



Биоразнообразие



Индексы для оценки альфа-разнообразия

Индексы видового богатства

1. Видовая плотность.
2. Нумерическое видовое богатство.
3. Индекс видового богатства Маргалефа.
4. Индекс видового богатства Менхиника.

ВИДОВАЯ ПЛОТНОСТЬ

Это наиболее популярный индекс видового богатства, описывающий число видов на единицу территории (существенно реже – объёма).

Например:

- число видов на квадратном метре,
- число видов на квадратном километре,
- число видов на гектар и т.д.

Задание 24

Определите видовую плотность по выданным Вам данным, считая, что заложенные площадки были квадратными со стороной 20 м.

Результат выразите в величинах:

- 1) число видов на площадке;
- 2) число видов на 100 м^2 .

Нумерическое видовое богатство

Относительно нечасто распространённый индекс, выражающий число видов на определённый размер выборки.

Например:

- число видов на 100 особей,
- число видов на 1000 особей и т.д.

Задание 25

Определите нумерическое видовое богатство по выданным Вам данным, считая (условно!) баллы за особи.

Приведите результаты к виду:

- 1) число видов на 100 особей;
- 2) число видов на 1000 особей.

Индекс Маргалефа

$$I_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} [22],$$

где:

S – общее число всех выявленных видов;

N – общее число всех найденных особей.

При этом разнообразие тем больше, чем больше значение индекса.

Индекс Менхиника

$$I_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}} [23],$$

где:

S – общее число всех выявленных видов;

N – общее число всех найденных особей.

Как и в предыдущем случае, разнообразие тем больше, чем больше значение индекса.

Задание 26

Рассчитайте индексы Маргалефа и Менхеника для выданных Вам данных.

Сравните получившиеся результаты между собой и сделайте вывод.

Индексы видового богатства для техногенной площадки Усинского месторождения нефти

Название индекса	Значение индекса
Видовая плотность, видов на 100 кв. м	39
Нумерическое видовое богатство, видов на 100 особей	17,99
Индекс Маргалефа	7,07
Индекс Менхиника	2,65

Меры доминирования, или разнообразия

Важнейшие меры доминирования (разнообразия):

1. Индекс Симпсона.
2. Мера разнообразия Макинтоша (включая производные меру доминирования и меру выравненности).
3. Индекс Бергера – Паркера.

Индекс Симпсона

$$D_S = \sum_{i=1}^S p_i^2 [36],$$

где:

S – число видов в выборке;

p_i – доля i -го вида.

$$D_S = \sum_{i=1}^S \frac{n_i \times (n_i - 1)}{N \times (N - 1)} [37],$$

где:

n_i – число особей i -го вида;

N – общее число особей.

Индекс Симпсона

Чем выше значение D_S , тем ниже разнообразие в выборке, поэтому обычно индекс используют в форме

$$\frac{1}{D_S}$$

или

$$1 - D_S.$$

$$N=218$$

$$S=39$$

$$D_S = \sum_{i=1}^{39} \frac{30 \times (30 - 1)}{218 \times (218 - 1)} + \frac{24 \times (24 - 1)}{218 \times (218 - 1)} +$$

$$+ \frac{16 \times (16 - 1)}{218 \times (218 - 1)} + \dots + \frac{1 \times (1 - 1)}{218 \times (218 - 1)} =$$

$$= 0,05$$

$$\frac{1}{D_S} = 18,49$$

$$1 - D_S = 0,96$$

Задание 27

По выданным Вам данным рассчитайте индекс Симпсона, отразите его в виде $\frac{1}{D_S}$ и $1 - D_S$ и сравните их между собой, обсудив получившиеся различия.

Мера разнообразия Макинтоша

Индекс Макинтоша рассчитывается по формуле:

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^S n_i^2} [38],$$

где:

S – число видов в выборке;

n_i – число особей i -го вида.

При этом сам данный индекс мерой разнообразия не является.

Мера разнообразия Макинтоша

Мера доминирования Макинтоша рассчитывается по формуле:

$$D_m = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}} [39],$$

где N – общее число особей.

Мера выравненности считается по формуле:

$$E = \frac{N - U}{N - \frac{N}{\sqrt{S}}} [40],$$

где S – общее число видов.

Задание 28

По выданным Вам данным рассчитайте индекс Макинтоша, меру доминирования Макинтоша и меру выравненности этого индекса.

Сравните полученные значения на разных площадках и сделайте вывод.

Индекс Бергера – Паркера

$$d = \frac{N_{max}}{N} [41],$$

где:

N_{max} – обилие самого обильного вида;

N – общее число особей.

