

© А.А. КОНОВАЛОВ, С.Н. ГАШЕВ, М.Н. КАЗАНЦЕВА

Konov7@rambler.ru, GSN-61@mail.ru, MNKazantseva@yandex.ru

УДК 581.9; 591.9; 551.50

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОТИЧЕСКИХ ТАКСОНОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

АННОТАЦИЯ. Исследуются количественные закономерности распределения биотических таксонов на территории Западно-Сибирской равнины в пределах Тюменской и Омской областей. Показана их климатическая зависимость. Установлен характер распределения видов, родов, семейств и отрядов биоты по географическим зонам и подзонам рассматриваемого региона. Найдены формулы географической и иерархической зависимости количества таксонов растений и животных любого ранга, показано их самоподобие. Показано, что существование биотической системы и ее состояние могут трактоваться как результат дихотомического взаимодействия двух противоположностей — доминанты и субдоминанты, выраженных в относительном виде так, что их сумма равна единице. В качестве доминанты принимается отношение максимального по величине таксона к сумме остальных таксонов этой же категории. Например, в группе животных это — отношение таксонов птиц к сумме таксонов птиц и млекопитающих. Введены и оценены показатели взаимодействия флористических и фаунистических компонентов биоты. Предложены формулы для определения устойчивости и гармонии биотических систем.

SUMMARY. The article studies quantitative regularities of biotic taxa distribution on the territory of the West Siberian Plain within Tyumen and Omsk regions. Their climatic dependence is investigated. The nature of the distribution of species, genera, families and orders of the biota within the geographical subzones of the considered area is established. Formulas of geographical and hierarchical dependence of taxa are found; their self-similarity is shown. It is claimed that existence of a biotic system and its state can be interpreted as a result of dichotomous interaction of two opposites — the dominant and subdominant, expressed in a relative form so that their sum is equal to one. The ratio of the maximum of the taxon to the sum of the other taxa of the same category is accepted as a dominant. For example, in the animal group it is the relation of the birds taxa to the sum of the taxa of birds and mammals. The authors introduce and evaluate indicators of interaction between floristic and faunistic components of biota. Formulas for determination of stability and harmony of biotic systems are suggested.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Западно-Сибирская равнина, биота, взаимодействие, устойчивость.

KEY WORDS. West Siberian Plain, biota, interaction, stability.

Введение (подходы и методы). Подробная качественная характеристика растительного покрова и животного мира Западно-Сибирской равнины (ЗСР) дается в работах [1-3]. Настоящая статья посвящена количественным закономерностям распределения биотических таксонов и взаимодействия их систематических групп на территории ЗСР в пределах Тюменско-Омского региона.

Биотическую систему можно трактовать как результат взаимодействия двух противоположностей — доминанты и субдоминанты, выраженных в относительном виде так, что их сумма равна единице. Подобный (дихотомический) подход применялся [4], где ландшафт рассматривался, как целостное образование в поле действия противоположных сил. В нашем исследовании этот подход использован при анализе характера изменения иерархических групп таксонов в пределах ЗСР и оценке их устойчивости. Численные коэффициенты и параметры полученных эмпирических уравнений увязаны с обобщенными Золотыми сечениями (ОЗС) [5-6].

Формулы географической и иерархической зависимости количества таксонов, их графический вид и достоверности R^2 определялись с использованием стандартной компьютерной программы Excel.

Результаты и обсуждение. Показатели тепло- и влагообеспеченности. Пространственное (географическое) распределение биоты в основном определяется климатом. Все элементы климата (ЭК) связаны между собой. Найдены количественные выражения этих связей для условий Тюменско-Омского региона [7], позволяющие по любому известному ЭК, например, индексу сухости, определить и все остальные. Индекс сухости $J = V/kU$ (V — радиационный баланс, U — годовая сумма осадков, k — скрытая теплота испарения) — важнейший, комплексный ЭК, ответственный за распределение тепла и влаги у поверхности Земли. Его величина изменяется от 0 в зоне арктических пустынь до 3-5 и более в пустынях субтропического и тропического поясов [8].

