

О КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНСКОГО РЕГИОНА)

А.А.Коновалов, гл.научный.сотрудник

Институт проблем освоения Севера СО РАН, Тюмень, а/я 2774, Konov7@rambler.ru

Введение. Структура биоты, как известно, характеризуется двумя параметрами – богатством, под которым понимается общее количество особей или их масса, и разнообразием, выражаемым через различные соотношения между численностью или массой (продукцией) разных видов –индексами Шеннона (мера энтропии), Симпсона (меру дисперсии) и др. Чем больше индекс Шеннона, тем разнообразней биота. Увеличение индекса Симпсона соответствует росту доминирования [4]. Надо сказать, что биотическое разнообразие - количество различных видов, родов, семейств и т.д. реально определяется только непосредственным подсчетом (полевыми методами). Все используемые индексы разнообразия, а их множество [4], рассчитываются по собранному полевому материалу и представляют в основном теоретический интерес, как инструментарий для выявления общих закономерностей развития биосистем. Кроме того, ни один из известных индексов разнообразия не отражает влияние климата, определяющего тепло- и влагообеспеченность почвы и являющегося главным фактором членения биоты, ее разнообразия. Он позволяет, как показано ниже, определять, хотя бы приближенно, структуру биоты только по данным о климате.

Статья посвящена исследованию климатической зависимости структуры и распределения биоты Западно-Сибирской равнины (ЗСР) в пределах Тюменской и Омской обл. Задача исследования заключалась в установлении количественных закономерностей связи численности таксонов непосредственно с климатическими показателями и их распределения по географическим зонам и уровням ранжирования. Используемые климатические показатели взяты по данным метеостанций Тюменской и Омской обл. [11]

Объекты исследования - количества таксонов N вводились в расчет в логарифмической форме $W = \ln N$, сглаживающей скачкообразный вид функций и облегчающий установление взаимоотношений между системами или их отдельными элементами.

Формулы географической и иерархической зависимости численности таксонов и их достоверности R^2 определялись по стандартной компьютерной программе Excel.

Основные климатические показатели, определяющие структуру и распределение биоты. Это - индекс сухости $J = B/qU$ (здесь B - годовой радиационный баланс, $\text{ккал}/\text{см}^2$; $q = 0,6 \text{ ккал}/\text{см}^2$ – теплота испарения; U - годовая сумма осадков, см.) [2], отражающий соотношение между поступающими в почву теплом и влагой, и индекс тепла – сумма положительных температур воздуха Σ_0 (градусосутки, сокращенно - гс), регулирующий поступление тепла. Анализ данных метеостанций показывает, что оба параметра связаны между собой – **рис.1.**

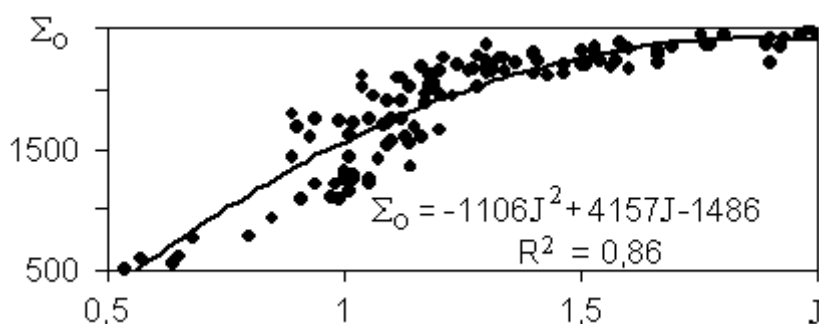


Рис.1. Взаимосвязь индексов тепла Σ_0 и сухости J (R^2 – достоверность аппроксимации графика).

В зависимости от величины J фитосферу можно разделить на северную (холодную, влажную) и южную (теплую, сухую). Граница между ними проходит, примерно, по изолинии $J \approx 1$, точнее лежит в области $J \approx 0,95 \dots 1,2$, где поступления тепла и влаги находятся в равновесии и наблюдаются оптимальные условия существования биоты. Условия тепло- и влагообмена в северной и южной фитосферах, характеризуемые величиной J обратно (логарифмически) симметричны. Например, область устойчивого существования растительности ограничена на севере изолиниями $J = J_c \approx 0,2 \dots 0,33$ (северная тундра), на юге $J = J_{ю} \approx 5 \dots 3$ (южная полупустыня) [2], откуда $J_c \approx 1/J_{ю}$ или $\ln J_c \approx \ln(1/J_{ю}) \approx -\ln(J_{ю})$.

Примерно симметричны и другие показатели, связанные с цикличностью климата и выраженные в форме зависимости от J , в частности, годовые суммы осадков, групповые палиноспектры, масса и продукция растительности [7, 9, 10]. Кривые этих зависимостей имеют куполообразную форму, пик которых приходится на $J = 0,95 \dots 1,2$ (близко к $J \approx 1$). Для примера на **рис.2** показана зависимость годовой суммы осадков U (см) и годовой продукции растительного покрова (фитопродукции) P_r (т/га·год) от J . В северной фитосфере чем выше Σ_0 , тем больше количество природных зон, начиная с тундры, через климатические условия которых проходит данное место в течение лета и, соответственно, тем обильнее и разнообразнее его биота.

