

АППРОКСИМАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ БИОТЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЯНАО

А.А. Коновалов, В.А. Глазунов, Д.В. Московченко, А. А. Тигеев, *С.Н. Гашев

*Институт проблем освоения Севера, СО РАН, Тюмень, а/я 2724, konov7@rambler.ru
Тюменский государственный университет, gashevsn@yandex.ru

Введение. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) занимает северную часть Западно-Сибирской равнины (ЗСР), пересекая пять климатических зон и подзон – арктическую, северную и южную тундру, лесотундру и северную тайгу в пределах Тюменской обл. Геоботаники [1, 2] дополнительно выделяют подзональные полосы – северную и южную- в субарктических типичных тундрах и в северной тайге. Таким образом, всего на территории ЯНАО выделяется семь биоклиматических комплексов - БК (I...VII на рис. 1-3).

Качественные показатели богатства и разнообразия биоты ЯНАО охарактеризованы в [3-9]. Эта статья посвящена количественным закономерностям их распределения на территории округа. Задачей исследования является установление а) количественных связей биотического богатства и его структуры с климатическими показателями и б) закономерностей их распределения по природным комплексам и уровням ранжирования в регионе.

Климатические показатели взяты по данным метеостанций [10, 11]. Аппроксимации искомым зависимостей и их достоверность (коэффициент детерминации) R^2 определялись по программе Excel.

Основные показатели климата, их взаимосвязи. Климат ЯНАО резко континентальный. Зима длится до восьми месяцев, температура воздуха опускаются до минус 50-60°C. Самая высокая температура воздуха, как правило, наблюдается в июле. Среднемноголетние значения среднегодовых (t_c) и июльских (t_7) температур (°C), а также годовые нормы осадков (мм) в ЯНАО на период до 1965 составляют: -7,9; 12,3 и 441; то же на период до 2011 г.г.: -7,7; 13,3 и 422 [11,12]. Цифры отражают повсеместную тенденцию к потеплению климата в последние 50 лет.

Тепло-, влагообороты и циркуляцию атмосферы определяет солнечная радиация. Годовое поступление суммарной солнечной радиации к поверхности Земли в зоне тундры составляет 65...70 ккал/см², на остальной части округа – 70...80 ккал/см², длительность солнечного сияния, соответственно, 1100... 1400 и 1400...1600 часов.

Важнейшими комплексными показателями климата являются: индекс сухости $J = B/Lr$ (B - годовой радиационный баланс, $\text{ккал}/\text{см}^2$; $L = 0,6 \text{ ккал}/\text{см}^3$ – теплота испарения; r - годовая сумма осадков в см.) [12], отражающий соотношение между поступающими в почву теплом и влагой, и индекс тепла – сумма положительных температур воздуха Σ_0 , градусосутки (гс), ответственный за поступление тепла.

В зависимости от величины J фитосфера делится на северную (холодную, влажную) и южную (теплую, сухую). Граница между ними проходит, примерно, по изолинии $J \approx 1$ [12]. Территория ЯНАО находится в северной фитосфере, характеризующейся возрастанием обилия и разнообразия биоты с севера на юг (в южной фитосфере, при $J > 1$ эти показатели наоборот убывают [13, 14]).