В зависимости от величины J фитосферу можно разделить на северную J_c (прохладную и влажную) и южную $J_{ю}$ (теплую и засушливую). Граница между ними примерно совпадает с изолинией $J=1$. Условия тепло- и влагообмена в северной и южной фитосферах, характеризуемые величиной J обратно (логарифмически) симметричны. Например, область устойчивого существования растительности ограничена на севере изолиниями $J_c \approx 0,2...0,33$ (северная тундра), на юге $J_{ю} \approx 5... 3$ (южная полупустыня) [8], откуда $J_c \approx 1/J_{ю}$ или $\ln J_c \approx \ln(1/J_{ю}) \approx -\ln(J_{ю})$.

Обратно симметричны и другие показатели, выраженные в форме зависимости от J , в частности, годовые суммы осадков, групповые палиноспектры, фитопродуктивность [7]. Кривые этих зависимостей имеют вид циклоид, максимум (пик) которых приходится на $J=0,95 \div 1,2$ (близко к $J \approx 1$). Для примера на рис. 1 показана зависимость годовой суммы осадков U (см) и фитопродуктивности (годовой продукции) растительного покрова P_r (т/га-год) от J .

Распределение биотических таксонов. В табл. 1 представлено распределение биотических таксонов и средних значений J по природным зонам и подзонам ЗСР (по [1-3]).

Таблица 1

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

| № | Подзона | J | Животные | | | | Растения | | | |
|----|--------------------|------|----------|----------------|--------|--------|--------------|----------------|------|------|
| | | | отряды | семей- ства | роды | виды | поряд- ки | семей- ства | роды | виды |
| 1 | Северная тундра | 0,35 | 7+5 | 20+9 | 46+15 | 73+18 | 17 | 17 | 35 | 57 |
| 2 | Южная тундра | 0,6 | 11+5 | 30+11 | 79+22 | 148+32 | 31 | 31 | 67 | 126 |
| 3 | Лесотундра | 0,75 | 15+5 | 39+12 | 107+27 | 194+42 | 28 | 28 | 58 | 99 |
| 4 | Северная тайга | 0,87 | 16+6 | 41+15 | 115+33 | 207+51 | 38 | 43 | 86 | 174 |
| 5 | Средняя тайга | 0,96 | 18+6 | 48+17 | 136+38 | 257+59 | 46 | 50 | 147 | 247 |
| 6 | Южная тайга | 1,0 | 16+6 | 47+17 | 130+38 | 246+60 | 57 | 73 | 203 | 380 |
| 7 | Подтайга | 1,1 | 18+6 | 54+18 | 141+41 | 271+67 | <u>57</u> | <u>74</u> | 260 | 493 |
| 8 | Северная лесостепь | 1,3 | 19+6 | 50+19 | 139+43 | 259+63 | 55 | 64 | 267 | 540 |
| 9 | Южная лесостепь | 1,5 | 18+6 | 48+18 | 135+44 | 252+67 | 46 | 54 | 226 | 449 |
| 10 | Степь | 1,9 | 19+6 | 45+16 | 115+40 | 208+58 | 33 | 36 | 131 | 215 |
| | Всего | | 19+6 | 55+20 | 145+47 | 369+95 | 67 | 88 | 364 | 996 |

Примечания: 1. Таксоны отряды (зоолог.) и порядки (ботан.) по содержанию идентичны; 2. Жирным выделены максимальные значения таксонов.

Из табл. 1 видно, что количества биотических таксонов, и флористических и фаунистических, изменяются одинаково и, в общем, как ожидалось: с севера на юг они сначала увеличиваются, а затем, уменьшаются.

Смена вектора происходит в подтайге-северной лесостепи, из чего следует, что условия обитания биоты наиболее благоприятны в области перехода тайги в лесостепь, где индекс сухости J колеблется в пределах $0,95 \div 1,2$.

Специфика географических зон и подзон в табл. 1 отражена их порядковыми номерами i . На рис. 2 даны графики зависимости количества таксонов животных $T_{ж}$ и растений T_p от i , согласно табл. 1. (тонкие линии) и их аппроксимации (толстые линии).