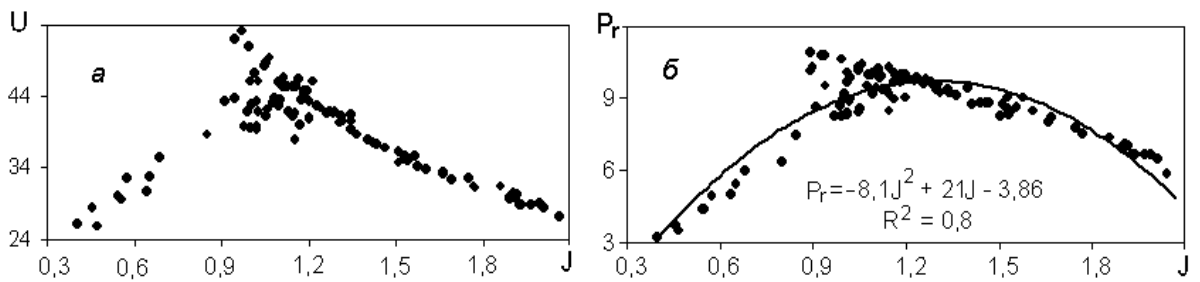


Рис.2 Связь U (а) и Pr (б) от J

В южной - увеличение Σ_0 соответствует уменьшению поступления влаги, в результате чего биота деградирует, уменьшается ее обилие и разнообразие. Индекс тепла $-\Sigma_0$ отвечает также за фазовые переходы почвенной влаги. Мерзлый грунт на подошве оттаивающего летом слоя играет роль водоупора, обеспечивающего запас воды, необходимый для запуска и поддержания процесса вегетации растений. Отметим, что область оптимума биоты $J \approx 0,95 \dots 1,2$, примерно совпадает с границей многолетней и сезонной мерзлоты.

Тепловые индексы. В климатических справочниках, помимо Σ_0 , даются величины сумм температур выше 5, 10 и 15°C ($\Sigma_5 \dots \Sigma_{15}$). Все они связаны с Σ_0 – рис.3.

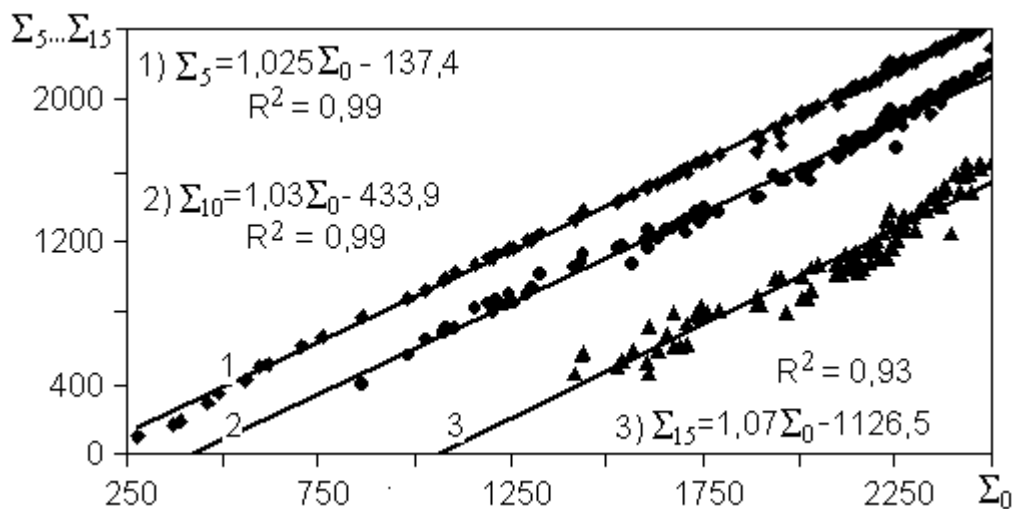


Рис.3. Зависимость 1) Σ_5 , 2) Σ_{10} и 3) Σ_{15} от Σ_0 , гс.

Можно выделить четыре температурных участка с разными условиями вегетации 1) 0-5; 2) 5-10; 3) 10-15 и 4) $> 15^\circ\text{C}$ и соответствующие им группы растительности. В первую и вторую группы входят холодостойкие растения, в третью и четвертую – теплолюбивые. Распределим индекс тепла - Σ_0 по этим группам. Возьмем, например Тобольск, где $\Sigma_0 = 2183$, $\Sigma_5 = 2093$, $\Sigma_{10} = 1793$, $\Sigma_{15} = 1191$. Отнимая $\Sigma_5 = 2093$ от $\Sigma_0 = 2183$, получаем количество условного тепла на первом участке $\Sigma_{0-5} = 90$ гс; аналогично находим количество тепла на втором $\Sigma_{5-10} = \Sigma_5 - \Sigma_{10} = 300$ гс и третьем $\Sigma_{10-15} = 602$ гс

участках. На четвертый участок остается: $\Sigma_{>15} = 2183 - (90 + 300 + 602) = 1191$ гс. Доля (η) от величины Σ_0 на каждом из участков составляет: $90/2183=0,04$; $299/2183=0,14$; $0,28$ и $0,54$. Эти долевые (групповые) тепловые индексы можно использовать для оценки богатства и разнообразия биоты по климатическим показателям и выявления количества холодостойких и теплолюбивых видов. Долевые индексы тепла η постоянны для данного географического места (района), независимо от того, величина какого компонента биоты определяется.

Порядок индексирования биоты по тепловому (климатическому) признаку проиллюстрируем на примере продукции Pr и биомассы Bm . Ранее [6, 7] установлена зависимость Pr от J и Σ_0 . График зависимости Pr от J . дан выше на рис.2, а Pr от Σ_0 - на **рис. 4**. Он также имеет куполообразную, симметричную форму. Максимум $Pr \approx 11,5$ т/(га год), соответствует $\Sigma_0 \approx 1700$ гс. При дальнейшем росте Σ_0 величина Pr уменьшается. Это означает, что функция Pr от Σ_0 косвенно учитывает и условия увлажнения, поскольку при увеличении Σ_0 годовая продукция растений может убывать только из-за недостатка влажности.

