

УДК 581.552

https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04

Цибульский В.Р., Арефьев С.П., Новиков В.П.,
Соловьев И.Г., Говорков Д.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ШЕННОНА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ, ОБРАЗОВАННЫХ ДЕРЕВЬЯМИ-ЭДИФИКАТОРАМИ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Tsibulsky V.R., Arefev S.P., Novikov V.P., Solovyev I.G., Govorkov D.A.

DETERMINATION OF THE SHANNON BIODIVERSITY INDEX OF PLANT COMMUNITIES FORMED BY EDIFICATORY TREES USING THE EXAMPLE OF FORESTS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

Аннотация. В статье представлен один из инструментов эффективного управления лесами – методика оценки биоразнообразия лесов на основе индекса Шеннона или выравнивания биомов, образованных доминирующими деревьями-эдификаторами. Рассмотрено понятие и приведена формула определения индекса биоразнообразия Шеннона для сообществ (биомов) в зависимости от вероятностного распределения деревьев-эдификаторов. Индекс биома определяется на основе встречаемости видов, а распределение вероятностей эдификаторов – доминирующими породами: лиственницей, сосной, кедром, елью и березой на территории их сплошного и мозаичного произрастания в таежной и лесотундровой зоне лесхозов севера Западной Сибири. Это позволяет дать предварительную оценку возможных значений индекса биоразнообразия обширной территории, занятой лесом, при помощи космической съемки. Используя описания биомов отмеченных деревьев-эдификаторов, приведенных у Б.Н. Норина, В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной, авторы статьи получили индексы биоразнообразия Шеннона и выравнивания для ряда биомов, близких по условиям произрастания к лесной зоне Ямало-Ненецкого автономного округа. Распределение вероятностей деревьев-эдификаторов получено на основе данных по площади произрастания указанных пород на интерактивной карте «Леса России» на 01.01.2018 г. В итоге получена оценка биоразнообразия территории лесов в каждом лесхозе, и приведена карта лесхозов ЯНАО с цифровыми значениями этого индекса.

Ключевые слова: биоразнообразие, лес, сообщества, индекс выравнивания.

Информация об авторах: Цибульский Владимир Романович, SPIN-код: 4211-9183, д-р техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Арефьев Станислав Павлович, д-р биол. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Новиков Виктор Петрович, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия; Соловьев Илья Георгиевич, SPIN-код: 4340-6350, канд. техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия, solovyev@ikz.ru; Говорков Денис Александрович, ORCID: 0000-0002-5430-0231, канд. техн. наук, Тюменский научный центр СО РАН, ИПОС, г. Тюмень, Россия, dagovorkov@mail.ru

Abstract. The article proposes one of the tools for effective forest management – a methodology for assessing forest biodiversity based on the Shannon index or the evenness of biomes formed by dominant edificator trees. The concept is given and the formula for determining the Shannon biodiversity index for communities (biomes) is provided, depending on the probability distribution of edificator trees. Moreover, the biome index is determined on the basis of the occurrence, and the probability distribution of edificators is determined by the dominant species: larch, pine, cedar, spruce and birch on the territory of their continuous and mosaic growth in the taiga and forest-tundra zones of forestry enterprises in the north of Western Siberia. This makes it possible to give a preliminary estimate of the possible values of the biodiversity index of a vast area occupied by forest using satellite observations. Using the descriptions of biomes of the noted edificator trees given by B.N. Norin, V.I. Valutskiy and E.I. Lapshina, the authors of the article obtained indices of the Shannon biodiversity and uniformity for a number of biomes similar in terms of growing conditions to the forest zone of the Yamalo-Nenets Autonomous Area. The probability distribution of edificator trees was obtained on the basis of data on the growing area of these species on the interactive map “Forests of Russia” as of 01.01.2018. As a result, an assessment of the biodiversity of the forest area in each forestry enterprise was obtained and a map of the Yamalo-Nenets Autonomous Area forestry enterprises with the digital values of this index is provided.

Keywords: biodiversity, forest, communities, evenness index.