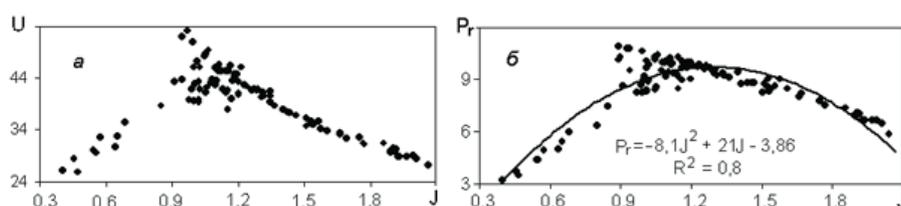


Рис. 1. Связь U (а) и $Pг$ (б) от J

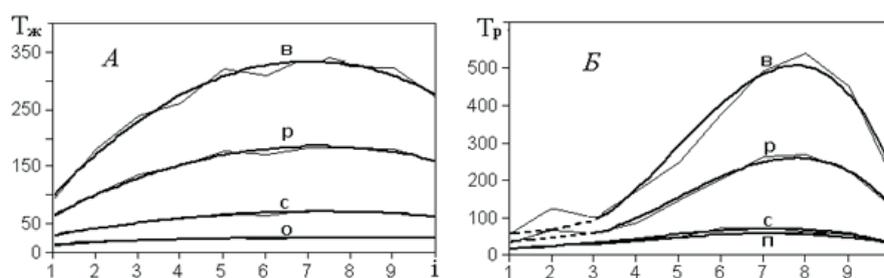


Рис. 2. Зависимость $T_{ж}$ (А) и T_p (Б) от i (кривые помечены первыми буквами названий таксонов; пунктир — сглаженный вариант хода видов и родов растений в тундре)

Найдено общее уравнение зонального распределения биотических таксонов

$$T_{p,ж} = Ai^3 + Bi^2 + Ci + D, \quad (1)$$

где A, B, C и D — эмпирические константы, определяемые по табл. 2.

Как видно из рис. 2 и табл. 2, достоверность формулы (1) — высокая, особенно для животных, для таксонов которых кубическая формула полинома (1) превращается в более простую — квадратичную ($A=0$). Кривые на графиках рис. 2, как и на рис. 1, примерно симметричны относительно $J \approx 1$.

Таблица 2

Постоянные в формуле (2) и ее достоверность (R^2) для:
I — растений, II — животных

| № | Таксоны | A | B | C | D | R^2 |
|----|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| I | виды | -4,82 | 70,5 | -225,8 | 261,7 | 0,95 |
| | роды | -2,25 | 32,6 | -100,1 | 122,5 | 0,97 |
| | семейства | -0,39 | 4,78 | -7,44 | 22,5 | 0,94 |
| | порядки | -0,23 | 2,62 | -1,48 | 18,6 | 0,95 |
| II | виды | 0 | -6,42 | 90 | 15,1 | 0,98 |
| | роды | 0 | -3,1 | 44,6 | 22,6 | 0,98 |
| | семейства | 0 | -1,01 | 14,7 | 15,2 | 0,98 |
| | отряды | 0 | -0,25 | 3,9 | 9,3 | 0,94 |

Среднезональные значения количества таксонов растений и животных в семействах, родах и видах составляют T_p : 47, 148, 278 и $T_{ж}$: 57,4, 148,4, 263 соответственно. В каждом разряде (ранге — $r = 1, 2, 3$) они близки по величине. Анализ показал, что зависимость средних по всем зонам и подзонам $T_{p,ж}$ от r достоверностью $R^2=0,99$ аппроксимируется линейной формулой:

$$T_{p,ж} = 109,2 r - 61,4. \quad (2)$$

Следующим, после вида, рангом биотической иерархии, четвертым ($r = 4$) является его структурная единица — популяция, которая является «формой существования вида» [9]. Подставив в (2) $r = 4$, получаем приближенное среднезональное количество популяций биоты: $T_{p,п} \approx T_{ж,п} \approx 375,4$.