При этом выравненность тем ниже, чем больше значение индекса, поэтому при её оценке обычно используют вид индекса

$$\frac{1}{d}.$$

Задание 29

По выданным Вам данным рассчитайте индекс Бергера – Паркера; приведите его в вид $\frac{1}{d}$.

Сравните полученные значения между собой и сделайте вывод.

Меры доминирования для техногенной площадки Усинского месторождения нефти

Меры доминирования и их производные					
Индекс Симпсона					
D_S	0,05	$\frac{1}{D_S}$	18,5	$1 - D_S$	0,96
Индекс Макинтоша (U)					52,69
Мера доминирования Макинтоша (D_m)					0,81
Мера выравнинности индекса Макинтоша (E)					0,90
Индекс Бергера – Паркера					
d	0,14	$\frac{1}{d}$	7,3		

Q-СТАТИСТИКА

Этот индекс предложен в работах R.A. Kempton'а и L.R. Taylor'а (1976, 1978) и представляет собой меру квартильного наклона кумулятивной кривой видового обилия.

При этом, чем наклон больше, тем выше разнообразие сообщества.

Kempton R.A., Taylor L.R. (1976). Models and statistics for species diversity. *Nature*. Vol. 262. pp. 818–820.

Kempton R.A., Taylor L.R. (1978). The Q-statistics and the diversity of flowers. *Nature*. Vol. 275. pp. 252–253.

Q-СТАТИСТИКА

$$Q = \frac{\frac{1}{2}n_{R1} + \sum_{r=R1+1}^{R2-1} n_r + \frac{1}{2}n_{R2}}{\ln(\frac{R2}{R1})} [42],$$

где:

n_r – общее число видов с обилием r ;

$\sum_{r=R1+1}^{R2-1} n_r$ – общее число видов между квантилями;

$R1$ – число особей в квантиле 25% (нижнем квантиле);

$R2$ – число особей в квантиле 75% (верхнем квантиле);

$\frac{1}{2}n_{R1}$ – половина числа видов в классе, на который приходится квантиль 25%;

$\frac{1}{2}n_{R2}$ – половина числа видов в классе, на который приходится квантиль 75%.

$S=39$

Число особей	Число видов	Накопленное число видов	Квартиль
1	7	7	
2	11	18	нижний (25%)
3	1	19	
4	6	25	
5	2	27	
6	1	28	
7	4	32	верхний (75%)
8	1	33	
11	1	34	
14	1	35	
15	1	36	
16	1	37	
24	1	38	
30	1	39	

Квартиль 25% = $39 \times 0,25 = 9,75$

Квартиль 75% = $39 \times 0,75 = 29,25$

$$Q = \frac{5,5+10+2}{\ln(\frac{7}{2})} = 13,97$$

Задание 30

По выданным Вам данным рассчитайте значение Q -индекса, используя натуральный, десятичный логарифмы и логарифм по основанию 2. Сравните полученные значения по разным площадкам и сделайте вывод.

Информационно-статистические индексы

1. Индекс Шеннона.
2. Мера выравнимости индекса Шеннона.
3. Индекс Бриллюэна.
4. Мера выравнимости индекса Бриллюэна.

Индекс Шеннона

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i \quad [24],$$

где:

S – общее число видов;

p_i – доля особей i -го вида.

Обычно $H' \in [1,5; 3,5]$, причём чем он больше, тем разнообразнее сообщество.

Истинная доля особей для любого вида на практике неизвестна, поэтому используется показатель $\frac{n_i}{N}$,

где:

n_i – число особей i -го вида;

N – общее число особей.

Индекс Шеннона

Таким образом, индекс можно считать по формуле:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N} \quad [25].$$

При этом более точной является следующая формула:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \ln p_i - \frac{S-1}{N} + \frac{1 - \sum p_i^{-1}}{12N^2} + \frac{\sum (p_i^{-1} - p_i^{-2})}{12N^3} \quad [26],$$

но на практике эта ошибка редко бывает значимой.