About the authors: Tsibulsky Vladimir Romanovich; SPIN-code: 4211-9183, Dr. habil., Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia, v-tsib@yandex.ru; Arefiev Stanislav Pavlovich, Dr. habil., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia; Novikov Viktor Petrovich, Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia; Soloviev Ilya Georgevich, SPIN- code: 4340-6350, Ph.D., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia, solovyev@ikz.ru; Govorkov Denis, ORCID: 0000-0002-5430-0231, Ph.D., Tyumen Scientific Center SB RAS, IPOS, Tyumen, Russia, dagovorkov@mail.ru

Введение. Проблема мониторинга биоразнообразия на обширных труднодоступных территориях Ямало-Ненецкого округа стоит очень остро. Ее решение усложняется недостатком

заинтересованности, а также отсутствием средств для определения всего состава видов и их многообразия. Сильную тревогу вызывает сокращение видов, используемых для жизнеобеспечения коренного и пришлого населения, и видов, уникальных для данной территории. При этом взаимозависимость и состояние биоразнообразия территорий мало исследуется и оценивается, хотя история подобных исследований достаточно богата и продолжительна [1-6; 8; 15; 20-22]. Приведем ряд примеров. Во исполнение конвенции ООН по биоразнообразию был представлен проект о сохранении и поддержании биоразнообразия лесов Европейской части России, и как результат выпущен «Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий» [12]. При разработке использовались космические и компьютерные технологии, привязки к местности и картирования. Атлас в большей степени ориентирован на промышленного лесопользователя и в меньшей – на оценку биоразнообразия. В 1985 г. была разработана карта растительности Западной Сибири с подробным описанием (легендой), по этой карте можно было сделать оценку биоразнообразия, но прошло 35 лет интенсивного освоения нефтегазовых месторождений, открытых на этой территории, и повторной оценки нет [18]. Есть отдельные фрагменты, но не более. Сравнительно недавно был выпущен атлас ЯНАО с обозначенными природоохранными территориями, но без оценки биоразнообразия и его динамики [19].

Целью данной работы является предложение на основе индекса Шеннона сравнительно простого метода оценки биоразнообразия популяций деревьев-эдификаторов, составляющих основу лесов России, в том числе и Западной Сибири. Это позволяет на основе космосъемки практически ежегодно получать косвенную оценку биоразнообразия лесов, включая ассоциации растений и ассоциации животного мира, сопровождающие эти популяции.

Методика. Районы исследований. Известно, что на северной кромке лесной зоны Западной Сибири леса представляют собой мозаичное лиственничное редколесье и таежную часть, состоящую из сосны, ели и редко кедра. На карте Рослесинфорг «Леса России» на 01.01.2018 г. обозначена территория лесхозов ЯНАО: Ямальского, Надымского, Таркосалинского, Ноябрьского и Красноселькупского (<https://roslesinfor.ru/atlas>). Состав и процентное содержание основных видов приведены в таблице 1. Поскольку основной целью настоящей статьи является демонстрация возможных вариантов оценки биоразнообразия сообщества деревьев-эдификаторов и их биома, состав которого достаточно постоянен [20-22], авторы статьи сочли возможным использовать материалы исследований, ранее проведенных в указанных районах или в районах, сопредельных с подобными условиями произрастания. В частности, материалы Норина Б.Н. по лиственничникам в районе Обско-Тазовского полуострова (66°15–66°45' с. ш. и 72°50–74°20' в. д.) [7], В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной по соснякам и кедрово-еловым лесам в районе Обь-Иртышского междуречья (долина Большого Салыма) [14]. В указанных работах приведены составы биомов, образованных главными видами деревьев, и их встречаемость.

Таблица 1

Сводная таблица долевого содержания (в %) площадного покрытия основных деревообразующих видов по лесничествам ЯНАО

	Ямальский лесхоз	Надымский лесхоз	Таркосалинский лесхоз	Ноябрьский лесхоз	Красноселькупский лесхоз
Пихта	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0129
Сосна	16,0627	27,2846	31,1262	59,2467	18,9370
Ель	24,8107	16,6357	22,3255	2,4650	6,7589
Лиственница	36,7334	46,4355	18,4928	15,2225	32,1666
Кедр	10,7626	2,1432	17,9137	14,7458	19,6811
Береза	11,5576	7,4825	10,0503	8,2730	21,9945
Осина	0,0324	0,0000	0,0001	0,0470	0,3384
Ива	0,0406	0,0186	0,0914	0,0001	0,1105

У Б.Н. Норина [7] в таблицах 5, 7, 9, 11 приведены ассоциации растений лишайниковых, мохово-лишайниковых, долгомошных и травянокустарниковых лиственничников на четырех ярусах: древесном, кустарниковом, травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом. У В.И. Валуцкого и Е.И. Лапшиной [14] в таблице 1 приведены ассоциации растений сосново-багульниково-зеленомошно-сфагновых, сосновых кустарничково-осоково-сфагновых, елово-кедровых плауново-зеленомошных и кедрово-сосновых бруснично-зеленомошных, кроме того, осино-березовых травяно-зеленомошных лесов, где береза выступает в роли субдоминанта. Там же приведена встречаемость на тех же уровнях.

