., 71°25' в. д.
	C17-2	1654-1999	»
	C4-1	1846-1999	»
	C14-1	1667-1999	»
	Новый Уренгой Л С3-1	1885-2003	66°08' с. ш., 76°63' в. д.
3.1	Л С4-1	1879-2003	»
	Л С1-1	1902-2003	»
	Вынгапур C080421*	1796-1993	62°93' с. ш., 76°38' в. д.
	C080432* C080442*	1788-1994 1796-1994	» »
4.1	Самбург Л5-1	1503-2014	67°00' с. ш., 78°13' в. д.
	Л1***	1557-2014	»
	Л5-1,2,3; Л1-3,2,1	1503-2014 »	» »

Окончание таблицы 2

Table 2 (end)

4.2	Харампур К1-1 К1-2 К1-3	1866-1993 1862-1993 1881-1993	64°14' с. ш., 78°05' в. д.
			»
			»
5.1	Красноселькуп К 20' Сидоровск Л863111* Л863112*	1585-1994	65°07' с. ш., 82°46' в. д.
		1750-1990	66°40' с. ш., 82°20' в. д.
		1754-1990	»
5.2	Толька К10-1 К5-1 К6-1	1729-1994	64°00' с. ш., 82°02' в. д.
		1695-1994	»
		1698-1994	»

Примечание: Л — лиственница, С — сосна, К — кедр (числами обозначен номер дерева, через дефис — номер(а) использованных радиусов)

* — данные международного банка древесных колец ITRDB [16]

Notes: Л — larch, С — pine, К — cedar (numbers mark the tree number, a hyphen — the number(s) of the used radii); * — the datat of the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) [16]

Результаты и обсуждение

Если ретроспективно оценить стационарность (или нестационарность) временных рядов на основе ДКХ выбранных деревьев-эдификаторов, можно с определенной вероятностью говорить об относительной устойчивости их биомов и всей исследуемой территории за 200-300 лет. Причем деревья выбраны в большинстве своем как доминирующие в данной местности на основе карт растительности и экспедиционных исследований.

На рис. 1 приведены исходные временные ряды ДКХ для каждой площадки S_{ij} , их кривые роста и остаточные ряды, по которым производилась оценка стационарности на основе критерия серий при достоверности 0,95.

Первым этапом оценки стационарности временных рядов является идентификация и вычитание тренда. Для рядов на основе ДКХ трендом являются кривые прироста. Исследования [1, 11-13] показали, что наиболее удачными моделями кривых прироста для неугнетенных особей являются аппроксимации полиномом 3-4 степени, полученные методом авторегрессионного сглаживания скользящей средней (APCC).

