

**Сергей Николаевич ГАШЕВ<sup>1</sup>**

**Александр Александрович КОНОВАЛОВ<sup>2</sup>**

**Мария Николаевна КАЗАНЦЕВА<sup>3</sup>**

УДК 581.9, 591.9

## **О ХАРАКТЕРЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БИОТЫ И КЛИМАТА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

<sup>1</sup> доктор биологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой зоологии  
и эволюционной экологии животных,  
Тюменский государственный университет  
gsn-61@mail.ru

<sup>2</sup> доктор технических наук,  
кандидат географических наук,  
главный научный сотрудник,  
Институт проблем освоения Севера,  
Тюменский научный центр СО РАН  
konov7@gambler.ru

<sup>3</sup> кандидат биологических наук,  
ведущий научный сотрудник, Тюменский научный центр СО РАН;  
доцент кафедры экологии и генетики,  
Тюменский государственный университет  
mnkasantseva@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье проведен анализ количественных закономерностей в распределении и взаимодействии основных элементов биоты на территории разных природных зон Западной Сибири. Показана их зависимость между собой и от климатических особенностей территории. Предложена формула зональной зависимости числа таксонов

---

**Цитирование:** Гашев С. Н. О характере взаимодействия элементов биоты и климата в Западной Сибири / С. Н. Гашев, А. А. Коновалов, М. Н. Казанцева // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 2. С. 108-125.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-108-125

растений и животных любого ранга, соответствующая «Золотому сечению». Введены и обоснованы физически показатели, которые характеризуют комплексное функционирование различных элементов биоты на разных уровнях иерархии. Составлена математическая модель описываемых взаимодействий биотических компонентов и региональных особенностей климата. Установлено, что число биотических таксонов в регионе зависит от индекса сухости: вслед за ним оно сначала увеличивается от тундры к границе тайги и лесостепи, где достигает максимума, а затем уменьшается в сторону степной зоны. Взаимодействие компонентов биоты характеризуется двумя основными показателями: степенью согласованности (гармонии)  $\Phi$  и устойчивости  $Z$ . Выполненный с использованием этих показателей анализ состояния биотических систем адекватно отражает уровень и резервы их функционирования. В целом представленный анализ закономерностей показывает единство и взаимную обусловленность функционирования высших растений и позвоночных животных, их общую зависимость от климатических особенностей региона. Оценивается влияние этих закономерностей на устойчивость и равновесие экосистем.

**Ключевые слова**

Биота, климат, взаимодействие, устойчивость, гармония.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-108-125

**Введение**

Взаимосвязь показателей разнообразия сообществ организмов, их стабильности и устойчивости с абиотическими и биотическими факторами среды, в которой они обитают, является одним из центральных вопросов системной экологии [14, 5, 7, 8 и др.]. Ранее авторами исследовано зональное и иерархическое распределение логарифмов таксонов, которым придан энтропийный смысл [11]. Настоящая статья является продолжением и развитием предыдущей работы в части оценки состояния биоты по таким ее показателям, как устойчивость и согласованность (гармония) совместного функционирования ее составляющих. Для анализа использована общая схема зоо- и ботанико-географического районирования этой территории. Системы любой природы, в том числе биотические, состоят из множества частиц (элементов), так или иначе влияющих друг на друга и на систему в целом. Однако в большинстве случаев поведение и состояние системы удастся представить как результат взаимного действия двух главных противоположностей, суммирующих воздействия противостоящих сил разного рода и ранга, но составляющих единое целое, таких, например, как *флора и фауна, лес и степь, суша и море, богатые и бедные* и т. п. В нашем исследовании подобный — дихотомический подход использован при анализе состояния биоты и характера взаимодействия флористических и фаунистических элементов Западной Сибири.

### Методы и материалы

Для исследования были взяты ряды опубликованных ранее нами данных о числе различных таксонов биоты: отряды (порядки), семейства, роды и виды сосудистых растений и высших наземных позвоночных животных (птиц и млекопитающих) в градиенте природно-климатических зон и подзон Западно-Сибирской равнины. Качественная характеристика таких элементов биоты, как растительный покров и животный мир Западной Сибири (ЗС), дается в работах [1, 3, 6, 10]. В результате анализа этих рядов установлены зависимости их от природных географических особенностей региона (например, от индекса сухости [2]). Формулы зависимости числа таксонов растений и животных с точки зрения географического распространения и иерархии, а также графики зависимости и ее достоверности  $R^2$  рассчитаны с использованием общедоступной программы MS Excel.

### Результаты и обсуждение

*Определяющие показатели климата.* Общеизвестно и широко освещено в научной печати то обстоятельство, что географическое распределение элементов биоты любого региона и Земли в целом определяется климатом [14, 4 и др.]. В то же время не менее известным фактом является и то, что все элементы климата (ЭК) тесно связаны друг с другом. Более того, уже установлены и некие выражения, которые количественно описывают эти связи для условий, например, исследуемого региона ЗС [12] и которые, в свою очередь, дают возможность по какому-то известному исследователю ЭК, например, по радиационному индексу сухости  $J$  [2] или линейно связанному с ним гидротермическому коэффициенту Селянинова [18] определить все остальные. Мы предлагаем разделить фитосферу исследуемого региона на две составляющих: ее северную (где влажно и прохладно) и южную (где сухо и тепло) части, исходя из указанной нами выше величины  $J$ . Реальные границы в природе между этими частями в исследуемом регионе практически совпадут с изолинией  $J = 1$ . При этом параметры тепло- и влагообмена в обозначенных нами северной и южной частях фитосферы в пределах ЗС, которые характеризуются величиной  $J$ , а также все связанные с ними показатели будут обратно симметричны. Распределение показателя  $J$  соответственно в выделенных нами южной и северной частях фитосферы обратно симметрично (при этом существует четкая логарифмическая зависимость). Так, видим, что зона устойчивого существования высших сосудистых растений на севере фитосферы ЗС региона будет ограничена изолиниями  $J = J_c \approx 0,2 \dots 0,33$  (подзона северных тундр), тогда как на юге ЗС —  $J = J_{ю} \approx 5 \dots 3$  (подзона южной полупустыни) [2], отсюда следует, что  $J_c \approx 1/J_{ю}$  или что  $\ln J_c \approx \ln(1/J_{ю}) \approx -\ln(J_{ю})$ . На рис. 1 нами продемонстрирована графическими методами существующая математическая связь суммы осадков за год  $U$  (см) в изучаемом регионе и годовой продуктивности растительного покрова  $P_r$  (т/га×год) здесь же от этой величины  $J$ . Данные  $U$  и  $P_r$  могут быть легко взяты из соответствующих справочников. Даже беглый анализ на представленный в статье рис. 1 свидетельствует, что