Дихотомическая природа взаимодействия биотических групп. Биотическую систему можно представить как дихотомию — сумму двух противоположностей, доминанты Y и субдоминанты \check{Y} , выраженных в долях единицы так, что $\check{Y} + Y = 1$. Но субдоминанта обычно сама состоит из множества (n) мелких частиц. Представим ее как среднее геометрическое из числа этих частиц $X = \check{Y}^{1/n}$, тогда выражение суммы преобразуется в $X^n + Y = 1$. С повышением X величина Y уменьшается; в точках, где они сравниваются: $Y = X = \Phi = \text{const}$, система находится в устойчивом равновесии со своими компонентами, а формула суммы приобретает вид [10]:

$$\Phi^n + \Phi = 1. \quad (3)$$

Значения $\Phi = \Phi_n$, вычисленные с помощью (3) при разных целых $n \geq 1$, составляют последовательность 1) 0,5; 2) 0,618; 3) 0,682; ...; 31) 0,923 ..., члены которой называются Обобщенными Золотыми сечениями (ОЗС). Согласно [6] «обобщенные золотые сечения суть инварианты, на основе и посредством которых в процессе самоорганизации естественные системы обретают гармоническое строение, стационарный режим существования, структурно-функциональную устойчивость». ОЗС характеризуются двумя константами, основной (большой) $\Phi > 0,5$ и дополнительной $1 - \Phi = \Phi^n$, сосуществующими как дихотомия, в режиме единства и противостояния. Золотое сечение получается при подстановке в (3) $n = 2$:

$$(\Phi_2 / 1) = (1 - \Phi_2) / \Phi_2 = 0,618 \approx 0,62 \quad (4)$$

Это наиболее часто встречающаяся пропорция равновесных оппозиций в разных системах, энергетически самое выгодное, оптимальное соотношение структурных элементов системы, обеспечивающее ее максимальную упорядоченность [5-6].

Величина n — количество частиц в субдоминанте, указывает на мерность объекта. Линия одномерна — $n=1$, плоскость двумерна — $n=2$, геометрически представимое пространство трехмерно — $n=3$. Формула (6) справедлива не только для целых n , но и всего их множества, от 0 до ∞ . Фактически ОЗС — это любая пара чисел, меньших 1, сумма которых равна 1.

Пространство между $(1-\Phi_n)$ и Φ_n на куполообразном графике «жизненного» цикла системы, включающем «молодость» (подъем), «зрелость» и «старость» (спад) — это стадия зрелости, характеризующаяся постоянной и минимальной за весь цикл скоростью деформации. Живые системы на этой стадии обладают репродуктивной способностью [10].

С увеличением числа частиц в системе увеличивается и количество разделительных линий — границ, являющихся концентраторами напряжений. Это места (экотоны, побережья морей и рек, снеговая линия, межсезонья — весна и осень, границы государств и этносов и т.п.) с наибольшими изменчивостью параметров и деформациями и, соответственно, с наименьшей устойчивостью. Чем меньше частиц в системе, тем меньше различного рода границ и больше устойчивость. Понятие *устойчивость* тесно связано с *равновесием*. Чем более устойчива система, тем более она и равновесна. Поэтому обратная величина числа частиц в системе $1/n=Z$, изменяющаяся от 1 до 0, может служить относительной мерой устойчивости (и равновесия) системы. Очевидно, что максимум устойчивости (и равновесия) достигается при $n=1$, но в этом случае субдоминанта вырождается в монолит, в котором нет субъектов самоорганизации — частиц. В результате этого утрачивается некая «квазиживая» сила, обеспечивающая способность системы к самоорганизации, под которой понимается согласованное (гармоническое) взаимодействие частиц, включающее самовосстановление параметров системы после неразрушительной деформации [10]. В механике аналогом этой силы является упругость, характеризующаяся модулем Юнга, равным напряжению, при котором линейный размер тела увеличивается вдвое [11].