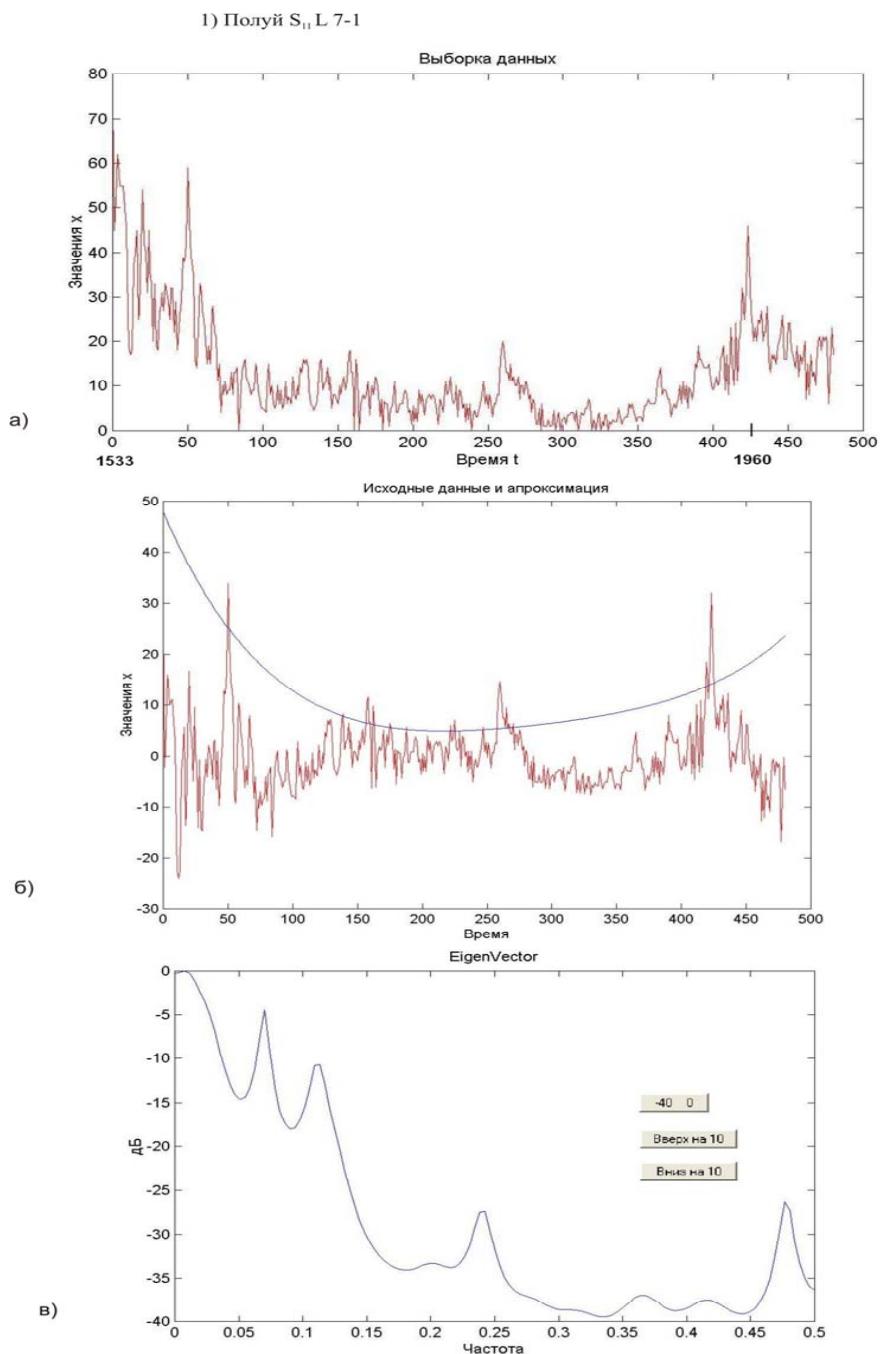


Рис. 1. Исходный временной ряд ДКХ (а); его кривая роста (тренд) и остаточный ряд (б); амплитудный спектр остаточного ряда (в)

Fig. 1. The initial time series of the tree-ring chronology (a); its growth curve (trend) and the residual series (б); amplitude spectrum of the residual series (в)

Для большей достоверности и соблюдения рекомендаций по размеру площадки S_{ij} [8] в каждой исследуемой точке или ключевом участке будем оценивать три дерева-эдификатора хвойного вида (см. таблицу 1).

В таблице 3 приведены оценки стационарности вышеописанной территории, из которых можно предположить некоторую неустойчивость в северо-восточной части территории.

Таблица 3

Table 3

Результаты тестирования остаточных рядов на стационарность

Results of testing the residual series for stationarity

S_i	S_j	Номера площадок по широте				
		1	2	3	4	5
1	Lабытнанги		Надым	Новый Уренгой	Самбург	Красноселькуп
	L 7-1 + п. Полуй	L 12-2 – L 9-1 + L 25-1 +		LC 3 + LC 4-1 + LC 1-1 +	L 5-1 – L 1-3 + L 5-1,2,3; 1-3,2,1 +	C 20-1 + Сидоровск L863111 + L863112 +
1960 г.	L 7-1** +	L 12-2** +		LC 3** +	L 5-1** +	L863111** +
	Kазым		Нумто	Вынгапур	Харампур	Толька
2	P1 + P2 + P3 +	P 3-3 – P 17-2 + P 4-1 + P 14-1 +	P080421 – P080432 + P080442 –		C 1-1 – C 1-2 + C 1-3 +-	C 10-1 + C 5 – C 6-1 –+
	P1** +	P 3-3** +	P080421** +		C 1-1** +	C 10-1** +

Кроме того, обнаружено существенное влияние точности аппроксимации нелинейной кривой роста в отдельных случаях. Например, для площадки S22

деревьев PNum3-3 и PNum17-2 — если «кривая» роста аппроксимируется линейным уравнением, то остаточный ряд стационарен, если нелинейным полиномом — нестационарен. Для площадки S32 дерева К1-3 — остаточный ряд стационарен при аппроксимации исходного полинома 3-й степени и нестационарен 4 и 5. Для площадки S52 дерева Т6 нестационарность проявляется при полиноме 4-й степени, но при 5-й степени остаточный ряд стационарен.