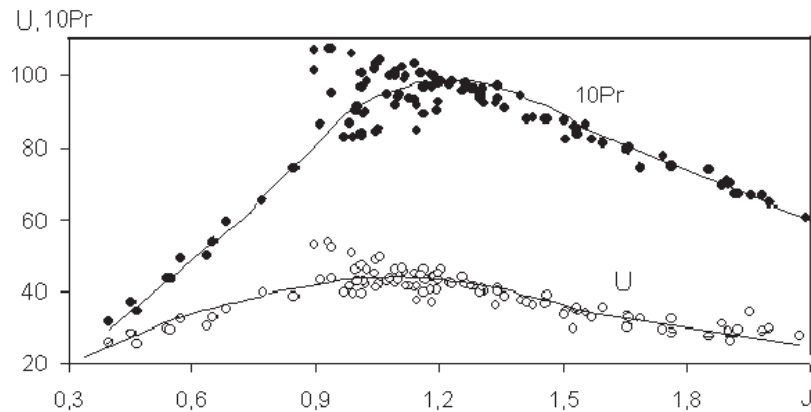


Рис. 1. Связь годовой суммы осадков —  $U$  и продуктивности растительного покрова —  $Pr$  с индексом сухости —  $J$

Fig. 1. Correlation of the annual amount of precipitation —  $U$  and vegetation productivity —  $Pr$  with the dryness index —  $J$

кривые наблюдаемых зависимостей указанных выше показателей имеют форму типичных циклоид, максимум которых (их пик) соответствует величине  $J = 0,95 \div 1,2$  (близко к  $J \approx 1$ ).

*Распределение таксонов биоты.* В таблице 1 нами приводится распределение исследуемых таксонов биоты разного ранга (наземных позвоночных: птиц и млекопитающих, а также высших сосудистых растений) и средних значений величины  $J$  по природно-климатическим зонам и подзонам ЗС (2, 3, 9). По Р. Примаку [15], разнообразие биоты увеличивается от полюсов к экватору. Как следует из таблицы 1, в Западной Сибири распределение биоты имеет более сложный, циклический характер. От границы леса с лесостепью, где индекс сухости  $J$  изменяется в пределах 0,95-1,2 (в среднем около 1), и южнее разнообразие и богатство биоты не растет, а убывает. Специфика природных зон и подзон в таблице 1 отражена их порядковыми номерами  $i$ . Используя данные таблицы 1, можно найти зависимость биотических таксонов непосредственно от индекса сухости  $J$ . На рис. 2 представлены графики и формулы соответствия  $i$  и  $J$ , найденные по данным в столбцах 1 и 3 таблицы 1. Верхняя кривая (1) отображает функцию  $J$  от  $i$ ; нижняя кривая (2), в свою очередь, как мы можем видеть, составлена из двух относительно самостоятельных кривых, где левая (при  $i \leq 5$ ), восходящая  $J_c = J$ , хорошо отражает связь  $i$  и  $J$  в северной части фитосферы исследуемого региона, а правая, нисходящая  $J_{ю} = 1/J_c$ , соответственно, — в ее южной части в ЗС. Подчеркнем, что в данном случае именно эта составная кривая и определяет циклический характер зонального распределения общего биотического богатства (числа таксонов растений и животных разного ранга): его увеличение в северной части фитосферы и уменьшение в южной.

Таблица 1

Число известных таксонов животных (птиц + млекопитающих) и сосудистых растений, а также средние значения индекса сухости — J в i-й подзоне Западной Сибири

Table 1

The number of known taxa of animals (birds + mammals) and vascular plants, as well as the average index value of dryness — J in ith subzone of West Siberia

i	Подзона	J	Животные				Растения			
			Отряды	Семейства	Роды	Виды	Порядки	Семейства	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	<i>141+41</i>	<i>271+67</i>	57	74	260	493
8	Северная лесостепь	1,3	<i>19+6</i>	50+19	139+43	259+63	55	64	267	<i>540</i>
9	Южная лесостепь	1,5	18+6	48+18	135+42	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

Примечание: 1) таксоны Отряды (зоологические) и Порядки (ботанические) по содержанию идентичны; 2) максимальные значения таксонов выделены курсивом

Notes: 1) zoological and botanical taxa Orders are identical in their content; 2) the maximum values for taxa are italicized

Нами установлено общее уравнение распределения числа основных, рассмотренных в данной работе таксонов биоты по зонам  $T_p \approx T_{\text{ж}} \approx T_{p,\text{ж}}$ :

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

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  представляют собой эмпирические константы, значения которых могут быть легко определены из таблицы 2. Анализируя же эту таблицу, можно заметить, что достоверность приведенной нами в настоящей статье формулы (1) высокая (у высших наземных позвоночных животных особенно). Характерно, что для таксонов животных, представленных классами птиц и млекопитающих в ЗС, кубическая формула полинома (1), преобразуясь, превращается уже в более простую квадратичную формулу ( $A = 0$ ). Видим, что при этом и кривые графиков на рис. 1 будут практически симметричны относительно  $J \approx 1$ .