Выражение для Z (или n) находим из (4):

$$Z = \ln(\Phi)/\ln(1-\Phi). \quad (5)$$

Способность к самоорганизации, придающая любой системе сходство с «живой», появляется при $n>1$, достигает максимума при $n=2$ (ср. с модулем Юнга) или $Z=0,5$ и $\Phi=0,62$, а затем, с дальнейшим ростом n , как и устойчивость, убывает. Т.е. максимум гармонии между компонентами системы наблюдается при значении $Z=0,5$, в обе стороны от которого гармонии убывает до нулевого значения.

Для оценки меры гармонии введем коэффициент Γ . В соответствии с изложенным, зависимость показателей взаимодействия компонентов системы — Φ , Z и Γ от n можно представить в виде графика (рис. 3), при этом Γ определять по формуле (8), если $n>2$ или $\Gamma \approx 0,5(n-1)$, если $n<2$.

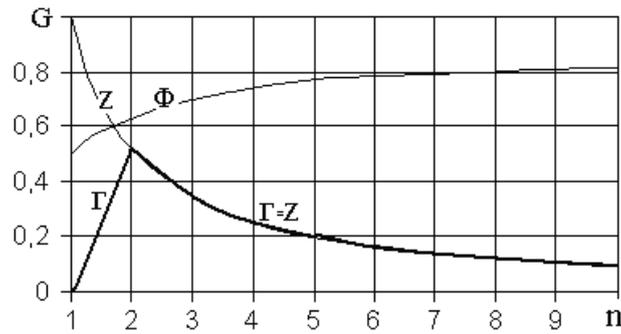


Рис. 3. Зависимость G (Φ , Z и Γ) от n (жирным выделена зависимость Γ от n)

Характер взаимодействия компонентов биоты. Возьмем, например, птиц и млекопитающих, составляющих фаунистическую компоненту биоты. В этой паре доминируют птицы (табл. 1). Поэтому величина Φ определяется как отношение таксонов птиц к сумме таксонов птиц и млекопитающих. На рисунке 4 показана зависимость Φ , а также средних значений Φ_c , Z_c и Γ_c от i (номера подзон). Так как $n > 2$, то согласно рис. 5, $Z_c = \Gamma_c$.

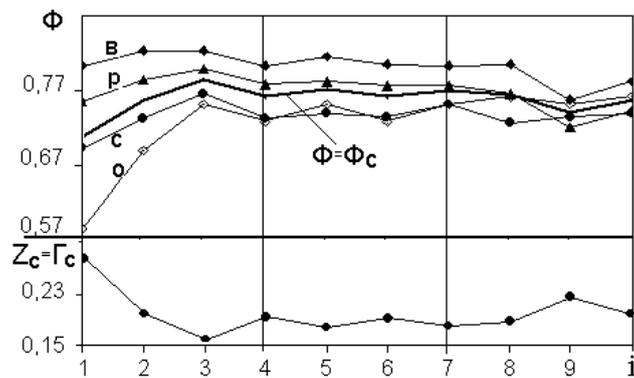


Рис. 4. Зависимость Φ и $Z_c = \Gamma_c$ от i (жирным выделен ход среднего значения $\Phi = \Phi_c$)

Из рисунка видно, что зональное распределение доминанты Φ в этой системе для всех градаций таксонов (кроме отрядов в тундре) примерно подобно (фрактально) [12]. Средние по подзонам значения Φ_c для четырехчленной иерархии *отряд* (*o*), *семейство* (*c*), *род* (*p*), *вид* (*b*) соответственно равны: 0,72; 0,73; 0,77; 0,8. Такое распределение близко к фрактальному: каждое последующее значение Φ_c больше предыдущего в среднем примерно в 1,035 раза. Незначительные колебания Φ вокруг средних значений возможно связаны с погрешностями наблюдений. Средние значения $Z_c = \Gamma_c = 0,2$ далеки от своих максимумов, что указывает на относительно малую взаимозависимость птиц и млекопитающих.