Основные понятия и определения. Авторы остановились на индексе биоразнообразия Шеннона как наиболее подходящем для обработки данных по встречаемости растений, приведенных в

литературе. Принято обозначать его H' . Сделаем небольшой обзор и выберем наиболее подходящее определение и формулу для вычисления.

У Э. Мэгарран [10] индекс Шеннона отождествляется с количеством информации. Известно, что количество информации равно разности априорной и апостериорной энтропий, т. е. до геоботанического исследования и после. Для нас это энтропия всего растительного сообщества и энтропия необследованной части. Следовательно, формулу Мэгаррана можно применять только при условии, что апостериорная энтропия равна нулю, т. е. территория обследована полностью. Ряд авторов оценивают выравненность распределения, относя индекс Шеннона к максимально возможному его значению H'_m , т. е. индексу при равномерном законе распределения [9; 10; 17], и обозначают ее как E . А.П. Левич [9] предлагает практически тот же подход, но с небольшим отличием – он отмечает, что исходно это формула энтропии, известная со времен Больцмана. У Г.С. Розенберга [16; 17] тот же энтропийный подход к индексу Шеннона. Мы будем придерживаться подхода Мэгаррана, так как индекс биоразнообразия – величина положительная, а энтропия – отрицательная, в отличие от количества информации. Кроме того, Левич и Розенберг максимальную энтропию определяют по Хартли, и это тоже количество информации с равновероятными событиями. При условии, что апостериорная энтропия равна нулю, примем традиционную формулу $H = -\sum_i p(i) * \log p(i)$, где p – вероятность каждого вида растительного сообщества биома, i – индекс этого вида.

Принято считать, что при выборке 10^2 , индекс Шеннона не превышает значения 3,5. Поскольку сложно определить, насколько велик данный показатель, удобнее использовать индекс выравненности E , представляющий, по сути, нормированный индекс Шеннона, приведенный к максимально возможному значению для данной территории при равномерном законе распределения видов $E = \frac{H'}{H'_m}$.

Таким образом, будем определять индекс выравненности как количество информации, полученное при исследовании или подсчете видов сообщества (биома) в зависимости от вида деревьев-эдификаторов. Причем индекс для биома будем относить к максимально возможному для него при равномерном распределении. Вероятностное распределение присутствия эдификаторов на территории лесхозов будем определять по площади покрытия, которое тоже нормируется к максимально возможной величине энтропии равномерного распределения вероятностей. Другими словами, в начале должна вычисляться энтропия биомов, различных в зависимости от доминирования деревьев-эдификаторов на рассматриваемой территории, затем определяться вероятность того или иного эдификатора для перечисленных лесхозов, только после этого определяется индекс Шеннона, или выравненность E зависимого сообщества от каждого эдификатора. Суммарный индекс для каждого лесхоза определяется как сумма индексов биомов, присущих данной территории.

Предположим, что дерево-эдификатор имеет порядковый индекс j , и он изменяется $j = 1, 2, \dots, m$. Индекс видов в каждом биома $i = 1, 2, \dots, n$. В нашем случае вероятность $p(i)$ зависит от того, какой эдификатор реализуется в данный момент, тогда обозначим ее как $p(i/j)$, и индекс Шеннона биома $H'(i/j)$ определяется как

$$H'(i/j) = -\sum_{ij} p(i/j) * \log p(i/j)$$

Теперь если каждый индекс $H'(i/j)$ биома умножить на вероятность эдификатора $p(j)$ и суммировать по j , то получим индекс Шеннона по лесхозу

$$H'(ij) = -\sum_j p(j) * H(i/j) = -\sum_{ij} p(ij) * \log p(i/j)$$

Таким образом для каждого лесхоза определяется средняя величина индекса Шеннона, учитывающая разное распределение видов эдификаторов и биомов характерных для них. Для того чтобы получить индекс выравненности необходимо распределение вероятностей $p(j)$ и $H'(i/j)$ нормировать к максимально возможному значению, т. е. нормирование необходимо производить при равномерном распределении. У Мэгаррана [10] $H_{max} = \log_2 S$, где S – это число видов в ассоциации.