Средние же зональные значения числа таксонов высших сосудистых растений  $T_p$  и наземных позвоночных животных (птиц и млекопитающих)  $T_{\text{ж}}$  в основных разрядах их иерархии: семействах ( $r = 1$ ), родах ( $r = 2$ ) и видах ( $r = 3$ ) составляют в нашем примере, соответственно,  $T_p$ : 47, 148, 278 и  $T_{\text{ж}}$ : 57,4, 148,4, 263. Как мы можем увидеть, в каждом из этих трех разрядов они близки по своей величине, а разница между ними лежит в пределах погрешности наблюдений. Дальнейший анализ показал, что зависимость средnezональных значений  $T_p \approx T_{\text{ж}} \approx T_{p,\text{ж}}$  от  $r$  с высокой достоверностью  $R^2 = 0,99$  аппроксимируется формулой прямой:

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

Распределение  $T_p$  и  $T_{\text{ж}}$  по указанным трем разрядам в каждой отдельной подзоне также подчиняет формуле (2) со своими численными коэффициентами, которые несложно рассчитать по данным таблицы 1. Например, в лесотундре первый и второй коэффициенты в формуле (2) равны 77,5 и 41,7; в подтайге — 108,5 и 61,7; в северной лесостепи — 104,5 и 59,7; в южной лесостепи — 81,5 и 40,3 и т. д.

*Дихотомическая природа взаимосвязи биотических систем, константы взаимодействия.* Биотическую систему мы предлагаем рассматривать как дихотомию: т. е. такую относительно закрытую систему, которая состоит из двух противоположностей, которые, в свою очередь, функционально взаимодействуют между собой, а именно: доминанты  $Y$  и субдоминанты  $\check{Y}$  могут быть оценены в нашей модели и выражены в долях единицы таким образом, что их сумма ( $\check{Y} + Y$ ) будет равна 1. Показательно, что так как субдоминанта, как правило, и сама состоит из множества более мелких частей ( $n$ ), то ее вполне возможно рассматривать как среднее геометрическое из числа этих самых мелких частей:  $X = \check{Y}^{1/n}$ . Хорошо видно, что в этом случае в представленной нами модели биоты выражение суммы естественно преобразуется в  $X^n + Y = 1$ . Далее констатируем, что при этом с любым повышением величины  $X$  величина  $Y$  будет закономерно уменьшаться. Ну а в тех же точках нашей модели, где они становятся равны:  $Y = X = \Phi = \text{const}$ , рассматриваемая биотическая система будет находиться в состоянии устойчивого равновесия со своими элементами, а сама формула этой суммы приобретает уже следующий вид:

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

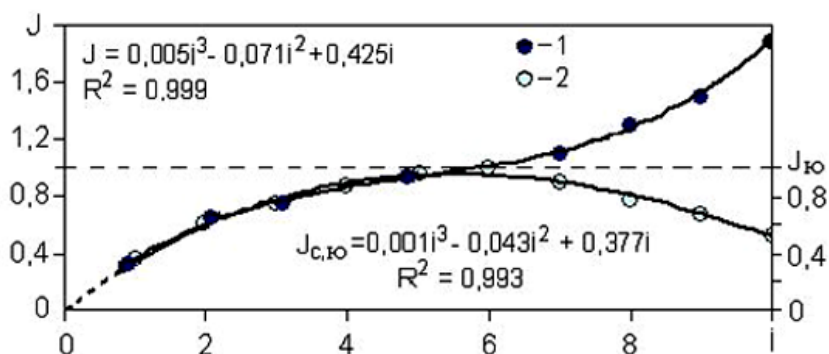


Рис. 2. Графики соответствия между порядковыми номерами подзон Западной Сибири в таблице 1 —  $i$  и индексом сухости —  $J$  (пояснения в тексте)

Fig. 2. The graph of the consistency between the sequence numbers of the subzones in Western Siberia in Table 1 —  $i$  and the dryness index —  $J$  (see explanations in the text)

Таблица 2

**Постоянные в формуле (1):**  $T_{p,j} = Ai^3 + Bi^2 + Ci + D$  (где  $T$  — число таксонов, а  $i$  — номер подзоны) и ее достоверность ( $R^2$ ) для: I — растений, II — животных (пояснения в тексте)

Table 2

**The constants in the equation (1):**  $T_{p,j} = Ai^3 + Bi^2 + Ci + D$  (where  $T$  is the number of taxa, and  $i$  — the number of subzones) and its accuracy ( $R^2$ ) for: I — plants, II — animals (see explanations in the text)

№	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



Уравнение (3) — трансцендентное; для его решения относительно  $\Phi$  применяются численные (приближенные) методы с использованием компьютерных программ. При  $n < 10$  достоверные ( $R^2 = 0,99$ ) результаты дает приближенная формула [18]:

$$\Phi = 0,5 + 0,6 \ln(n). \quad (4)$$

Явно формула (3) решается только для  $n$ :

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

В задачах по исследованию взаимодействия компонентов биотических систем это как раз и нужно.  $\Phi$  — относительная величина доминанты в заданной дихотомии, которая легко определяется из начальных условий, в нашем случае — из таблицы 1. Например, при анализе дихотомии семейств птиц и растений в подтайге величина  $\Phi$  вычисляется как отношение семейств растений (доминирующая компонента этой дихотомии) к сумме семейств птиц и растений:  $\Phi_c = 74/(54 + 74) = 0,58$ , тоже для родов —  $\Phi_p = 141/401 = 0,65$ , и видов —  $\Phi_b = 493/764 = 0,65$ . А неизвестной, *искомой*, величиной является  $n$ , которая и определяется по формуле (5).