Предположительно, это связано с разной длительностью исходных рядов при усреднении и, следовательно, отсутствии синхронизации по онтогенетическим состояниям. Таким образом, при оценке стационарности временных рядов на основе ДКХ необходимы их синхронизация по фазам роста и дополнение недостающих данных методами, опубликованными авторами [11-13].

Начало интенсивного освоения нефтегазовых месторождений исследуемой территории датируется с 1960-х гг. и продолжается по настоящее время. Насколько это влияет на устойчивость γ -разнообразия, рассмотрим на тех же временных рядах, но будем оценивать стационарность на интервале времени от 1960 г. до настоящего времени.

На рис. 1 на исходных рядах отмечены эти точки отсчета тех же деревьев-эдификаторов (1960 г.), т. е. предположительно в пределах генеративных фаз роста. Кривые роста аппроксимированы полиномами 1, 2 степени, и в таблице 3 оценки их стационарности отмечены **.

Оценка стационарности остальных 2-3 временных рядов каждой площадки проводилась по этому же алгоритму.

Сравнительный анализ говорит о том, что в последние 30-50 лет устойчивость относительного биоразнообразия не ухудшилась, несмотря на появившиеся антропогенный и техногенный факторы.

Для получения дополнительной информации о стационарности были получены спектральные оценки исходных рядов после вычета кривой роста методом MUSIC (Multiple Signal Classification), его модификацией EV, которая позволяет отделить основной спектр от шумов, связанных с методической ошибкой и случайными величинами [1].

На рис. 1 (в) приведены спектры исследуемых рядов. Практически на всех частотных характеристиках преобладающими гармониками являются 80-100 лет, 18-22 года, 8-12 лет. Заметны гармоники 4-7 лет, связанные с цикличностью прорастания семян. Кроме того, спектральная плотность на преобладающих частотах является затухающей, что дополнительно говорит о стационарности рядов. И наоборот, например, ДКХ по пунктам Надым и Харампур имеют расходящиеся частотные характеристики, и в таблице 3 нестационарность остаточного ряда подтверждается.

Заключение

Для получения оценок устойчивости относительного биоразнообразия лесотундровых территорий в ретроспективе предлагается доступная и простая методи-

ка, основанная на анализе временных рядов древесно-кольцевых хронологий (рядов прироста). Для этого необходимо:

- 1) определить дерево-эдификатор, характерное для выделенного участка;
- 2) выбрать особи одного возраста (диаметра) для усреднения временных рядов прироста;
- 3) провести синхронизацию рядов по онтогенетическим состояниям и дополнить их в начальных участках (как правило, это проростки, имматурная и ювенальная фазы);
- 4) получить усредненные временные ряды прироста древьев-эдификаторов;
- 5) вычесть кривую прироста (тренд), аппроксимированную полиномом 3-4 степени;
- 6) оценить стационарность остаточного ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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
2. Барталев С. А. Карта лесов Российской Федерации, окрашенная по преобладающим группам пород деревьев и сомкнутости древесного полога. М 1:14 000 000 / С. А. Барталев, Д. В. Ершов, А. С. Исаев, П. В. Потапов, С. А. Турубанова, А. Ю. Ярошенко. М.: Гринпис, 2004.
3. Вальтер Г. Общая геоботаника / Г. Вальтер. Л.: Наука; Мир, 1982. 261 с.
4. Выводцев Н. В. Общие закономерности роста лиственничников Дальнего Востока: дисс. ... канд. с/х наук / Н. В. Выводцев. Хабаровск, 1984. 185 с.
5. Методы дендрохронологии. Ч. 1: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов, В. Б. Круглов, В. С. Мазепа, М. М. Наурзбаев, Р. М. Хантемиров. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.
6. Носова Л. М. Воздействие деревьев-эдификаторов на биологическое разнообразие лесных экосистем / Л. М. Носова, Е. В. Тихонова, Н. Б. Леонова // Лесоведение. 2005. № 4. С. 40-48.
7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загреев, В. И. Сухих, А. З. Швиденко, Н. Н. Гусев, А. Г. Мошканев. М.: Колос, 1992. 495 с.
8. Розенберг Г. С. Теоретический анализ связи между площадью описания и числом встреченных видов / Г. С. Розенберг // Биологические науки. 1989. № 11. С. 76-82.
9. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
10. Цибульский В. Р. Динамика древесно-кольцевых хронологий сосны в районе озера Нумто / В. Р. Цибульский, С. П. Арефьев // Вестник кибернетики. 2014. № 4 (16). С. 3-11.
11. Цибульский В. Р. Сравнительный анализ древесно-кольцевых хронологий из разных пунктов на севере Западной Сибири / В. Р. Цибульский, С. П. Арефьев // Вестник кибернетики. 2015. № 1 (17). С. 30-37.