В первом случае все $p(j)$ равны и определяются величиной $1/m$. Во втором $H'_m(i/j) = -\sum n * \log n$. Поскольку в рассматриваемых биомах количество растений отличается, необходимо составить единый алфавит. Допустим, $1, 2, \dots, b$. В этом случае $H'_m = -\sum n * \log b$. Однако при небольших различиях длины биома ошибки малы и можно определять максимальную энтропию по первой формуле.

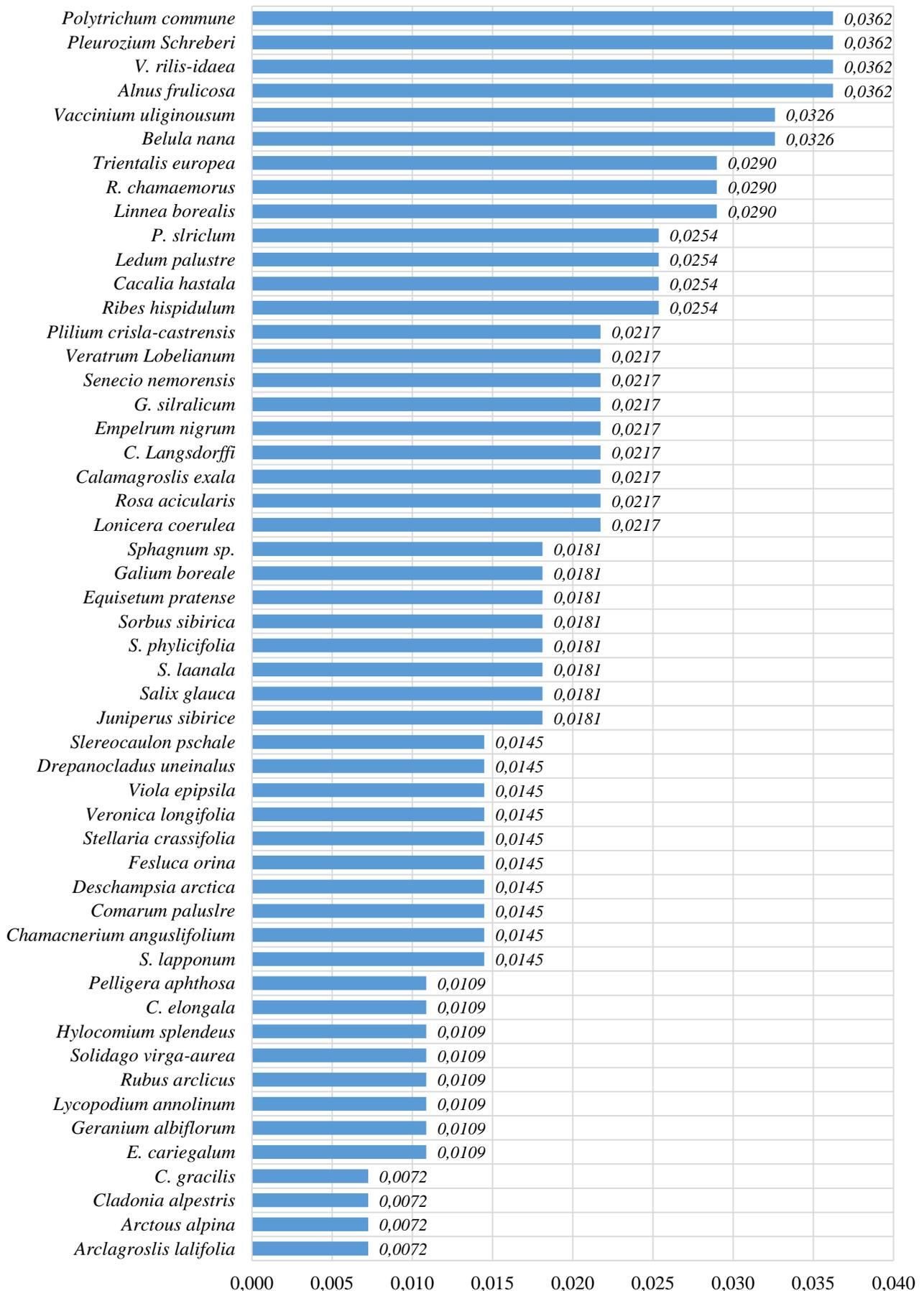


Рис. 1. Гистограмма видового распределения вероятностей для ассоциации лишайниковых лиственничников

Результаты исследований. Итак, сначала необходимо решить две задачи: определить индекса Шеннона биомов, характерных для каждого дерева-эдификатора, и оценить распределение вероятностей присутствия доминирующих деревьев-эдификаторов на территории лесхозов юга ЯНАО. После этого – определить среднюю величину индекса биоразнообразия территории ЯНАО, занятой лесом, для каждого лесхоза.