Значения  $\Phi = \Phi_n$ , соответствующие разным целым  $n \geq 1$ , составляют последовательность вида: 1) 0,5; 2) 0,618; 3) 0,682; ...; 31) 0,923 ..., все члены которой представляют собой нечто иное, как так называемые «Обобщенные Золотые сечения» (ОЗС). Многие ученые, изучавшие структурные деления в растительном или в животном мире, как правило, приходили к общеизвестному ряду Фибоначчи, который является примером арифметического выражения Закона «Золотого сечения». Согласно утверждению белорусского ученого Э. М. Сороко [16], эти «обобщенные золотые сечения есть суть инварианты, на основе и посредством которых в процессе самоорганизации естественные системы обретают гармоническое строение, стационарный режим существования и структурно-функциональную устойчивость» [16]. Вышеназванный автор выдвигает гипотезу о том, что золотые сечения есть не что иное, как числовые инварианты самоорганизующихся систем. При этом для нас особенно важно, что ОЗС в общем виде характеризуются двумя константами: основной (большой), где  $\Phi > 0,5$ , и дополнительной, имеющей вид  $1-\Phi = \Phi^n$ , которые сосуществуют в диалектическом единстве и противостоянии как естественная дихотомия. Собственно Золотое сечение получается, в частности, при подстановке в формулу (3)  $n$ , равному 2:  $(\Phi_2/1) = (1-\Phi_2)/\Phi_2 \approx 0,618 \approx 0,62$ . А это фактически как раз и будет наиболее часто встречающаяся из всех пропорций пропорция для любых равновесных оппозиций в разнообразных системах, а также оптимальное (а с точки зрения термодинамики самое энергетически выгодное) соотношение всех более мелких структурных элементов системы, которое, в сущности, и обеспечивает ее максимальную общую структурированность и упорядоченность [16, 17 и др.]. Упорядоченность же, снижая энтропию, в живых системах обеспечивает их устойчивость (при наличии практически неиссякаемого источника солнечной энергии на Земле). Для нас теперь вполне очевидно, что величина  $n$  (т. е. число более мелких частей в субдоминанте) при этом указы-



вает на мерность объекта, в т. ч. его геометрическую форму. Так, например, в классической геометрии, линия всегда будет одномерной ( $n = 1$ ), а плоскость двумерна ( $n = 2$ ), тогда как геометрически представимое пространство, как правило, будет трехмерно ( $n = 3$ ). При этом важно для исследуемой нами модели, что приведенные выше формулы (3) и (4) будут справедливы как для целых значений  $n$ , так и для всего их множества: от 0 до  $\infty$ , включая даже дробные числа. Поэтому, что особенно важно, понятие ОЗС мы можем распространить на любую пару чисел, меньших 1 и в сумме составляющих 1. Пространство же между  $(1-\Phi_n)$  и  $\Phi_n$  на графике так называемого «жизненного цикла» системы, имеющего форму купола, отражающем такие важные этапы в развитии, как «молодость» (подъем), «зрелость» (вершину) и «старость» (спад) системы, — это есть именно стадия «зрелости», которая по своей сути и характеризуется постоянной и минимальной за весь этот «жизненный цикл» системы скоростью ее деформации (или трансформации). На примере нашего исследования биоты особенно важно, что именно на этой стадии все живые системы только и могут обладать способностью воспроизводства (репродукции). Функционирование системы характеризуется и другими константами, связанными друг с другом через количество частиц  $n$ . Графики этой связи показаны на рис. 3. Значения всех констант отложены на оси ординат и для наибольшего удобства обозначены нами одной буквой —  $G$ ; при этом здесь горизонталь  $G = 0,5$  является осью симметрии дихотомий, а вертикаль  $n = 2$ , соответственно, — осью симметрии всего «жизненного цикла» нашей модельной системы. Рассмотрим физический смысл этих констант. С увеличением мелких частей системы ( $n$ ) растет и число разделительных линий в ней, то есть тех границ, которые являются, по существу, концентраторами напряжений. В природе именно такие места и представлены

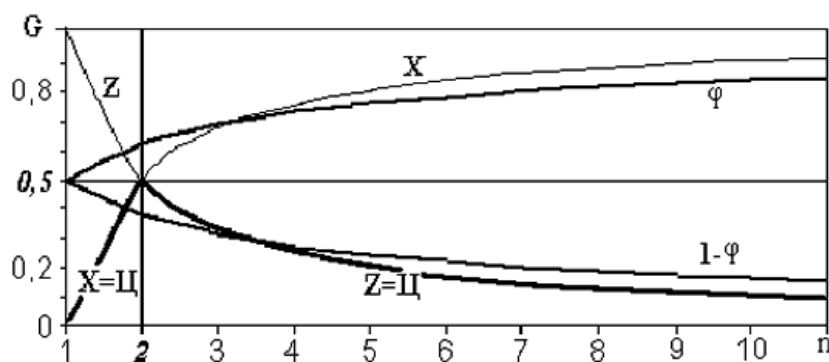


Рис. 3. Зависимость констант взаимодействия —  $G$  ( $\Phi$ ,  $1-\Phi$ ,  $Z$ ,  $X$  и  $\Psi$ ) от количества частиц в субдоминанте —  $n$  (пояснения в тексте)

Fig. 3. The dependence of the interaction constants —  $G$  ( $\Phi$ ,  $1-\Phi$ ,  $Z$ ,  $X$ , and  $\Psi$ ) of the number of particles in a subdominant —  $n$  (see explanations in the text)

различными «экотонами», как любые опушки лесных массивов, границы раздела трех сред — суша, вода, воздух (прибрежные зоны любых водоемов: морей, озер и рек), снеговая линия в высотной поясности горных систем, переходные подзоны в географической зональности (скажем, лесотундры, лесостепи, полупустыни и т. д.). Например, в фенологии — это такие межсезонья, как весна или осень. И даже в социальном плане границы между различными этносами, нациями или отдельными государствами и т. д. и т. п. также представляют своеобразные «экотоны», которые в наибольшей степени чувствительны к любым флуктуациям или трансформациям факторов внешней для них окружающей среды и в наибольшей степени подвержены деформациям (равно трансформациям!). Другими словами, мы можем утверждать, что это именно те участки природных (да и других типов) систем, которые обладают самой низкой общей устойчивостью и, как следствие, самой большой вероятностью их разрушения. При этом чем меньше составных частей (элементов) в системе, тем закономерно меньше в ней и границ раздела разного рода, меньше реальных рисков разрушения, а следовательно, выше ее устойчивость и стабильность..