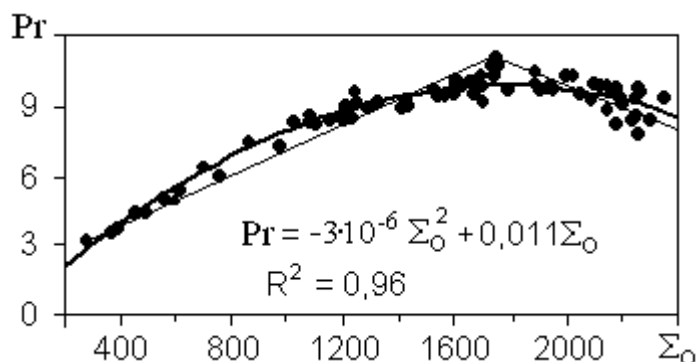


Рис. 4. Зависимость Pr от Σ_0 .

Тонкой линией на графике рис.4 показана линейная аппроксимация зависимости Pr от Σ_0 . При $\Sigma_0 \leq 1700$ гс она имеет вид: $Pr=0,006\Sigma_0$. При $\Sigma_0 > 1700$ гс распределение Pr по Σ_0 симметрично первой области, а вид формулы аналогичный, но вместо Σ_0 подставляется $\Sigma_0' = 3600 - \Sigma_0$. Достоверность линейной аппроксимации ($R^2 = 0,74$) меньше квадратичной, но также приемлема для ориентировочных расчетов. В то же время она устанавливает простую формулу зависимости продукции на всех 4-х температурных участках Pr_{1-4} от долевого содержания условного тепла η_{1-4} :

$$Pr_{1-4} = Pr \cdot \eta_{1-4} \quad (1)$$

В частности в Тобольске, где (см. пример выше) $\sum_0=2183$ гс; $Pr = 9,3$ т/га·год (по графику на рис.4), а $\eta_1=0,04$; $\eta_2=0,14$; $\eta_3=0,28$; $\eta_4= 0,54$; величины Pr_{1-4} , рассчитанные по формуле (1) соответственно равны $0,36$; $1,3$; $2,6$; 5 (т/га·год).

Аналогично рассчитанное распределение $Pr_1 \dots Pr_4$ для 5 пунктов Тюменской и Омской обл., расположенных в разных природных зонах, от тундры до степи: 1) Тамбей, 2) Салехард, 3) Нумто, 4) Сургут, 5) Омск представлено в табл.1.

Таблица 1

Расчет $Pr_1 \dots Pr_4$

| № | \sum_0 | Pr | \sum_{0-5} | η_1 | Pr_1 | \sum_{5-10} | η_2 | Pr_2 | \sum_{10-15} | η_3 | Pr_3 | $\sum_{>15}$ | η_4 | Pr_4 |
|---|----------|------|--------------|----------|--------|---------------|----------|--------|----------------|----------|--------|--------------|----------|--------|
| 1 | 493 | 4,7 | 149 | 0,3 | 1,4 | 344 | 0,7 | 3,3 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 1204 | 8,9 | 90 | 0,08 | 0,7 | 291 | 0,24 | 2,1 | 823 | 0,68 | 6,1 | - | - | - |
| 3 | 1414 | 9,6 | 85 | 0,06 | 0,58 | 274 | 0,19 | 1,8 | 597 | 0,42 | 4 | 458 | 0,32 | 3,1 |
| 4 | 1734 | 10,1 | 90 | 0,05 | 0,51 | 283 | 0,16 | 1,6 | 570 | 0,33 | 3,3 | 791 | 0,46 | 4,6 |
| 5 | 2445 | 8,96 | 69 | 0,03 | 0,27 | 261 | 0,11 | 1 | 631 | 0,26 | 2,3 | 1485 | 0,61 | 5,4 |

Табл.1 показывает, что вся растительная продукция Pr сначала увеличивается к югу, достигая максимума на широте Сургута, где J близка к 1. Затем с повышением сухости климата уменьшается. Продукция 1-й, 2-й, а также и 3-й группы планомерно убывает к югу. Теплолюбивые растения 4-й группы впервые появляются примерно с широты Нумто (северная тайга), далее к югу их продукция увеличивается.

Формула вида (1), строго говоря, справедлива только для значений сумм температур, меньших 1700 гс. Проведенные расчеты (см. табл.1) показали, что это условие всегда выполняется – максимальное из всех значений распределенного по 4-м группам условного тепла $\sum_{>15} = 1485$ гс наблюдается в степной зоне (Омск), везде северней она меньше.

Рассматриваемый регион занимает полярный, бореальный и суббореальный термические пояса; последний разделен на гумидную, семиаридную и аридную области [1, 2]. В табл. 2 показано распределение индекса сухости и тепла, а также средние значения продукции Pr (т/га·год) и биомассы Vm (т/га) в термических поясах и областях (гумидной и семиаридной) в Тюменской и Омской обл.

Значения J в табл.2 взяты из [2], Pr и Vm из [1]. Несмотря на небольшое количество данных, табл.2 отчетливо показывает ту же закономерность изменения Vm , что и Pr – постепенное увеличение в северной фитосфере (где $J < 1$), вмещающей полярный и

бореальный пояса, а также гумидную область, и убыль в южной, совпадающей с семиаридной областью (степью) суббореального пояса. Кроме того, прослеживается, по крайней мере в северной фитосфере, линейная связь Pr и Bm в виде:

$$Bm = 27,3 Pr, \quad (2)$$

где 27,3 – поправочный коэффициент с размерностью год, имеющий смысл длительности фитоцикла – периода полного обновления растительного покрова [7].