Первую задачу продемонстрируем на примере данных приведенных у Б.Н. Норина [7] по сообществам растений для лишайниковых, мохово-лишайниковых, долгомошниковых, травяно-кустарниковых лиственничников редколесья, у В.И. Валуцкого и Е.И. Лапиной [14] для сосновых, кедрово-сосновых, елово-кедровых и осино-березовых лесов. На рисунке 1 приведен пример распределения вероятностей (долей) встречаемости растений биома лиственничника как эдификатора. По этим данным подсчитан индекс Шеннона и выравненность. Подобным образом рассчитаны индексы H' и E для всех ассоциаций (биомов) принятых к рассмотрению. Результаты приведены в таблице 2. Примечательно, что для всех вариантов лиственничников результаты практически одинаковы и могут быть приняты в среднем как 0,965. Для кедрово-еловых среднее значение индекса – 0,8, для сосновых – 0,75 и для осино-березовых – 0,85. Погрешность усреднения не превышает 2–3%.

Таблица 2

Индексы биоразнообразия биомов основных деревьев эдификаторов¹

	Норин [7]				Валуцкий [14]				
	Л-трк	Л-м-лш	Л-дм	Л-лш	Е-Кд Пл-зелм	Ос-Б Тр-зелм	Кд С Бр-зелм	С-баг-зел-сф	С-кк-ос-сф
H'	5,5757	5,1944	5,2056	5,3051	4,5633	4,8437	4,5744	4,4721	3,7921
E	0,9781	0,9458	0,9535	0,9604	0,7893	0,8539	0,7949	0,7845	0,7175

Следующая по очередности задача – определить распределения вероятностей присутствия указанных выше видов деревьев-эдификаторов на территории каждого лесхоза ЯНАО: Ямальского, Надымского, Таркосалинского, Ноябрьского и Красноселькупского. Поскольку в конечном итоге нам необходимо определить усредненное значение индекса для каждого лесхоза, можно определить вероятности присутствия каждого вида дерева-эдификатора по площади земель, занятых ими в каждом лесхозе. Данные по состоянию на 1 января 2018 г. приведены на интерактивной карте «Леса России» [13]. В таблице 3(а) приведены значения вероятностей по упомянутым деревьям. Там же приведены индекс Шеннона и выравненности отдельно по древостою для каждого лесхоза. Доминирующее присутствие занимают следующие виды: лиственница, сосна, ель, кедр и береза.

Таблица 3а

Сводная таблица распределения вероятностей и соответствующих индексов Шеннона и выравненностей по основным эдификаторам по лесничествам ЯНАО (без учета эдификаторной роли)

	лесхоз				
	Ямальский	Надымский	Таркосалинский	Ноябрьский	Красноселькупский
Пихта					0,0001
Сосна	0,1606	0,2728	0,3113	0,5925	0,1894
Ель	0,2481	0,1664	0,2233	0,0246	0,0676
Лиственница	0,3673	0,4644	0,1849	0,1522	0,3217
Кедр	0,1076	0,0214	0,1791	0,1475	0,1968
Береза	0,1156	0,0748	0,1005	0,0827	0,2199
Осина	0,0003	0,0000	0,0000	0,0005	0,0034
Ива	0,0004	0,0002	0,0009	0,0000	0,0011
Индекс Шеннона (H_1)	2,1677	1,8566	2,2441	1,7024	2,2261
Выравненность I	0,7226	0,6189	0,7480	0,5675	0,7420

Исследования, проведенные ранее, например, Г.В. Крыловым [19], показывают, что не все деревья, составляющие основу лесов Западной Сибири, могут выполнять функцию эдификаторов. По его данным, в Западной Сибири эдификаторная часть рассматриваемого ареала составляет для кедра сибирского – 35%, для сосны обыкновенной – 82,6%, для лиственницы сибирской и Сукачева – 75%, пихты – 100%, осины – 55%, березы – 67%. Ель отнесена к субэдификаторам и в дальнейшем не

¹ Обилие видов (S) взято по таблице Валуцкого В. И., Лапиной Е. И. одно и максимальное для всех ассоциаций

рассматривается. Таким образом, следует скорректировать данные таблицы 3(а) и получить новые распределения и значения распределения вероятностей для видов эдификаторов. Результаты сведены в таблице 3(б).