Понятие *устойчивости* любой системы в научной литературе вполне справедливо многими авторами тесно связывается с ее *равновесием*. Вполне закономерно, что чем устойчивее система, тем она будет и более равновесна (впрочем, как и наоборот!). Таким образом, вполне очевидно, что обратная величина числа более мелких составных частей в любой системе:  $1/n = Z$ , которая изменяется от 1 до 0, может служить вполне приемлемой на практике относительной мерой стабильности, устойчивости (а значит, и равновесия) этой системы. При этом максимум устойчивости  $Z = 1$  достигается при  $n = 1$  (рис. 3), но в этом случае наша система превращается в «монолит», в котором фактически отсутствуют субъекты самоорганизации и гармонизации, представляемые отдельными составными частями. В свою очередь, как следствие этого, исчезает и некая так называемая «квазиживая» сила, которая, с нашей точки зрения, единственная и способна обеспечить возможность самоорганизации и саморазвития любых природных или социальных систем. Под результатом действия этой силы мы подразумеваем гармоническое и согласованное взаимодействие частей системы, обеспечивающее самовосстановление основных ее свойств и структурных или функциональных параметров после неразрушительной деформации системы, после снятия деформирующей нагрузки (упругая устойчивость системы). Для примера, в механике определенным аналогом обсуждаемой нами силы может быть установлена упругость, характеризующаяся модулем Юнга, равному напряжению, при котором «линейный размер тела увеличивается вдвое» [13]. В тоже время вполне очевидно, что устойчивости или упорядоченности систем всегда противостоит их неустойчивость или неупорядоченность, т. е. «хаос»:  $X = 1 - Z$ , где  $X$  и  $Z$  — относительные величины, под которыми понимаются любые оппозиции, сосуществующие по закону единства и борьбы противоположностей (т. е. как дихотомии) таким образом, что рост одной из оппозиций происходит не иначе, как за счет уменьшения другой (Закон сохранения!).

Монотонное линейное увеличение числа составляющих (и, в свою очередь, составных) частиц  $n$  в общей системе в определенной мере можно образно сравнить с течением времени в ее некоем «жизненном цикле», в начале которого в интервале от  $n = 1$  до  $n = 2$  жизненная энергия возрастает, а при значениях  $n > 2$  падает. При этом мы особо уделяем внимание тому факту, что способность к саморазвитию и самоорганизации или, по другому, «жизненная энергия», придающая любой системе сходство с «живой», появляется при значениях  $n > 1$  и достигает максимальных величин при величине  $n = 2$  (сравните с модулем Юнга!) или  $Z = 0,5$  и  $\Phi = 0,62$ . Затем при дальнейшем росте числа частиц  $n$  эта способность, как и устойчивость систем, снижается. Таким образом, максимум жизненной энергии в нашей модели совпадает со значением  $Z = X = 0,5$  (в случае, когда «порядок»  $Z$  и «хаос»  $X$  уравновешены), в обе стороны от которого она закономерно уменьшается.

Нами в исследуемой модели представлена еще одна кривая ( $\Pi$ ), состоящая, в свою очередь, из двух образующих ее частей (отрезков): кривой  $X$  (при  $n = 1 \dots 2$ ) и кривой  $Z$  (при  $n > 2$ ), которая может послужить адекватной и вполне репрезентативной моделью течения так называемого «жизненного цикла» системы, включающего стадии становления (роста, прогресса) системы ( $X = \Pi$  при  $n = 1 \dots 2$ ) и ее деградации, спада ( $Z = \Pi$  при  $n > 2$ ). На рис. 3 эта составная кривая, имеющая форму угла, выделена жирным шрифтом. Из рис. 3 следует, что гармоническое, т. е. максимально согласованное взаимодействие всех элементов системы с максимальным потенциалом ее внутренней энергии развития (так называемой «жизненной силы системы»), мы можем наблюдать при  $n = 2$ , когда  $Z = X = 0,5$ , а  $\Phi = 0,62$ . *Связанная пара  $n = 2$  и  $\Phi = 0,62$  является оптимальным сочетанием этих главных показателей взаимодействия компонентов дихотомической системы.*

*Характер взаимодействия элементов биоты.* На рис. 4 показана видовая зависимость констант взаимодействия  $\Phi$ ,  $Z$  и  $X$ , обозначенных общим символом  $G$ , от  $i$  для двух систем биоты, отличающихся характером взаимосвязи: 1) птицы и млекопитающие; 2) растения и животные. Величина  $\Phi$  определялась как отношение числа видов доминирующей компоненты к сумме видов доминанты и субдоминанты. В первой системе, как правило, доминируют птицы, во второй — растительность (таблица 1). Такие же графики для других таксонов имеют примерно подобную конфигурацию. Общим у графиков, характеризующих взаимодействие разных групп животных (слева на рис. 4) и животных и растений, является только то, что в обоих случаях устойчивость  $Z$  с высокой достоверностью ( $R^2 > 0,995$ ) линейно связана с показателем гармонии  $\Phi$ , пропорциональна ему. Это вызвано небольшим интервалом изменений этих параметров, на больших интервалах эта связь логарифмическая (см. формулу 4). В остальном графики существенно отличаются из-за разного характера взаимодействия этих систем.