11,1
6,7
2,2
2,2
2,2
3,7
8,2
1,5
15
1,5
4,4
2,2
7,4
4,4
0,7
3,7
14,1
2,2
5,2
0,7
2,2
0,7
3
4,4
29,6
0,7
7,4
0,7
1,5
1,5
0,7
16,3
5,9
24,4
5,2
3,7
2,2
6,7
0,7

$$\begin{aligned}
 H' = & - \sum_{i=1}^{39} \frac{11,1}{216,8} \times \ln \frac{11,1}{216,8} + \frac{6,7}{216,8} \times \ln \frac{6,7}{216,8} + \\
 & \frac{2,2}{216,8} \times \ln \frac{2,2}{216,8} + \frac{2,2}{216,8} \times \ln \frac{2,2}{216,8} + \frac{2,2}{216,8} \times \ln \frac{2,2}{216,8} \\
 & \dots \\
 & \frac{2,2}{216,8} \times \ln \frac{2,2}{216,8} + \frac{6,7}{216,8} \times \ln \frac{6,7}{216,8} + \frac{0,7}{216,8} \times \ln \frac{0,7}{216,8} = \\
 & = 3,17
 \end{aligned}$$

$$H' = 3,17$$

Задание 31

По выданным Вам данным рассчитайте индекс Шеннона в трёх вариантах:

- 1) по основанию e ;
- 2) по основанию 2;
- 3) по основанию 10.

Укажите, каковы различия между получившимися значениями на каждой площадке.

Индекс Шеннона

Проверка значимых различий между выборками проводится по формуле:

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^{\frac{1}{2}}} [27],$$

где

$\text{Var } H'$ – дисперсия индекса Шеннона.

$$\text{Var } H' = \frac{\sum p_i \times (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \times \ln p_i)^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2} [28].$$

Индекс Шеннона

Упрощённая формула для расчёта дисперсии:

$$\text{Var } H' = \frac{\sum \frac{n_i}{N} \times (\ln \frac{n_i}{N})^2 - (\sum \frac{n_i}{N} \times \ln \frac{n_i}{N})^2}{N} + \frac{S - 1}{2N^2} [29].$$

Индекс Шеннона

Число степеней свободы рассчитывают по формуле:

$$df = \frac{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^2}{\frac{(\text{Var } H'_1)^2}{N_1} + \frac{(\text{Var } H'_2)^2}{N_2}} [30].$$

Таблица стандартных значений t -критерия

Число степеней свободы df	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,000157	0,000628	0,0393	0,0158	0,0642	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635
2	0,0201	0,0404	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,542	7,813	9,837	11,341
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,195	3,357	4,878	5,969	7,779	9,488	11,668	13,277
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	3,000	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	3,828	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	5,527	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	6,393	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	7,267	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	8,148	10,341	12,899	14,631	17,275	18,675	22,618	24,725
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	9,034	11,340	14,011	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	9,926	12,340	15,119	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	10,821	13,339	16,222	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	11,721	14,339	17,322	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	12,624	15,338	18,418	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	13,531	16,338	19,511	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	14,440	17,338	20,601	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	15,352	18,338	21,689	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191
20	8,260	9,237	10,851	12,443	14,578	16,266	19,337	22,775	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	17,182	20,337	23,858	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932
22	9,542	10,600	12,338	14,041	16,314	18,101	21,337	24,939	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	19,021	22,337	26,018	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	19,943	23,337	27,096	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	20,867	24,337	28,172	30,675	34,337	37,652	41,566	44,314
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	21,792	25,336	29,246	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	22,719	26,336	30,319	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	23,647	27,336	31,391	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	24,577	28,336	32,461	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	25,508	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892

Задание 32

Сравните рассчитанные Вами индексы Шеннона для двух площадок и сделайте вывод.

Рассчитайте, насколько достоверны получившиеся различия.

Не забывайте сравнения проводить попарно, беря значения, полученные по одинаковым основаниям логарифмов.

Мера выравненности индекса Шеннона

Максимальная величина индекса Шеннона соответствует равному обилию всех видов ($H' = H_{max} = \ln S$), поэтому меру выравненности рассчитывают как

$$E = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S} [31].$$

$E \in [0;1]$, причём чем ближе значение к единице, тем более выравнено обилие.

Задание 33

Рассчитайте меру выравнинности индекса Шеннона для Вашего случая (для каждого значения индекса) и оцените выравнинность обилия на каждой Вашей площадке.

Обратите внимание на правильное использование основания логарифма в каждом случае.

Индекс Шеннона и его производные для техногенной площадки Усинского месторождения нефти

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Индекс Шеннона ($\ln$)	3,17	Дисперсия	0,004364
Индекс Шеннона ($\log_2$)	4,58	Дисперсия	0,008646
Индекс Шеннона ($\log_{10}$)	1,38	Дисперсия	0,001151
Мера выравнинности индекса Шеннона			0,87

Индекс Бриллюэна

$$HB = \frac{\ln N! - \sum (\ln n_i!)}{N} [32].$$

Этот индекс следует использовать в случае «неслучайных» выборок, то есть выборок, которые явно не включают всё многообразие площадки.