Таблица 3б

Сводная таблица распределения вероятностей и соответствующих индексов Шеннона и выравнинностей по основным эдификаторам по лесничествам ЯНАО (с учетом эдификаторной роли)

	лесхоз				
	Ямальский	Надымский	Таркосалинский	Ноябрьский	Красноселькупский
Пихта	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
Сосна	0,1719	0,2824	0,3428	0,6654	0,2615
Ель	0,3214	0,2085	0,2977	0,0335	0,1130
Лиственница	0,3569	0,4364	0,1849	0,1552	0,4033
Кедр	0,0488	0,0097	0,0836	0,0702	0,1152
Береза	0,1003	0,0628	0,0898	0,0754	0,1021
Осина	0,0002	0,0000	0,0000	0,0003	0,0029
Ива	0,0005	0,0002	0,0012	0,0000	0,0018
Индекс Шеннона (H_1)	2,0474	1,8272	2,1236	1,5266	2,1289
Выравнинность I	0,6825	0,6091	0,7079	0,5089	0,7096

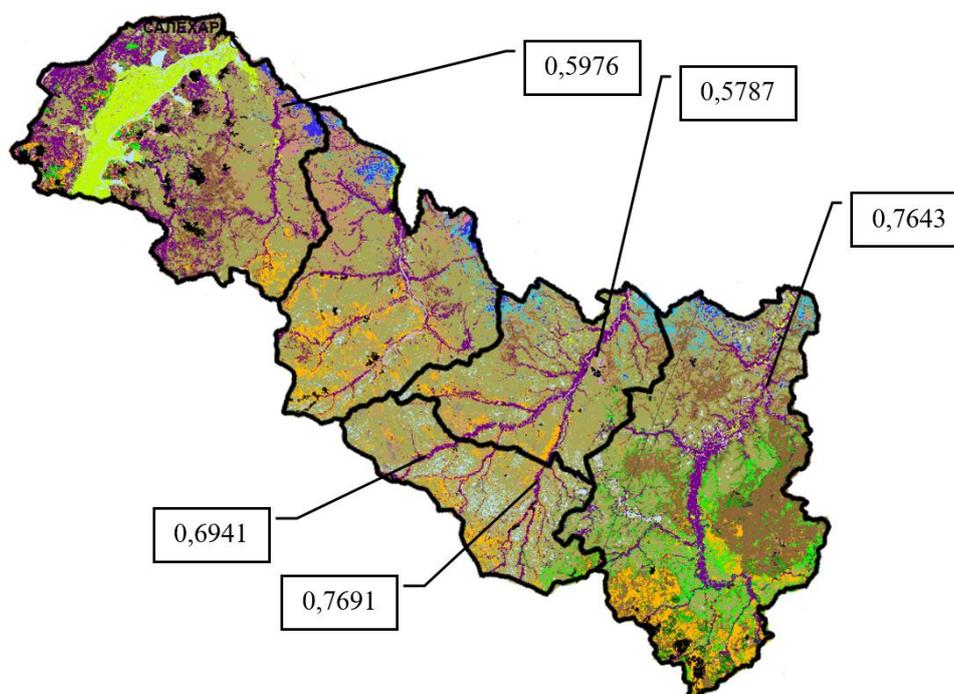


Рис. 2. Усредненная оценка индекса биоразнообразия растительных ассоциаций (выравнинности) по лесничествам ЯНАО. Составлено на основе авторских данных и (<https://clck.ru/VEsDm>)

По результатам в таблице 4 приведены итоговые усредненные значения индексов биоразнообразия для каждого лесхоза ЯНАО, а на рисунке 2 карта с их значениями.

Таблица 4

Индексы выравнинности для биомов доминирующих пород деревьев-эдификаторов по лесхозам (с учетом вероятности каждой породы)

	Ямальский лесхоз	Надымский лесхоз	Таркосалинский лесхоз	Ноябрьский лесхоз	Красноселькупский лесхоз
Сосна	0,1289	0,2118	0,2571	0,4991	0,1961
Лиственница	0,3444	0,4211	0,1784	0,1498	0,3892
Кедр	0,0390	0,0078	0,0669	0,0562	0,0922
Береза	0,0853	0,0534	0,0763	0,0641	0,0868
Индекс выравнинности усредненный	0,5976	0,6941	0,5787	0,7691	0,7643