Левые графики на рис. 4 отражают взаимодействие птиц и млекопитающих, составляющих единую фаунистическую компоненту биоты и, что очевидно,

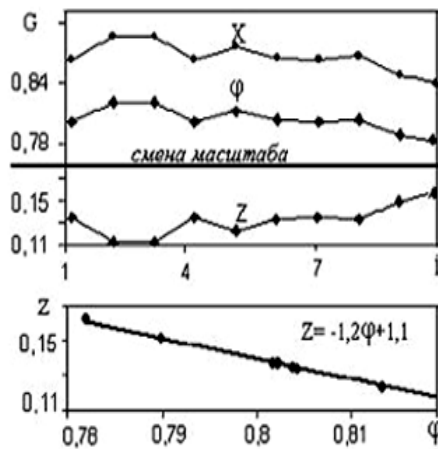


Рис. 4. Зависимость констант взаимодействия —  $G$  ( $\Phi$ ,  $Z$ ,  $X$ ) от порядковых номеров подзон Западной Сибири в таблице 1 —  $i$  и меры устойчивости системы —  $Z$  от  $\Phi$  (где  $\Phi$  определяется как отношение числа видов доминирующей компоненты к сумме видов доминанты и субдоминанты) для двух систем: млекопитающие — птицы (слева) и животные — растения (справа)

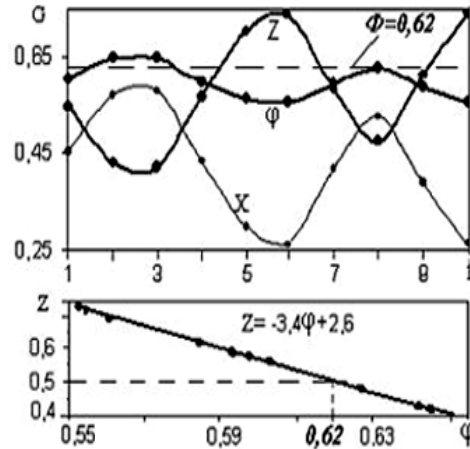


Fig. 4. The dependence of the interaction constants —  $G$  ( $\Phi$ ,  $Z$ ,  $X$ ) from ordinal subzones in Western Siberia in Table 1 —  $i$  and the measures system stability —  $Z$  of  $\Phi$  (where  $\Phi$  is defined as the ratio of the number of species of the dominant component to the sum of dominant and subdominant species) for two systems: mammals — birds (left) and animals — plants (right)

несильно противоборствующих друг другу. Это подтверждается анализом размеров констант  $\Phi$ ,  $X$  и  $Z$ , рассчитанных по фактическим данным (таблица 1) с помощью приведенной выше методики. На всем пространстве, включающем 10 климатических подзон, эти величины изменяются мало, в пределах 6–8 %, что соизмеримо с точностью наблюдений. Мало отличаются они и по градациям ранжирования. Так, средние зональные значения  $\Phi = \Phi_c$  для иерархии четырех членов: *отряд*, *семейство*, *род*, *вид* — соответственно равны: 0,72; 0,73; 0,77; 0,8, а их среднее арифметическое — 0,76. Величины  $X_c = 1 - Z_c$  прямо пропорциональны  $\Phi$  с коэффициентом пропорциональности 1,076. Т. е.  $X \approx 1,08\Phi$ , и, следовательно, величины  $X$  и  $Z$  изменяются так же мало, как и  $\Phi$ . Распределение этих показателей по иерархическим рангам близко к фрактальному [9]: каждое последующее значение  $\Phi_c$  и  $X_c$  больше предыдущего в среднем в 1,04 раза. Сочетание средних значений устойчивости  $Z_c \approx 0,14$  и  $\Phi_c \approx 0,76$  далеко от оптимального:  $Z_c \approx 0,5$  и  $\Phi_c \approx 0,62$ , причем вся область значений  $\Phi$ ,  $Z$  и  $X$  находится в деградиционной стадии, где  $n = 1/Z > 2$  (по рис. 3). Все это говорит об относительно малой взаимозависимости птиц с млекопитающими и ее хаотическом характере. Наверное, можно сказать и более категорично: в рассма-

триваемом регионе явной, очевидной взаимозависимости между этими группами фауны нет.

Однако отметим, что немного другая ситуация может наблюдаться при аналогичном рассмотрении дихотомий, которые также включают в себя как фаунистические, так и флористические элементы биотических систем, но противостоящие и относительно устойчиво уравновешенные между собой по такому типу взаимодействия, как, например, «охотник (поедатель) — жертва (еда)» или «паразит — хозяин». Характер их взаимодействия иллюстрируется графиками в правой части рис. 4. Из таблицы 1 хорошо видно, что если в северной части нашей фитосферы в ЗС (холодной и влажной), где  $J < 1$ , доминируют элементы биотической системы, представленные животными, то в южной ее части (теплой и сухой), где  $J > 1$ , доминируют уже элементы, представленные высшими сосудистыми растениями. И в пределах ЗС лишь в зоне степи доминирование в биоте снова переходит к животным. При этом отметим, что в обеих рассматриваемых нами частях общей фитосферы ЗС величина доминирования закономерно убывает от границы леса с лесостепью в сторону любых пустынь: арктических — на севере, и тропических — на юге.