Таблица 2

Индекс сухости J , продукция Pr (т/га·год) и биомассы Bm (т/га)

| Термические пояса | J | Pr | Bm |
|-------------------|-----------|------|-------|
| Полярный | 0,2...0,7 | 1,6 | 17,1 |
| Бореальный | 0,3...1 | 6,5 | 189,2 |
| Суббореальный: | - | - | - |
| - гумидная | 0,33...1 | 12,6 | 342 |
| - семиаридная | 1...2 | 8,2 | 20,8 |

По формуле (2) при $Pr = 11,5$ т/(га·год), соответствующей границе северной и южной фитосферы, совпадающей с $J=1$ (см. рис.2 и 4), вычислим максимальную величину биомассы: $Bm = 27,3 \cdot 11,5 = 314$ т/га. Минимальное значение Bm , отвечающее южной границе семиаридной области (степной зоны, где $J=2$ и $Pr=8,2$) равно 20,8 т/га (см.табл.2). Используя линейную интерполяцию, получаем формулу для ориентировочных расчетов биомассы в южной фитосфере:

$$Bm = 88,8 Pr - 707 \quad (3)$$

Не трудно удостовериться, что (3) удовлетворяет граничным условиям: $Bm = 314$ при $Pr = 11,5$ и $Bm = 21$ при $Pr = 8,2$.

Переходим к расчету биомассы растений дифференцированной по 4-м группам в зависимости от холодостойкости. Возьмем тот же Тобольск, расположенной в южной фитосфере, где $Pr = 9,3$ т/га·год, а $\eta_1=0,04$; $\eta_2=0,14$; $\eta_3=0,28$; $\eta_4 = 0,54$. По формуле (3), определяем суммарную биомассу: $Bm = 88,8 \cdot 9,3 - 707 = 119$ т/га, а затем по формуле (1) ее групповые значения: $Bm_1=3,6$; $Bm_2=12,4$; $Bm_3=24,9$; $Bm_4=47,9$, т/га.

Зональное распределение и климатическая индексация биоты. В табл.3 показано распределение количества биотических таксонов N и средних значений J по природным зонам ЗСР [3, 6, 8]. Из табл. 3 видно, что количества и фаунистических ($N_{ж}$), и флористических ($N_{р}$) таксонов, изменяются одинаково: как и величины Pr и Bm с

севера на юг они сначала увеличиваются, а затем, уменьшаются. Смена вектора происходит в области перехода тайги в лесостепь, где индекс сухости J колеблется в пределах $0,95 \div 1,2$, а условия обитания биоты, судя по максимальной численности всех ее таксонов, здесь наиболее благоприятны.

Таблица 3

Количество таксонов животных (птиц + млекопитающих) и сосудистых растений, а также средние значения J и Σ_0 в подзонах ЗСР

| № | Подзона | J | Σ_0 | Животные ($N_{ж}$) | | | | Растения (N_p) | | | |
|----|--------------------|------|------------|----------------------|----------------|---------------|-------------|--------------------|------------|-----------|-----------|
| | | | | виды | роды | семейства | отряды | виды | роды | семейства | порядки |
| 1 | Северная тундра | 0,44 | 129 | 73+18 | 46+15 | 20+9 | 7+5 | 57 | 35 | 17 | 17 |
| 2 | Южная тундра | 0,6 | 610 | 148+32 | 79+22 | 30+11 | 11+5 | 126 | 67 | 31 | 31 |
| 3 | Лесо-тундра | 0,75 | 1010 | 194+42 | 107+27 | 39+12 | 15+5 | 99 | 58 | 28 | 28 |
| 4 | Северная тайга | 0,87 | 1293 | 207+51 | 115+33 | 41+15 | 16+6 | 174 | 86 | 43 | 38 |
| 5 | Средняя тайга | 0,96 | 1490 | 257+59 | 136+38 | 48+17 | 18+6 | 247 | 147 | 50 | 46 |
| 6 | Южная тайга | 1,0 | 1700 | 246+60 | 130+38 | 47+17 | 16+6 | 380 | 203 | 73 | 57 |
| 7 | Подтайга | 1,1 | 1800 | <u>271+67</u> | <u>141+41</u> | <u>54+18</u> | 18+6 | 493 | 260 | <u>74</u> | <u>57</u> |
| 8 | Северная лесостепь | 1,3 | 2050 | 259+63 | 139+ <u>43</u> | 50+ <u>19</u> | <u>19+6</u> | <u>540</u> | <u>267</u> | 64 | 55 |
| 9 | Южная лесостепь | 1,5 | 2260 | 252+67 | 135+42 | 48+18 | 18+6 | 449 | 226 | 54 | 46 |
| 10 | Степь | 1,9 | 2420 | 208+58 | 115+40 | 45+16 | 19+6 | 215 | 131 | 36 | 33 |

Примечания: 1) Таксоны *отряды* (зоолог.) и *порядки* (ботан.) по содержанию идентичны
2) Выделены максимальные значения таксонов.

Специфика географических зон в табл.3 отражена их порядковыми номерами. Найдено общее выражение зависимости количества таксонов от порядкового номера географической подзоны с достоверностью $R^2 > 0,91$:

$$W_i = A j^2 + B j + C, \quad (4)$$

где $W_i = \ln(N_i)$; N_i – количество биотических таксонов данного ранга в i -ой подзоне ($i = 1 \dots 10$); A , B и C - эмпирические константы, определяемые по **табл. 4**.