Обсуждение. Результаты, приведенные в данной статье, дают лишь приближенную оценку значений индексов биоразнообразия по лесной части территории ЯНАО. Для более точной оценки необходимы полевые наблюдения непосредственно в указанных лесхозах и более точное описание биомов в настоящее время. В данной статье биомы оценивают по встречаемости на участках исследований. Для большей точности необходимо учесть проективное покрытие как, например, у В.И. Валуцкого [14]. Кроме того, необходимо помнить об апостериорной энтропии, т. е. о погрешности недообследованности. Тем не менее, такая методика дает возможность получить значения индексов биоразнообразия территории, занятой лесом, для того, чтобы ориентироваться в первом приближении. Кроме того, она, как на индикатор, позволяет отследить динамику изменения биоразнообразия на более обширной территории. Для определения распределения вероятностей эдификаторов предлагается использовать снимки, сделанные из космоса, и известные заранее индексы биомов, характерные для них.

Литература

1. Ветлужских Н.В. Встречаемость древесных пород в лесных фитоценозах Западной Сибири по широтному градиенту // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. №1(33). С. 6–17. <https://doi.org/10.17223/19988591/33/1>
2. Городков Б.И. Движение растительности на севере лесной зоны Западно-Сибирской низменности // Проблемы физической географии. Т. 12. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1946. С. 81–105.
3. Кривец С.А., Бисирова Л.М., Чернова Н.А., Пац Е.Н., Керчев И.А. Комплексная характеристика биологического разнообразия кедровых лесов на южном пределе их распространения в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. №2(26). С. 130–150. <https://doi.org/10.17223/19988591/26/9>
4. Быков Б.А. Проблемы эдификаторов растительного покрова // Ботанический журнал. 1966. Т. 51. №9. С. 1231–1243.
5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность. 1974. 423 с.
6. Лукина Н.В., Орлова М.А., Горнов А.В., Крышень А.М., Кузнецов П.В., Князева С.В., Смирнов В.Э. Оценка критериев устойчивого управления лесами с использованием индикаторов международной программы ICP FORESTS // Лесоведение. 2013. №5. С. 62–75.
7. Норин Б.Н. К познанию семенного и вегетативного возобновления древесных пород в лесотундре // Растительность Крайнего Севера и ее освоение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 154–244.
8. Беднова О.В. Биоразнообразие в лесных экосистемах: зачем и как его оценивать // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2003. №2. С. 143–155.
9. Левич А.П. Структура экологических сообществ. М.: МГУ 1980. 182 с.
10. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир. 1992. 181 с.
11. Исаев А.С. Мониторинг биологического разнообразия лесов России. М.: ИПЭЭ РАН. 1997. 367 с.
12. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. М.: МСОП, 1996. 144 с.
13. Носова А.М., Леонова Н.Б., Тихонова Е.В. Воздействие деревьев-эдификаторов на биологическое разнообразие // Лесоведение. 2005. №4. С. 40–48.
14. Валуцкий В.И. Лапшина Е.И. Структура растительного покрова средней тайги Обь-Иртышского междуречья (бассейна Бол. Салыма) // Геоботанические исследования в Западной и средней Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. С.120–137.
15. Холод С. С. Что отражают индексы бета (β)-разнообразия в арктических тундрах? // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. №1. С. 102–121.
16. Розенберг Г.С. Теоретический анализ связи между площадью описания и числом встреченных видов // Биологические науки. 1989. №11. С. 76–83.
17. Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию. Тольятти. 2013. Т.1. 565 с.
18. Ильина И.С. Лапшина Е.И. Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985.
19. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: Омская картографическая фабрика. 2004. 304 с.
20. Быков Б.А. О составлении флоры эдификаторов // Ботанический журнал. 1954. Т. 39. №4. С. 549–558.
21. Лавренко Е.М. Об изучении эдификаторов растительного покрова // Советская ботаника. 1947. Т. 15. №1 С. 5–16.
22. Лесков А.И. Фитоценологический очерк редколесий бассейна р. Полуй // Труды Института ботаники АН СССР. 1938. Т. 3. №4. С. 253–276.