-
12. 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.
 13. Цибульский В. Р. Восстановление возраста и кривых прироста в древесно-кольцевых хронологиях хвойных пород севера Западной Сибири / В. Р. Цибульский, А. А. Коновалов, С. П. Арефьев // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Том 2. № 3. С. 59-70. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-3-59-70
 14. Шитиков В. К. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг // Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А. И. Баканова). Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. С. 91-129.
 15. Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences / ed. by E. R. Cook and L. A. Kairiukstis. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 364 pp. DOI: 10.1007/978-94-015-7879-0
 16. National Centers for environmental information NOAA (USA). Tree ring. URL: <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring> (дата обращения: 15.03.2018).

Vladimir R. TSIBULSKY¹

UDC 631.4

**ESTIMATING THE BIODIVERSITY STABILITY IN THE NORTH
OF WESTERN SIBERIA THROUGH STATIONARY WOOD-RING TIME
SERIES OF EDIFICATORS SPECIES**

¹ Dr. Sci. (Tech.), Professor,
Chief Researcher, Institute of Problems of Development of the North,
Tyumen Scientific Center SB RAS
v-tsib@yandex.ru

Abstract

This article studies a variant of biodiversity sustainability estimation, determined by trees which perform the functions of ecosystem engineers in the north of the West Siberian Plain (northern taiga — forest-tundra). They mainly include Siberian larch, pine, and cedar. The biodiversity is estimated by the index of relative diversity proposed by G. S. Rosenberg and equated to the stationarity of the dynamic series of tree rings. The entire territory is divided into ten squares near the villages of Labytnangi, Sumburgh, Krasnoselkup, Kazym, Vinghapur, Kharampur, Tolka, as well as the cities of Nadym, Novy Urengoy, and the lake Numto. In each place, the author has studied over three averaged individuals of tree-ring time series of ecosystem engineers for stationarity. They provide the exact coordinates of the core and the values of the duration of the rows, as well as a description of plant communities for selected species.

In general, over the past 200-300 years, according to this criterion, the diversity of the biota under consideration can be estimated as stable except for individual cases (Vygapur, Kharampur, and Tolka settlements), the explanation for which is provided in the article. Stationarity of tree-ring series is preserved for intervals of time of intensive development of oil and gas reserves since 1960. The figures show initial time series, growth curves, residual series for which spectral characteristics are obtained. All the series identify the determining frequencies within the periods of 80-100, 18-22, 8-12, and 4-7 years.

Citation: Tsibulsky V. R. 2018. "Estimating the Biodiversity Stability in the North of Western Siberia through Stationary Wood-Ring Time Series of Edificators Species". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 2, pp. 44-57.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

In conclusion, the author recommends a sequence of operations in assessing biodiversity through the stationarity of time series of edifiers: selection of suitable trees by age, synchronization and averaging of series, approximation of the growth curve (increment), stationarity by the criterion of series.