Используя соответствие между i , J и Σ_0 , согласно табл.3, величину i в (4) можно заменить непосредственно климатическими показателями. Для примера на **рис. 5**

показаны графики зависимости W_i от i , и ее аппроксимации (жирные линии) для таксонов растений (I) и птиц (II). На нижней горизонтальной шкале графика отложены значения i , на верхней - соответствующие им в таблице 3 значения J ; значки - количество видов растений и птиц в зонах и подзонах в логарифмическом масштабе.

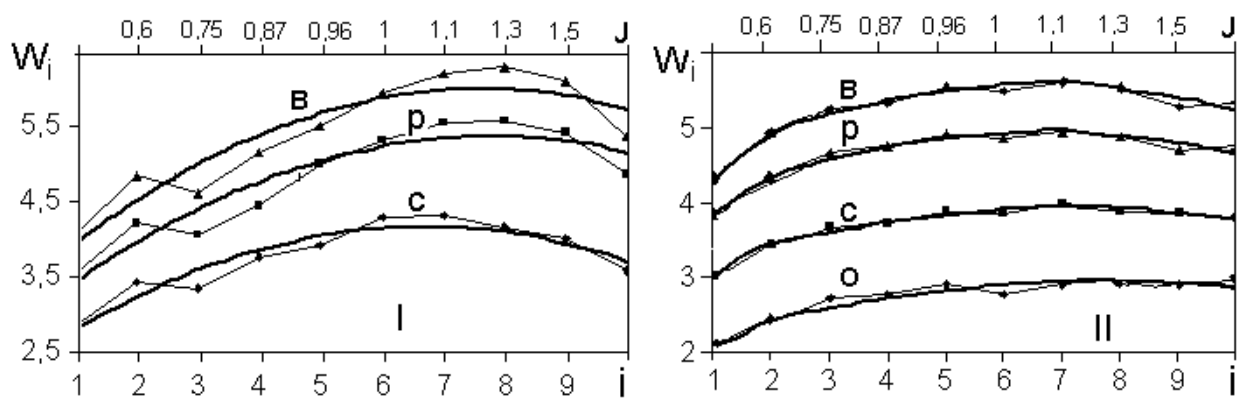


Рис. 5. Зависимость W_i от i или J и ее аппроксимации для таксонов растений (I) и птиц (II) ранга: вид (v), род (p), семейство (c), отряд (o).

Аналогично (подобно) выглядят графики зависимости W_i от i и для других групп биоты. В табл.4 выписаны значения эмпирических постоянных в формуле (4), необходимые для расчета количества таксонов любого ранга.

Такая же закономерность наблюдается и у отдельных типов флоры, в частности у травянистых и древесных растений. Большинство травянистых растений на территории ЗСР принадлежит семействам Сурегасеae (осоковые- 297 видов) и Роасеae (злаковые – 285 видов); большинство древесных растений – семействам Salicaseae (ивовые – 73 вида), Pinaseae (хвойные–38 видов), Betulaseae (березовые – 30 видов) [8]. В табл. 5 даны суммарные количества видов древесных и травянистых растений, относящихся к этим семействам. Как видно из таблицы, их зональное распределение подчиняется тому же закону, что и растительность в целом, и также описывается формулой (2); величины коэффициентов А, В и С для них приведены в двух последних строчках табл. 4

Из табл.3 следует, что численность биотических таксонов (N) любого ранга в ряду вид-род-семейство-отряд (порядок) следует тем же закономерностям, что и Pr: с увеличением J и \sum_0 величина N сначала растет, достигая максимума при $J \approx 1$ и $\sum_0 \approx 1700$ гс, а затем убывает. Поэтому величины долевых тепловых индексов η_{1-4} вычисляются одинаково, как описано выше, и для Pr и для N, а значения групповых

таксонов N_{1-4} определяются по формуле (1) при подстановке в нее N (количество видов, родов, семейств или порядков) вместо Pr .

Таблица 4.

Постоянные в формуле (2) для разных групп биоты: I – сосудистые растения, II птицы, III - млекопитающие, IV – птицы + млекопитающие, V и VI – виды древесных (Д) и травянистых (Тр) растений; а также значения R^2

| Группа | Таксоны | A | B | C | R^2 |
|------------|-----------|--------|-------|------|-------|
| I | Виды | -0,042 | 0,57 | 2,27 | 0,87 |
| | роды | -0,042 | 0,45 | 2,82 | 0,89 |
| | семейства | -0,047 | 0,72 | 3,28 | 0,9 |
| | порядки | -0,04 | 0,47 | 2,42 | 0,8 |
| II | Виды | -0,024 | 0,393 | 4,01 | 0,97 |
| | роды | -0,021 | 0,346 | 3,54 | 0,98 |
| | семейства | -0,016 | 0,274 | 2,76 | 0,98 |
| | Отряды | -0,014 | 0,25 | 1,81 | 0,93 |
| III | Виды | -0,021 | 0,377 | 2,52 | 0,99 |
| | роды | -0,015 | 0,29 | 2,38 | 0,99 |
| | семейства | -0,012 | 0,222 | 1,88 | 0,96 |
| | Отряды | -0,003 | 0,058 | 1,51 | 0,8 |
| IV | Виды | -0,024 | 0,389 | 4,21 | 0,98 |
| | роды | -0,02 | 0,332 | 3,82 | 0,99 |
| | семейства | -0,015 | 0,259 | 3,11 | 0,99 |
| | Отряды | -0,01 | 0,187 | 2,35 | 0,95 |
| V | Виды – Д | -0,1 | 1,05 | 0,61 | 0,85 |
| VI | Виды – Тр | -0,04 | 0,55 | 2,42 | 0,78 |