Для проведения практического анализа биоты конкретные значения величины  $\Phi$  определяются нами как отношения фактической доминанты таксонов позвоночных животных или сосудистых растений к их общей сумме. Волнообразные колебания показателей гармонии  $\Phi$ , особенно устойчивости  $Z$  и хаоса  $X$ , от одной подзоны к другой в этом случае более выражены. Среднезональные величины  $\Phi_c$ : 0,57; 0,59; 0,60 и  $Z_c$ : 0,66; 0,59; 0,56 в ряду семейство — род — вид довольно близки, особенно на видовом уровне, к оптимуму развития:  $Z_c \approx 0,5$  и  $\Phi_c \approx 0,62$ , причем вся область значений  $\Phi$ ,  $Z$  и  $X$  находится в стадии роста, когда  $n = 1/Z < 2$  (по рис. 3). Наблюдается два пика  $\Phi$ : на границе леса и степи — в северной лесостепи, где величина  $\Phi = 0,62$  оптимальна, и на границе леса и тундры — в лесотундре, где величина  $\Phi \approx 0,65$  близка к оптимальной. Устойчивость, наоборот, на этих границах минимальна, но также близка к оптимуму развития  $Z = 0,5 \dots 0,55$ . Максимальная устойчивость  $Z = 0,73$ , при минимальном показателе гармонии  $\Phi = 0,55$  — в таежной зоне. Таким образом, анализ свидетельствует об устойчивости и высокой степени согласованности (гармонии) совместного функционирования флоры и фауны как единой системы и наличии резервов ее дальнейшего позитивного развития.

### Заключение

Таким образом, число биотических таксонов в рассматриваемом регионе зависит от индекса сухости и вслед за ним сначала увеличивается от тундры к границе тайги и лесостепи, где достигает максимума, а затем уменьшается в сторону степной зоны. Нами предложена формула зональной зависимости числа таксонов растений и животных любого ранга. Показано, что взаимодействие компонентов биоты характеризуется двумя основными показателями:

степенью согласованности (гармонии)  $\Phi$  и устойчивости  $Z$ . Выполненный с использованием этих показателей анализ состояния биотических систем адекватно отражает уровень и резервы их функционирования. В целом анализ представленных закономерностей может демонстрировать единство и взаимную обусловленность сосуществования как растительных и животных организмов, так и их сообществ, а также их общую закономерную зависимость от климата конкретного региона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С. П. Биологическое разнообразие и географическое распространение позвоночных животных Тюменской области / С. П. Арефьев, С. Н. Гашев, А. Г. Селюков // *Западная Сибирь — проблемы развития*. Тюмень: ИПОС СО РАН, 1994. С. 92-116.
2. Будыко М. И. *Климат и жизнь* / М. И. Будыко. Л.: Гидрометиздат. 1971. 472 с.
3. Гашев С. Н. База данных «Рабочее место орнитолога». Свидетельство № 2012620405 (зарегистрировано в Реестре баз данных 3 мая 2012) / С. Н. Гашев.
4. Гашев С. Н. Зоогеография и история фаун / С. Н. Гашев. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008 б. 256 с.
5. Гашев С. Н. Конспекты лекций по системной экологии / С. Н. Гашев. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2007. 212 с.
6. Гашев С. Н. Млекопитающие Тюменской области. Справочник-определитель / С. Н. Гашев. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008 а. 336 с.
7. Гашев С. Н. Упругая устойчивость экологических систем / С. Н. Гашев // *Сибирский экологический журнал*. № 5. 2001. С. 645-650.
8. Гашев С. Н. Устойчивость сообществ мелких млекопитающих урбаноценозов в различных природных зонах / С. Н. Гашев, Е. А. Быкова, А. Ю. Левых // *Известия Самарского научного центра РАН*. № 6. 2015. С. 14-18.
9. Гелашвили Д. Б. Основы мультифрактального анализа видовой структуры сообщества / Д. Б. Гелашвили, Д. И. Иудин, Г. С. Розенберг и др. // *Успехи современной биологии*. 2008. Т. 128. № 1. С. 21-34.
10. Ильина И.С. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И. С. Ильина, Е. И. Лапшина, Н. Н. Лавренко и др. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
11. Коновалов А. А. Распределение и иерархия биотических таксонов на территории Тюменской области / А. А. Коновалов, С. Н. Гашев, М. Н. Казанцева // *Аграрная Россия*. 2013. № 4. С. 17-21.
12. Коновалов А. А. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеореконструкций / А. А. Коновалов, С. Н. Иванов. Новосибирск: Гео, 2007. 130 с.
13. Кошкин Н. И. *Справочник по элементарной физике* / Н. И. Кошкин, М. Г. Ширкевич. М.: Наука, 1974. 255 с.
14. Одум Ю. *Экология* / Ю. Одум. В 2-х томах. Т. 2. М.: Мир, 1986. 376 с.
15. Примак Р. *Основы сохранения биоразнообразия* / Р. Примак. М.: Научный и учебный методический центр МГУ, 2002. 256 с.

16. Сороко Э. М. Структурная гармония систем / Э. М. Сороко. Минск: Наука и техника, 1984. 265 с.
17. Стахов А. П. Роль «Золотого Сечения» и «Математики Гармонии» в преодолении «стратегических ошибок» в развитии математики / А. П. Стахов // Академия Тринитаризма. Эл № 77-6567. Публ. 14688. 12.01.2008
18. Хромов С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. Л.: Гидрометиздат, 1974. 568 с.



**Sergey N. GASHEV<sup>1</sup>**

**Alexander A. KONOVALOV<sup>2</sup>**

**Maria N. KAZANTSEVA<sup>3</sup>**

UDC 581.9, 591.9

## **PECULIARITY OF INTERACTIONS BETWEEN COMPONENTS OF BIOTA AND CLIMATE IN WESTERN SIBERIA**

<sup>1</sup> Dr. Sci. (Biol.), Professor,  
Head of the Department of Zoology  
and Evolutionary Ecology of Animals,  
University of Tyumen  
gsn-61@mail.ru

<sup>2</sup> Dr. Sci. (Tech.), Chief Researcher,  
Institute of Problems of Development of the North SB RAS  
konov7@rambler.ru

<sup>3</sup> Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Sector of Biodiversity  
and Dynamics of Natural Complexes, Tyumen Scientific Center SB RAS;  
Associate Professor, Department of Ecology and Genetics,  
University of Tyumen  
mnkazantseva@yandex.ru

### **Abstract**

This article presents the analysis of quantitative regularities in distribution and interaction of basic elements of a biota in the territory of different natural zones of Western Siberia. Their dependence among themselves and from climatic features of the territory is shown. The formula of zone dependence of number of taxons of plants and animals of any rank corresponding to the “golden ratio” is offered. Indicators, which characterize complex functioning of various elements of a biota at the different levels of hierarchy, are entered and proven physically. The mathematical model of the described interactions of biotic components and regional features of climate is made.