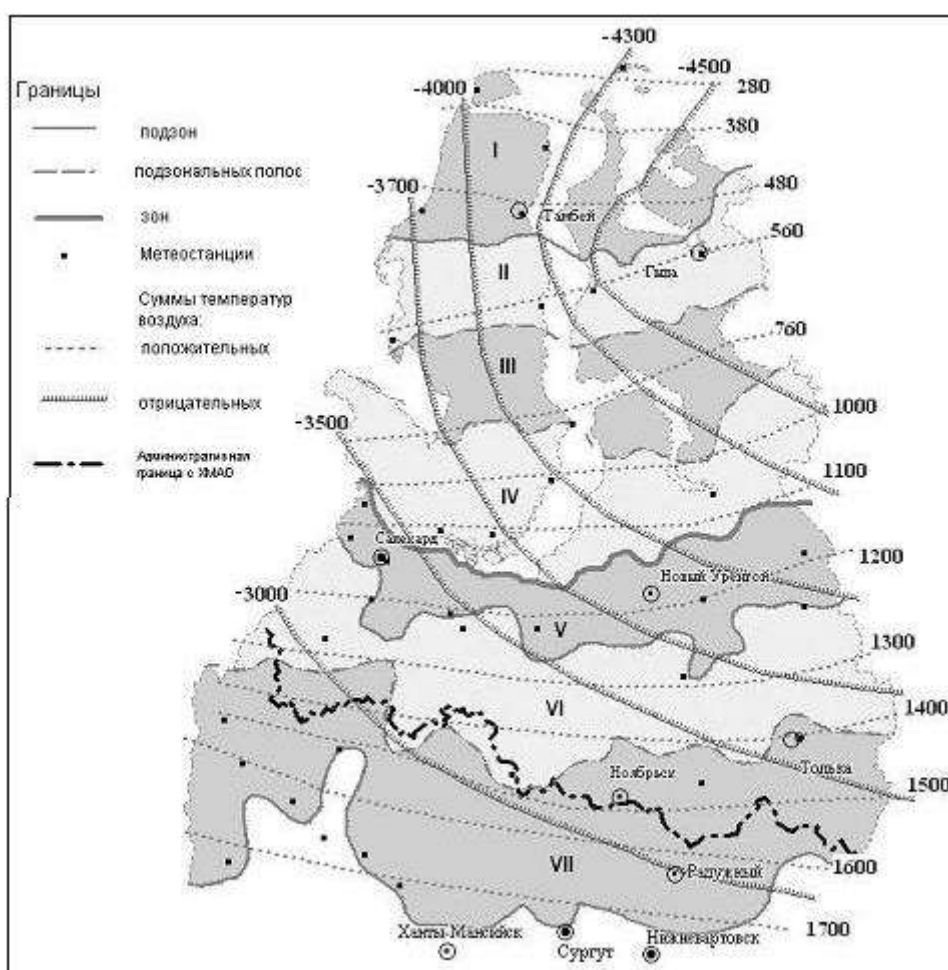


Рис1. Биоклиматические комплексы - БК (I – арктическая тундра, II – северная полоса субарктических типичных тундр, III - южная полоса субарктических типичных тундр, IV – субарктические кустарниковые тундры, V – лесотундра, VI – северная полоса северотаежной подзоны, VII – южная полоса северотаежной подзоны); суммы положительных (Σ_0) и отрицательных (Σ_{-0}) температур, градусосутки (гс) на территории ЯНАО

Все элементы климата (ЭК) связаны между собой. Ранее найдены количественные выражения этих связей для условий Тюменской области [14], позволяющие по любому известному ЭК, например, индексам тепла или сухости, или июльской температуре определить и все остальные. На рис. 1-3 показано распределение основных ЭК в регионе.