1	29,6	30
2	24,4	24
3	16,3	16
4	15	15
5	14,1	14
6	11,1	11
7	8,2	8
8	7,4	7
9	7,4	7
10	6,7	7
11	6,7	7
12	5,9	6
13	5,2	5
14	5,2	5
15	4,4	4
16	4,4	4
17	4,4	4
18	3,7	4
19	3,7	4
20	3,7	4
21	3	3
22	2,2	2
23	2,2	2
24	2,2	2
25	2,2	2
26	2,2	2
27	2,2	2
28	2,2	2
29	1,5	2
30	1,5	2
31	1,5	2
32	1,5	2
33	0,7	1
34	0,7	1
35	0,7	1
36	0,7	1
37	0,7	1
38	0,7	1
39	0,7	1

30	24	16	15	14	11	8	7	6	5	4	3	2	1
29	23	15	14	13	10	7	6	5	4	3	2	1	
28	22	14	13	12	9	6	5	4	3	2	1		
27	21	13	12	11	8	5	4	3	2	1			
26	20	12	11	10	7	4	3	2	1				
25	19	11	10	9	6	3	2	1					
24	18	10	9	8	5	2	1						
23	17	9	8	7	4	1							
22	16	8	7	6	3								
21	15	7	6	5	2								
20	14	6	5	4	1								
19	13	5	4	3									
18	12	4	3	2									
17	11	3	2	1									
16	10	2	1										
15	9	1											
14	8												
13	7												
12	6												
11	5												
10	4												
9	3												
8	2												
7	1												
6													
5													
4													
3													
2													
1													

2,65253E+32 6,20448E+23 2,09228E+13 1,30767E+12 87178291200 39916800 40320 5040 720 120 24 6 2 1

ранг	обилие	факториал обилия	натуральный логарифм факториала обилия
1	30	2,65253E+32	74,65824
2	24	6,20448E+23	54,78473
3	16	2,09228E+13	30,67186
4	15	1,30767E+12	27,89927
5	14	87178291200	25,19122
6	11	39916800	17,50231
7	8	40320	10,6046
8	7	5040	8,525161
9	7	5040	8,525161
10	7	5040	8,525161
11	7	5040	8,525161
12	6	720	6,579251
13	5	120	4,787492
14	5	120	4,787492
15	4	24	3,178054
16	4	24	3,178054
17	4	24	3,178054
18	4	24	3,178054
19	4	24	3,178054
20	4	24	3,178054
21	3	6	1,791759
22	2	2	0,693147
23	2	2	0,693147
24	2	2	0,693147
25	2	2	0,693147
26	2	2	0,693147
27	2	2	0,693147
28	2	2	0,693147
29	2	2	0,693147
30	2	2	0,693147
31	2	2	0,693147
32	2	2	0,693147
33	1	1	0
34	1	1	0
35	1	1	0
36	1	1	0
37	1	1	0
38	1	1	0
39	1	1	0

$$\sum(\ln n_i!) = 320,0518$$

$$N = 218$$

$$N! = 474026636761029775300387$$

$$269637885788095262156817399$$

$$066370617417211711849855339$$

$$320439555116187613346398029$$

$$588666682187541512982673977$$

$$624958479903896285192317905$$

$$194305948729000291610119288$$

$$614158064992350939341542922$$

$$260450295429029866029684735$$

$$423934482000512012373371714$$

$$687797391831850026682680610$$

$$229339536077759026539436134$$

$$194974261725583681683758619$$

$$1915103137929625600000000000$$

$$0000000000000000000000000000$$

$$0000000000000000$$

$$\ln N! = ?$$

Задание 34

Рассчитайте для своих площадок индексы Бриллюэна, приняв баллы за отдельные особи.

Сравните индексы между собой и сделайте вывод.

Мера выровненности индекса Бриллюэна

$$E = -\frac{HB}{HB_{max}} [33], \text{ где}$$

$$HB_{max} = \frac{1}{N} \times \ln \frac{N!}{\left(\left[\frac{N}{S}\right]!\right)^{S-r} \times \left(\left(\left[\frac{N}{S}\right] + 1\right)!\right)^r} [34],$$

где:

$\left[\frac{N}{S}\right]$ – целая часть отношения $\frac{N}{S}$;

r – рассчитывается по формуле:

$$r = N - S \times \left[\frac{N}{S}\right] [35].$$

Задание 35

Рассчитайте для выбранных ранее параметров меру выравнимости вычисленных Вами индексов Бриллюэна и сделайте вывод.