Иная картина наблюдается при анализе дихотомий, включающих фаунистические и флористические компоненты биоты, противостоящие и устойчиво уравновешенные между собой по классической схеме «охотник (едок) — жерт-

ва (еда)». Из табл. 1 видно, что в северной (холодной и влажной) фитосфере, где $J < 1$, доминируют животные, а в южной (теплой и сухой), где $J > 1$, — растения, только в степи вновь доминируют животные. В обеих частях фитосферы величина доминанты убывает в сторону пустынь — арктических на севере и тропических на юге. Значения Φ при анализе определялись как отношения доминанты по факту — животные, например птицы, или растения, к сумме доминанты и субдоминанты (птицы плюс растения).

На рис. 5 показана зависимость Φ для разных градаций таксонов (сверху вниз по перечислению): *вид*, *род*, *семейство*, а также средних значений показателей взаимодействия Φ_c (выделено жирным), Z_c и Γ_c от номера подзоны i (по табл. 1) для системы птицы-растения. Величины Z_c определялись по формуле (8), а $\Gamma_c \approx 0,5(n-1)$.

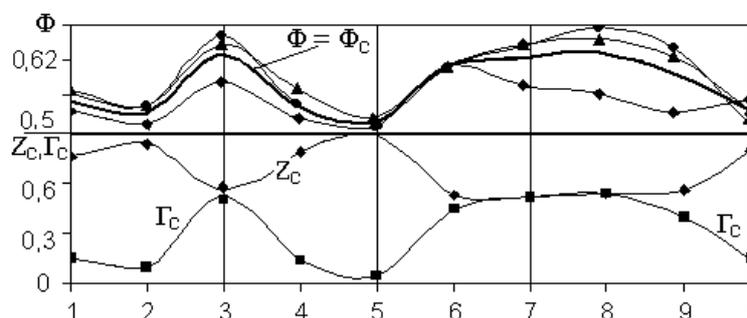


Рис. 5. Зависимость Φ , Φ_c , Z_c и Γ_c от i

Рассматриваемые зависимости изменяются волнообразно, причем $\Phi_c(i)$ и $\Gamma_c(i)$ подобны, а $Z_c(i)$ обратно подобна (симметрична) им. Значение $i = 5$, соответствующее средней тайге, где коэффициент сухости близок к оптимальному $J \approx 1$, при котором тепло и влага максимально (устойчиво) уравновешены, является центром симметрии, характеризующимся близким к максимуму значением $Z_c \approx 1$ и близкими к минимуму значениям Φ и Γ . В обе стороны от $i = 5$ Φ и Γ увеличиваются, а Z уменьшается.

Средние по подзонам значения Φ_c для трехчленной иерархии *семейство*, *род*, *вид* соответственно равны: $0,72$; $0,83$; $0,95$. Это распределение также близко к фрактальному: каждое последующее значение Φ_c больше предыдущего в среднем в $1,14$ раза.

Заключение. Количество биотических таксонов зависит от иерархического ранга и географического положения. Максимальные величины таксонов, соответствующие оптимальным условиям существования, наблюдаются в области подтайга-северная лесостепь, где индекс сухости изменяется в пределах $0,95 \div 1,2$ (близок к 1) К северу и югу от этой области величины таксонов убывают, к северу из-за недостатка тепла, к югу — от его избытка. Установлена формула зональной зависимости количества таксонов растений и животных любого ранга. Распределение биотические таксоны в ряду: вид-род-семейство фрактально.