В табл.6 представлены результаты расчетов по предлагаемой методике групповых индексов тепла $\eta_{1...4}$ и соответствующих им распределенных значений $Pr_1...Pr_4$, численности видов растений $N_{p,1...N_{p,4}}$ и животных $N_{ж,1...N_{ж,4}}$ в зонах и подзонах ЗСР. Кроме того, при известных $Pr_1...Pr_4$ по формулам (2) и (3) несложно вычислить и значения $Vm_1...Vm_4$. Таблица демонстрирует общий, циклический, характер зонального хода этих показателей биоты – сначала, в северной фитосфере увеличение, затем в южной фитосфере – уменьшение. Их пик (максимум) наблюдается, как уже отмечалось, на границе тайги и лесостепи, характеризующейся примерным равновесием между теплом и влагой ($J \approx 1$). В обе стороны от этой границы численность и масса биоты уменьшается.

Таблица 5

Распределение древесных (Д) и травянистых (Тр) видов растений самых распространенных семейств на территории ЗСР (в числителе количества видов, в знаменателе их логарифмы; подчеркнуты максимумы)

| Группа | Д | Тр | Группа | Д | Тр |
|--------|-----------|-----------|--------|------------------|-------------------|
| 1 | 5 / 1,61 | 22 / 3,09 | 6 | 27 / 3,27 | 68 / 4,22 |
| 2 | 12 / 2,48 | 40 / 3,5 | 7 | <u>28 / 3,37</u> | 95 / 4,55 |
| 3 | 15 / 2,71 | 30 / 3,4 | 8 | 16 / 2,78 | <u>101 / 4,62</u> |
| 4 | 17 / 2,83 | 47 / 3,85 | 9 | 4 / 1,38 | 85 / 4,44 |
| 5 | 23 / 3,14 | 59 / 4,08 | 10 | 0 / 0 | 33 / 3,6 |

Распределение дифференцированных по холодостойкости величин P_{1-4} и N_{1-4} зависит от долевых индексов тепла η_{1-4} , которые вносят разнообразие в этот общий (циклический) порядок. Структурные показатели холодостойкой биоты 1-й группы, вслед за η_1 , непрерывно уменьшаются с севера на юг, до 10 и более раз в степи, по сравнению с северной тундрой. Биота 2-й и 3-й группы (умеренного климата) несколько увеличивается от северной к южной тундре, а затем также уменьшается к степной зоне. Теплолюбивая биота 4-й группы впервые появляется в северной тайге, увеличиваясь к югу, и только в степи ее видовой состав уменьшается. Наличие так называемых *редких* видов в значительной степени обусловлено климатическим фактором - распределением долевых индексов тепла η_{1-4} . В северной фитосфере эта категория биоты представлена теплолюбивыми растениями, в южной – холодостойкими.

Закономерности иерархического распределения (ранжирования) таксонов, фрактальность. Анализ фактического материала показывает, что логарифмы биотических таксонов разных рангов в ряду: 1) вид, 2) род, 3) семейство, 4) отряд (порядок) во всех климатических зонах увязывается с W_1 линейной формулой:

$$W_j = kW_1 \quad (5)$$

где j – порядковый номер таксона (1... 4), k – эмпирический коэффициент, зависящий от соотношения W_j и W_1 .

Отношения W_2/W_1 , W_3/W_1 , W_4/W_1 у всех групп (поименованных в табл.4) во всех подзонах изменяются беспорядочно, в небольшом диапазоне, и явно не в связи с климатом. Для примера в табл.7 приведено распределение этих отношений у растений и животных по подзонам ЗСР.

Таблица 6

Индекс сухости J ; индекс тепла Σ_0 , гс; продукция Pr , т/(га·год); число видов растений N_p и животных (птиц и млекопитающих) $N_{ж}$ в разных подзонах ЗСР (нумерация по табл.3, выделены максимальные значения); групповые тепловые индексы Σ_{1-4} и η_{1-4} ; распределенные по группам продукция Pr_{1-4} и численность видов растений N_{p1-4} и животных $N_{ж.1-4}$.