Keywords

Biodiversity, stability, tree-ring chronology, trees, ecosystem engineers, hypoarctic forest, Western Siberia.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-44-57

REFERENCES

1. Arefiev S. P., Tsibulskiy V. R. 2016. "Spektralnyy analiz drevesno-koltsevykh khronologiy unikalnykh derevyev na severe Zapadnoy Sibiri" [Spectral Analysis of Tree-Ring Chronologies of Unique Trees in the North of Western 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
2. Bartalev S. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Potapov P. V., Turubanova S. A., Yaroshenko A. Yu. 2004. Karta lesov Rossiyskoy Federatsii. M. 1 : 14 000 000. [Forest Map of the Russian Federation. Scale 1 : 14,000,000]. Moscow.
3. Walter G. 1982. Obshchaya geobotanika [General Geobotany]. Leningrad: Nauka; Mir.
4. Vyvotsev N. V. 1984. "Obshchie zakonomernosti rosta listvennichnikov Dalnego Vostoka" [General Patterns of Growth of the Larch Forests of the Far East]. Cand. Sci. (Agricult.) diss. Khabarovsk.
5. Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M., Khamtemirov R. M. 2000. Metody dendrokchronologii [Methods of Dendrochronology]. Vol. 1. Osnovy dendrokchronologii. Sbor i poluchenie drevesno-koltsevoy informatsii [Fundamentals of Dendrochronology. Collection and Reception of Tree-Ring Information]. Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU.
6. Nosova L. M., Tikhonova E. V., Leonova N. B. 2005. "Vozdeystvie derevyev-edifikatorov na biologicheskoe raznoobrazie lesnykh ekosistem" [Effects of Edificating Trees on the Biological Diversity of Forest Ecosystems]. Lesovedenie, no 4, pp. 40-48.
7. Zagreev V. V., Suhih V. I., Shvidenko A. Z., Gusev N. N., Moshkalev A. G. 1992. Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov [All-Union Standards for Forest Valuation]. Moscow: Kolos.
8. Rozenberg G. S. 1989. "Teoreticheskiy analiz svyazi mezhdu ploshchadu opisaniya i chislom vstrechennykh vidov" [Theoretical Analysis of the Relationship between the Area of Description and the Number of Species Encountered]. Biologicheskie nauki, no 11, pp. 76-82.
9. Witteker R. 1980. Soobshchestva i ekosistemy [Communities and Ecosystems]. Moscow: Progress.

10. Tsibulskiy V. R., Arefiev S. P. 2014. "Dinamika drevesno-koltsevykh khronologiy sosny v rayone ozera Numto" [Dynamics of Tree-Ring Chronologies of Pine in the Area of Lake Numto]. *Vestnik kibernetiki*, no 4 (16), pp. 3-11.
11. Tsibulskiy V. R., Arefiev S. P. 2015. "Sravnitelnyy analiz drevesno-koltsevykh khronologiy iz raznykh punktov na severo Zapadnoy Sibiri" [Comparative Analysis of Tree-Ring Chronologies from Different Locations in the North of Western Siberia]. *Vestnik kibernetiki*, no 1 (17), pp. 30-37.
12. Tsibulskiy V. R., Arefiev S. P. 2015. "Matematicheskaya model dinamiki drevesno-koltsevykh khronologiy prirodnykh zon severa Zapadnoy Sibiri" [Mathematical Model of Dynamics of Tree-Ring Chronologies of Natural Zones of the North of Western Siberia]. *Vestnik kibernetiki*, no 2 (18), pp. 65-71.
13. Tsibulskiy V. R., Konovalov A. A., Arefiev S. P. 2016. "Vosstanovlenie vozrasta i krivykh prirosta v drevesno-koltsevykh khronologiyakh khvoynykh porod severa Zapadnoy Sibiri" [Recovery of Age and Growth Curves in Tree-Ring Chronologies of Coniferous Species in the North of Western Siberia]. *Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*, vol. 2, no 3, pp. 59-70.
DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-3-59-70
14. Shitikov V. K., Rozenberg G. S. 2005. "Otsenka bioraznoobraziya: popytka formalnogo obobshcheniya" [Biodiversity Assessment: An Attempt at Formal Generalization]. In: *Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii (sbornik nauchnyh trudov, posvyashchenny pamyati A. I. Bakanova)*, pp. 91-129. Tolyatti: SamNTs RAN.
15. Cook E. R., Kairiukstis L. A. (eds.). 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht; Boston; London, Kluwer Acad. Publ.
DOI: 10.1007/978-94-015-7879-0
16. National Centers for Environmental Information NOAA (USA). Tree Ring. Accessed on 15 March 2018. <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>