В целом полученные результаты демонстрируют единство и взаимообусловленность существования растений и животных и их общую зависимость от климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
2. Гашев С.Н. Млекопитающие Тюменской области. Справочник-определитель. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. 336 с.
3. Гашев С.Н. База данных «Рабочее место орнитолога» Свидетельство № 2012620405 (зарегистрировано в Реестре баз данных 3 мая 2012).
4. Михеев В.С., Черкашин А.К. Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск: Наука, 2001. 263 с.
5. Стахов А.П. Роль «Золотого Сечения» и «Математики Гармонии» в преодолении «стратегических ошибок» в развитии математики // Академия Тринитаризма. М., Эл № 77-6567, публ., 12.01.2008.
6. Сороко Э.М. Структурная гармония систем. Минск: Наука и техника, 1984. 265 с.
7. Коновалов А.А., Иванов С.Н. Реконструкция истории климата по групповым палиноспектрам на примере Западной Сибири. Saarbrücken: Palmarium academic publ., 2012. 119 с.
8. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометиздат, 1971. 472 с.
9. Шварц С.С. Принципы и методы современной экологии животных. Доклад на философском семинаре по вопросам биологии. Свердловск: УФАН СССР, 1960. 51 с.
10. Коновалов А.А. Общие закономерности развития экогеосистем (деформационная модель). Saarbrücken: Palmarium Academic Publ., 2012. 252 с.
11. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1974. 255 с.
12. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А. Основы мультифрактального анализа видовой структуры сообщества // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128. № 1. С. 21-34.

REFERENCES

1. Il'ina, I.S., Lapshina, E.I., Lavrenko, N.N. i dr. *Rastitel'nyj pokrov Zapadno-Sibirskoj ravniny* [Vegetation Cover of West-Siberian Plain]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 250 p. (in Russian).
2. Gashev, S.N. *Mlekovitajushhie Tjumenskoj oblasti. Spravochnik-opredelitel'* [Mammals of Tyumen Region. Reference Book]. Tyumen: Tjumenskij gosudarstvennyj universitet publ. 2008. 336 p. (in Russian).
3. Gashev, S.N. «*Rabochee mesto ornitologa*» [Database "An Ornithologist's Working Place"]. Certificate No. 2012620405 (registered in the Database Register, 3 May 2012) (in Russian).
4. Miheev, V.S., Cherkashin, A.K. *Landshaftnyj sintez geograficheskikh znaniy* [Landscape Synthesis of Geographical Knowledge]. Novosibirsk: Nauka, 2001. 263 p. (in Russian).
5. Stahov, A.P. The Role of the "Golden section" and "Mathematics of Harmony" in Overcoming of "Strategic Mistakes" in mathematics Development. *Akademiya Trinitarizma — Academy of Trinitarism*. Moscow, Jel № 77-6567, publ., 12.01.2008 (in Russian).
6. Soroko, Je. M. *Strukturnaja garmonija sistem* [Structural Harmony of Systems]. Minsk: Nauka i tehnika, 1984. 265 p. (in Russian).
7. Konovalov, A.A., Ivanov, S.N. *Rekonstrukcija istorii klimata po gruppovym palino-*

spektram na primere Zapadnoj Sibiri [Reconstruction of the Climate History in Group Palinspecters Exemplified by Western Siberia]. Saarbrücken: Palmarium academic publ., 2012. 119 p. (in Russian).

8. Budyko, M.I. *Klimat i zhizn'* [Climate and Life]. Leningrad: Gidrometizdat, 1971. 472 p. (in Russian)

9. Shvarc, S.S. *Principy i metody sovremennoj jekologii zhivotnyh* [Principles and Methods of the Contemporary Animal Ecology]. Report at the Philosophical Seminar on Biological Issues. Sverdlovsk: UFAN SSSR, 1960. 51 p. (in Russian).

10. Konovalov, A.A. *Obshhie zakonomernosti razvitiya jekogeosistem (deformacionnaja model')* [General Regularities of Ecological Geosystems Development (Deformational Model)]. Saarbrücken: Palmarium Academic Publ., 2012. 252 p. (in Russian)

11. Koshkin, N.I., Shirkevich, M.G. *Spravochnik po jelementarnej fizike* [Reference Book on Elementary Physics]. Moscow: Nauka, 1974. 255 p. (in Russian).

12. Gelashvili, D.B., Iudin, D.I., Rozenberg, G.S. Jakimov, V.N., Solncev, L.A. Basics of Multifractal Analysis of A Society's Species Composition. *Uspehi sovremennoj biologii* — *Successes of Modern Biology*. 2008. Vol. 128. № 1. Pp. 21-34 (in Russian).