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| J | 0,44 | 0,6 | 0,75 | 0,87 | 0,96 | 1 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,9 |
| Σ_0 | 129 | 610 | 1010 | 1293 | 1485 | 1565 | 1832 | 2049 | 2261 | 2420 |
| Σ_1 | 101 | <u>122</u> | 112 | 105 | 100 | 98 | 92 | 85 | 81 | 77 |
| Σ_2 | 28 | <u>294</u> | 292 | 290 | 289 | 289 | 287 | 286 | 285 | 284 |
| Σ_3 | 0 | 194 | 606 | <u>641</u> | 634 | 630 | 619 | 611 | 602 | 597 |
| Σ_4 | 0 | 0 | 0 | 258 | 463 | 548 | 834 | 1066 | 1293 | <u>1463</u> |
| η_1 | <u>0,83</u> | 02 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,036 | 0,032 |
| η_2 | 0,17 | <u>0,48</u> | 0,29 | 0,22 | 0,19 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| η_3 | 0 | 0,32 | <u>0,6</u> | 0,5 | 0,43 | 0,4 | 0,33 | 0,3 | 0,26 | 0,25 |
| η_4 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0,31 | 0,36 | 0,46 | 0,52 | 0,57 | <u>0,6</u> |
| Pr | 1,69 | 5,59 | 8,05 | 9,21 | 9,72 | 9,87 | 10,1 | 9,94 | 9,51 | 9,1 |
| Pr_1 | 1,04 | <u>1,12</u> | 0,89 | 0,74 | 0,68 | 0,59 | 0,51 | 0,4 | 0,34 | 0,29 |
| Pr_2 | 0,29 | <u>2,68</u> | 2,33 | 2,03 | 1,85 | 1,78 | 1,62 | 1,39 | 1,24 | 1,09 |
| Pr_3 | 0 | 1,79 | <u>4,83</u> | 4,6 | 4,2 | 3,98 | 3,43 | 2,96 | 2,56 | 2,28 |
| Pr_4 | 0 | 0 | 0 | 1,89 | 3 | 3,48 | 4,64 | 5,2 | 5,43 | <u>5,44</u> |
| N_p | 57 | 126 | 100 | 174 | 247 | 380 | 493 | 540 | 449 | 215 |
| $N_{p.1}$ | <u>47</u> | 25 | 11 | 14 | 17 | 23 | 25 | 22 | 16 | 7 |
| $N_{p.2}$ | 10 | <u>60</u> | 29 | 38 | 47 | 68 | <u>79</u> | 76 | 59 | 26 |
| $N_{p.3}$ | 0 | 40 | 59 | 87 | 106 | 152 | <u>163</u> | 162 | 117 | 54 |
| $N_{p.4}$ | 0 | 0 | 0 | 35 | 77 | 137 | 227 | <u>281</u> | 256 | 129 |
| $N_{ж}$ | 91 | 180 | 236 | 258 | 317 | 306 | <u>338</u> | 322 | 319 | 266 |
| $N_{ж.1}$ | <u>76</u> | 36 | 26 | 21 | 23 | 18 | 17 | 13 | 12 | 9 |
| $N_{ж.2}$ | 15 | <u>86</u> | 68 | 57 | 60 | 55 | 54 | 45 | 42 | 32 |
| $N_{ж.3}$ | 0 | 58 | <u>142</u> | 129 | 136 | 122 | 112 | 97 | 83 | 67 |
| $N_{ж.4}$ | 0 | 0 | 0 | 52 | 98 | 111 | 155 | 167 | <u>182</u> | 160 |

Таблица 7.

Распределение $W_2/W_1 \dots W_4/W_1$ растений и животных в ЗСР

| № | Подзона | Животные | | | Растения | | |
|----|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | W_2/W_1 | W_3/W_1 | W_4/W_1 | W_2/W_1 | W_3/W_1 | W_4/W_1 |
| 1 | Северная тундра | 0,91 | 0,75 | 0,55 | 0,82 | 0,7 | 0,7 |
| 2 | Южная тундра | 0,89 | 0,72 | 0,53 | 0,87 | 0,71 | 0,7 |
| 3 | Лесотундра | 0,89 | 0,72 | 0,55 | 0,88 | 0,73 | 0,71 |
| 4 | Северная тайга | 0,9 | 0,72 | 0,56 | 0,86 | 0,73 | 0,7 |
| 5 | Средняя тайга | 0,9 | 0,73 | 0,55 | 0,9 | 0,71 | 0,69 |
| 6 | Южная тайга | 0,89 | 0,73 | 0,54 | 0,89 | 0,72 | 0,68 |
| 7 | Подтайга | 0,89 | 0,73 | 0,55 | 0,89 | 0,69 | 0,66 |
| 8 | Северная лесостепь | 0,90 | 0,73 | 0,56 | 0,9 | 0,66 | 0,64 |
| 9 | Южная лесостепь | 0,9 | 0,73 | 0,55 | 0,89 | 0,65 | 0,63 |
| 10 | Степь | 0,9 | 0,74 | 0,58 | 0,9 | 0,67 | 0,65 |
| | Среднее | 0,89 | 0,73 | 0,55 | 0,88 | 0,7 | 0,67 |

Как видно из табл.7, отклонения крайних значений k от средних составляют меньше 10%. Это позволяет анализировать закономерности иерархического распределения таксонов по их средним для данной подзоны. Средние значения k в формуле (5) сведены в табл. 8. Подставив в формулу (5) $W_j = \ln N_j$ и $W_1 = \ln N_1$, после ее преобразования получаем формулу, связывающую количество родов (N_2), семейств (N_3) и отрядов или порядков (N_4) с количеством видов (N_1) в обычном (не логарифмическом) масштабе:

$$N_j = (N_1)^k \quad (6)$$

Таблица 8, как и другие приведенные материалы свидетельствует о практически полном единстве системы биотических таксонов. Относительная разница между таксонами флористических и фаунистических групп во всех зонах и подзонах, опосредованная величиной k , как правило, лежит в пределах 5 -10 %. Это позволяет по количеству таксонов одной группы ориентировочно определить количество таксонов других групп на всех иерархических уровнях, от вида до отряда.