---

**Citation:** Gashev S. N., Konovalov A. A., Kazantseva M. N. 2018. “Peculiarity of Interactions between Components of Biota and Climate in Western Siberia”. Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 2, pp. 108-125.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-108-125

---

It is established that the number of biotic taxons in the region depends on a dryness index: because of it, the number first increases from the tundra to border of a taiga and the forest-steppe where reaches a maximum, and then decreases towards a steppe zone. Interaction of components of a biota is characterized by two main indicators: degree of coherence (harmony)  $\Phi$  and stability of  $Z$ . The analysis of a condition of biotic systems made with use of these indicators, adequately reflects the level and reserves of their functioning.

In general, the presented analysis of regularities shows unity and mutual conditionality of functioning of the higher plants and vertebrate animals, their general dependence on climatic features of the region. Influence of these regularities on stability and balance of ecosystems is estimated.

### **Keywords**

Biota, climate, interactions, stability, harmony.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-108-125**

### **REFERENCES**

1. Arefiev S. P., Gashev S. N., Selyukov A. G. 1994. "Biologicheskoye raznoobraziye i geograficheskoye rasprostraneniye pozvonochnykh zhivotnykh Tyumenskoy oblasti" [Biological Diversity and Geographical Distribution of Vertebrate Animals of the Tyumen Region]. In: Zapadnaya Sibir' — problemy razvitiya [Western Siberia — Development Problems], pp. 92-116. Tyumen: IPOS SO RAN.
2. Budyko M. I. 1971. *Klimat i zhizn'* [Climate and Life]. Leningrad: Gidrometizdat.
3. Gashev S. N. 2001. "Uprugaya ustoychivost' ekologicheskikh sistem" [Elastic Stability of Ecological Systems]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, no 5, pp. 645-650.
4. Gashev S. N. 2007. *Konspekty lektsiy po sistemnoy ekologii* [Abstracts of Lectures on System Ecology]. Tyumen: UTMN Publishing House.
5. Gashev S. N. 2008. *Mlekopitayushchiye Tyumenskoy oblasti. Spravochnik-opredelitel'* [Mammals of the Tyumen Region. Reference Book Determinant]. Tyumen: UTMN Publishing House.
6. Gashev S. N. 2008. *Zoogeografiya i istoriya faun* [Zoogeografiya and history of faunae]. Tyumen: UTMN Publishing House.
7. Gashev S. N. 2012. Database "Rabocheye mesto ornitologa" [The Workplace of an Ornithologist]. Certificate no 2012620405; registered 3 May.
8. Gashev S. N., Bykova E. A., Levykh A. Yu. 2015. "Ustoychivost' soobshchestv melkikh mlekopitayushchikh urbatsenozov v razlichnykh prirodnykh zonakh" [Sustainability of Communities of Small Mammal Urban Biocenoses in Various Natural Zones]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, no 6, pp. 14-18.
9. Gelashvili D. B., Iudin D. I., Rozenberg G. S. et al. 2008. "Osnovy mul'tifraktal'nogo analiza vidovoy struktury soobshchestva" [Foundations of the Multifractal Analysis of Specific Structure of Community]. *Uspekhi sovremennoy biologii*, vol. 128, no 1, pp. 21-34.

10. Ilyina I. S., Lapshina E. I., Lavrenko N. N. et al. 1985. Rastitel'nyy pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny [Vegetable Cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk: Nauka.
11. Konovalov A. A., Gashev S. N., Kazantseva M. N. 2013. "Raspredeleniye i iyerarkhiya bioticheskikh taksonov na territorii Tyumenskoy oblasti" [Distribution and Hierarchy of Biotic Taxons in the Territory of the Tyumen Region]. *Agrarnaya Rossiya*, no 4, pp. 17-21.
12. Konovalov A. A., Ivanov S. N. 2007. Klimat, fitoproduktivnost' i palinospektry: svyazi, raspredeleniye i metodika paleorekonstruktsiy [Climate, Phytoefficiency, and Palinospectra: Communications, Distribution, and Technique of Paleoreconstruction]. Novosibirsk: Geo.
13. Koshkin N. I., Shirkevich M. G. 1974. Spravochnik po elementarnoy fizike [Reference Book on Elementary Physics]. Moscow: Nauka.
14. Odum Yu. 1986. Ekologiya [Ecology] in 2 vols. Vol. 2. Moscow: Mir.
15. Primak R. 2002. Osnovy sokhraneniya bioraznoobraziya [Foundations of Biodiversity Preservation]. Moscow: Nauchnyy i uchebnyy metodicheskiy tsentr MGU.
16. Soroko E. M. 1984. Strukturnaya garmoniya system [Structural Harmony of Systems]. Minsk: Nauka i tekhnika.
17. Stakhov A. P. 2008. "Rol' 'Zolotogo Secheniya' i 'Matematiki Garmonii' v preodolenii 'strategicheskikh oshibok' v razvitiy matematiki" [The Role of the "Golden Ratio" and "Harmony Mathematics" in Overcoming the "Strategic Mistakes" in Development of Mathematics]. *Akademiya Trinitarizma*, 12 January. publ. 14688. M. El no 77-6567.
18. Khromov S. P., Mamontova L. I. 1974. Meteorologicheskii slovar' [Meteorological Dictionary]. Leningrad: Gidrometizdat.