References

1. Vetluzhskikh, N.V. (2016). Occurrence of tree species in forest phytocenoses of West Siberia along a latitudinal gradient. *Tomsk State University Journal of Biology*, (1(33)). 6–17. (in Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988591/33/1>

2. Gorodkov, B.I. (1946). Dvizhenie rastitel'nosti na severe lesnoi zony Zapadno-Sibirskoi nizmennosti. In *Problemy fizicheskoi geografii, 12. Moscow, Leningrad*. 81-105. (in Russ.).
3. Krivets, S.A., Bisirova, L.M., Chernova, N.A., Pats, E.N., & Kerchev, I.A. (2014). A complex description of Siberian stone pine forests biodiversity at the southern border of their outreach in West Siberia (Russia). *Bulletin of the Tomsk State University. Biology*, 2(26). 130-150. (in Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988591/26/9>
4. Bykov, B.A. (1966). Problemy edifikatorov rastitel'nogo pokrova. *Botanicheskii zhurnal*, 51(9). 1231–1243.
5. Lir, Kh., Pol'ster, G., & Fidler, G.-I. (1974). *Fiziologiya drevesnykh rastenii*. Moscow. (in Russ.).
6. Lukina, N.V., Orlova, M.A., Gornov, A.V., Kryshen', A.M., Kuznetsov, P.V., Knyazeva, S.V., & Smirnov, V.E. (2013). Otsenka kriteriev ustoichivogo upravleniya lesami s ispol'zovaniem indikatorov mezhdunarodnoi programmy ICP FORESTS. *Lesovedenie*, (5). 62–75. (in Russ.).
7. Norin, B.N. (1958). K poznaniyu semennogo i vegetativnogo vozobnovleniya drevesnykh porod v lesotundre. In *Ras-titel'nost' Krainego Severa I ee osvoenie. Moscow, Leningrad*, 154–244.
8. Bednova, O.V. (2003). Biodiversity of forest ecosystems: why and how to assess it. *Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*, (2). 143-155. (in Russ.).
9. Levich, A.P. (1980). *Struktura ekologicheskikh soobshchestv*. Moscow. (in Russ.).
10. Megarran, E. (1992). *Ekologicheskoe raznoobrazie I ego izmerenie*. Moscow. (in Russ.).
11. Isaev, A.S. (1997). *Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii*. Moscow. (in Russ.).
12. *Atlas biologicheskogo raznoobraziya lesov Evropeiskoi Rossii I sopredel'nykh territorii* (1996). Moscow. (in Russ.).
13. Nosova, A.M., Leonova, N.B., & Tikhonova, E.V. (2005). *Vozdeistvie derev'ev-edifikatorov na biologicheskoe raznoobrazie. Lesovedenie*, (4). 40–48. (in Russ.).
14. Valutskii, V.I. & Lapshina, E.I. (1987). *Struktura rastitel'nogo pokrova srednei 39rete Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya (basseina Bol. Salyma)*. In *Geobotanicheskie issledovaniya v Zapadnoi I srednei Sibiri*, Novosibirsk, 120-137. (in Russ.).
15. Kholod, S.S. (2014). Chto otrazhayut indeksy beta (β)-raznoobraziya v arkticheskikh tundrakh? *Botanicheskii zhurnal*, 99(1). 102-121. (in Russ.).
16. Rozenberg, G.S. (1989). Teoreticheskii analiz svyazi mezhdu ploshchad'yu opisaniya i chislom vstrechennykh vidov. *Biologicheskije nauki*, (11). 76-83. (in Russ.).
17. Rozenberg, G.S. (2013). *Vvedenie v teoreticheskuyu ekologiyu. Tol'yatti*, 1. (in Russ.).
18. Il'ina, I.S., Lapshina, E.I. & Lavrenko, N.N. (1985). *Rastitel'nyi pokrov Zapadno-Sibirskoi ravniny. Novosibirsk*. (in Russ.).
19. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* (2004). Omsk. (in Russ.).
20. Bykov, B.A. (1954). O sostavlenii flory edifikatorov. *Botanicheskii zhurnal*, 39(4). 549-558. (in Russ.).
21. Lavrenko, E.M. (1947). Ob izuchenii edifikatorov rastitel'nogo pokrova. *Sovetskaya botanika*, 15(1). 5-16.
22. Leskov, A.I. (1938). *Fitotsenologicheskii ocherk redkolesii basseina r. Polui. Trudy Instituta botaniki AN SSSR*, 3(4). 253-276. (in Russ.).

Цибульский В.Р., Арефьев С.П., Новиков В.П., Соловьев И.Г., Говорков Д.А. Определение индекса биоразнообразия шеннона растительных сообществ, образованных деревьями-эдификаторами на примере лесов севера Западной Сибири // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2021. № 2(54). С. 32-39. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04>

Tsibulsky, V.R., Arefev, S.P., Novikov, V.P., Solovyev, I.G. & Govorkov, D.A. (2021). Determination of the Shannon Biodiversity Index of Plant Communities Formed by Edificatory trees using the Example of Forests in the North of Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. (2(54)). 32-39. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/04>

дата поступления: 19.10.2020

дата принятия: 25.12.2021