Таблица 8

Значения k в формуле (5) для растений (I) и птиц (II),
млекопитающих (III) и птиц+ млекопитающих (IV)

| Группа | Отношения | k | Группа | Отношения | k |
|-----------|------------|------|------------|------------|------|
| I | W_1/ W_2 | 0,88 | III | W_1/ W_2 | 0,9 |
| | W_1/ W_3 | 0,7 | | W_1/ W_3 | 0,69 |
| | W_1/ W_4 | 0,67 | | W_1/ W_4 | 0,45 |
| II | W_1/ W_2 | 0,89 | IV | W_1/ W_2 | 0,89 |
| | W_1/ W_3 | 0,7 | | W_1/ W_3 | 0,73 |
| | W_1/ W_4 | 0,51 | | W_1/ W_4 | 0,55 |

Допустим что, например, для южной тундры известно количество видов группы IV (млекопитающие + птицы) - $N_B = 180$. (см. табл.1). Требуется определить количество родов $N_{рд}$ ($k = 0,89$, см. табл.8), семейств N_c ($k = 0,73$) и отрядов ($k = 0,55$) этой группы. Расчет по формуле (6) дает: $N_{рд} = 102$, $N_c = 44$, $N_o = 17$, что практически совпадает с фактическими данными - $N_{рд} = 101$, $N_c = 41$, $N_o = 16$. Нетрудно заметить, что коэффициент k в (5) и (6) является обобщением индекса разнообразия Маргалефа [4], характеризующего зависимость числа видов от численности сообщества, на зависимость численности таксонов любого ранга от числа видов.

Как известно, многие системы при определенном их математическом представлении, фрактальны или самоподобны на всех участках своего ареала и времени существования. Б. Мандельброт, введший понятие фрактальности в научный оборот, дал ему довольно общее определение (по [4]): "... фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому". Примером таких структур может служить крона дерева, бассейны рек и их притоков, система кровеносных сосудов и т.п. К фрактальным могут относиться и определенные соотношения биотических таксонов. Подобные иерархии обычно представляют собой геометрическую прогрессию с примерно постоянным коэффициентом - множителем, отражающим подобие ее членов.

Рассмотрим иерархию отношений каждого предыдущего члена $W_j = \ln N_j$ к последующему в ряду 1) вид, 2) род, 3) семейство, 4) отряд (порядок):

$$W_1/ W_2 \rightarrow W_2/ W_3 \rightarrow W_3/ W_4 \quad (7)$$

Расчеты показали, что соотношение членов иерархии (7) описывается формулой:

$$m_n = (m_{1,2})^n, \quad (8)$$

где $n = 1 \dots 3$ - порядковый номер отношения в иерархии (7). Ее члены в (8) обозначены одной буквой m с индексами, указывающими на номера таксонов в ряду 1) вид...4) отряд (порядок). Для каждого из этих таксонов характерно одно, среднее по данной подзоне значение W_j . Первое отношение $(W_1/ W_2) = (m_{1,2})^1$, второе $(W_2/ W_3) = (m_{1,2})^2$, третье $(W_3/ W_4) = (m_{1,2})^3$.

В табл.9 приведены фактические значения этих отношений, найденные по фактическим данным (табл.3) и рассчитанные по формуле (8).

Таблица 9

Фактические и расчетные величины $m_{1,2}$, $m_{1,3}$ и $m_{1,4}$ (состав групп – как в табл.4)

| Группа | Обозначения | Фактическая величина $m_{1,2} - m_{1,4}$ | Расчетная величина $m_{1,2} - m_{1,4}$ |
|------------|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| I | $m_{1,2}$ | 1,13 | 1,13 |
| | $m_{2,3}$ | 1,26 | 1,27 |
| II | $m_{1,2}$ | 1,13 | 1,13 |
| | $m_{2,3}$ | 1,27 | 1,27 |
| | $m_{3,4}$ | 1,37 | 1,44 |
| III | $m_{1,2}$ | 1,11 | 1,11 |
| | $m_{2,3}$ | 1,29 | 1,24 |
| | $m_{3,4}$ | 1,53 | 1,37 |
| IV | $m_{1,2}$ | 1,11 | 1,11 |
| | $m_{2,3}$ | 1,23 | 1,23 |
| | $m_{3,4}$ | 1,33 | 1,37 |

Из формулы (8) и табл. 9 следует, что члены иерархии (7) обладают свойством фрактальности, причем коэффициент подобия (фрактальная размерность) для всех рассмотренных групп (I ... IV) равен $W_1/ W_2 = m_{1,2} \approx 1,12$.

В целом полученные результаты демонстрируют взаимообусловленность существования растений и животных, их единство и общую зависимость от климата, а также возможность оценки разнообразия биоты по индексам тепла, дифференцированных по холодостойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н.* Географические аспекты изучения биологической продуктивности // Мат. V съезда Геогр. общ. СССР. Л.: Наука, 1970, с.3-28.
2. *Будыко М.И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометиздат, 1971. 472 с.
3. *Гашев С.Н.* База данных «Рабочее место орнитолога» Свидетельство № 2012620405 (зарегистрировано в Реестре баз данных 3 мая 2012)
4. *Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С.* и др. Успехи современной биологии. 2008, том 128, № 1. С. 21-34.
5. *Иорданский Н.Н.* Эволюция жизни. М.: Академия, 2001. 425 с.
6. *Коновалов А.А., Гашев С.Н., Казанцева М.Н.* Закономерности распределения биотических таксонов на территории Западно-Сибирской равнины. Вестник ТГУ, 6, 2013.
7. *Коновалов А.А., Иванов С.Н.* Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеореконструкций. Новосибирск: Гео, 2007. 130 с.
8. *Растительный покров Западно-Сибирской равнины / Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н.* и др. Новосибирск: Наука, 1985..
9. *Коновалов А.А., Иванов С.Н.* Реконструкция истории климата по групповым палиноспектрам (на примере Западной Сибири). Saarbrucken, Germany. Palmarium academic publishing, 1212. 119 с.
10. *Коновалов А.А.* Общие закономерности развития экогеосистем (деформационная модель). Saarbrucken, Germany. Palmarium academic publishing, 1212. 252 с.
11. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, вып. 17, ч.1-IV, 1965-1968.