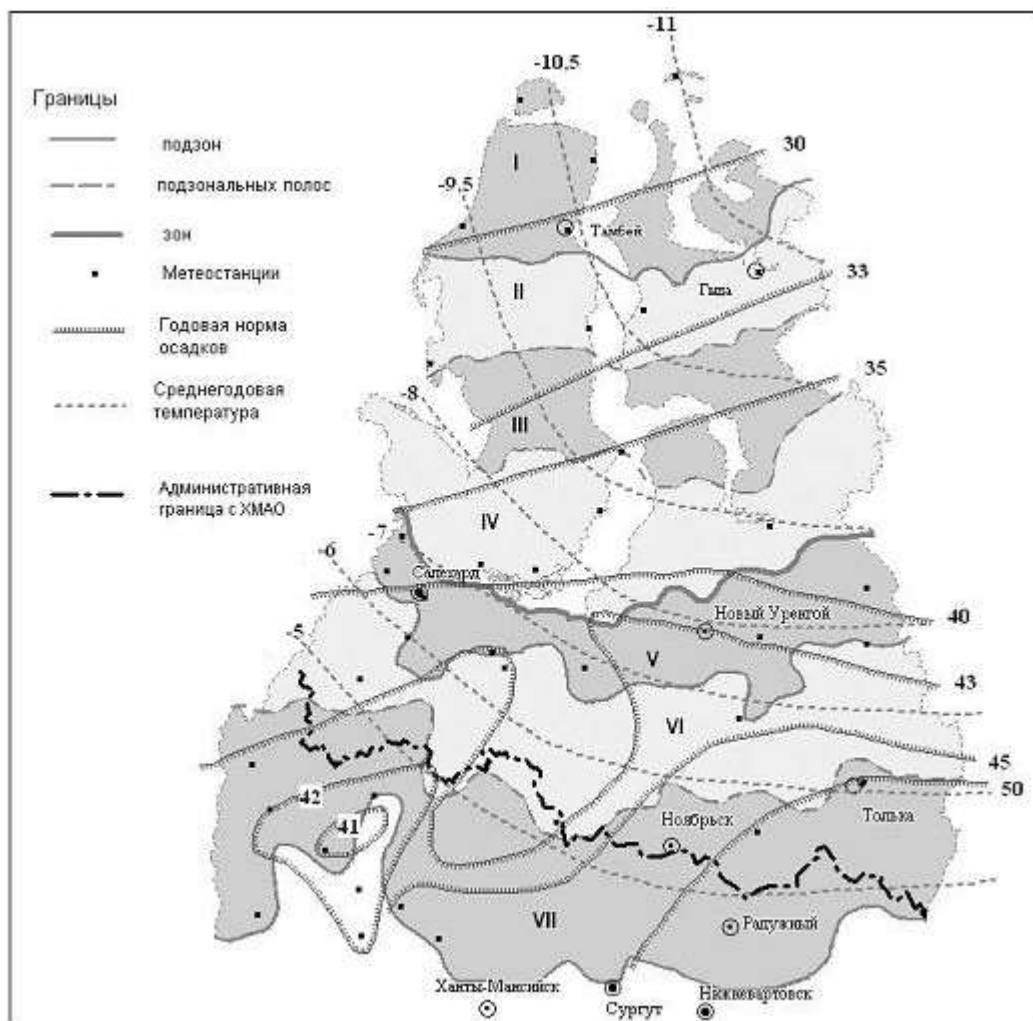


Рис.2. Распределение среднегодовой температуры (t , °C) и годовой суммы осадков (r , см) в ЯНАО; I...VII – номера БК (по рис.1).

Территория ЯНАО – область сплошного распространения вечной мерзлоты. В теплое время года подошва оттаивающего слоя служит водоупором, вызывающим его переувлажнение. Таяние мерзлоты и недостаточное испарение способствуют заболачиванию территории и развитию здесь специфического озерно-болотного комплекса с преобладанием травянистой растительности.

Существуют разные схемы природного зонирования Западной Сибири: физико-географическая, геоботаническая, зоогеографическая... [1,2,5,15]. Их совмещение с климатическими показателями показывает, что распределение ЭК довольно существенно отклоняется от широтной зональности, особенно на севере, где изолинии ЭК, особенно в холодное время года, имеют скорее меридиональное направление, чем широтное (рис.1-

3), причем меридиональные градиенты зачастую больше широтных. Сказывается потенциал давления между Исландским минимумом и Якутским максимумом, управляющий здесь потоками тепла и влаги, их направлением и интенсивностью. Из-за этого на востоке региона климат холоднее и суше, чем на западе. Например, в Салехарде $t_c = -6,4^\circ\text{C}$, $t_7 = 13,8^\circ\text{C}$, $r = 418$ мм, $\Sigma_0 = 1114$ гс, а в Тазовском, лежащем примерно на той же широте, но много восточней $t_c = -9,4^\circ\text{C}$, $t_7 = 13,4^\circ\text{C}$, $r = 394$ мм, $\Sigma_0 = 1029$ гс. Некоторое исключение составляют суммы положительных среднесуточных температур воздуха, очертания изолиний которых более или менее совпадают с очертаниями границ геоботанических комплексов. При выявлении связей между климатическими и другими природными показателями целесообразно использовать непосредственно данные наблюдений, выраженные изолиниями на картах, по типу рис.1-3.

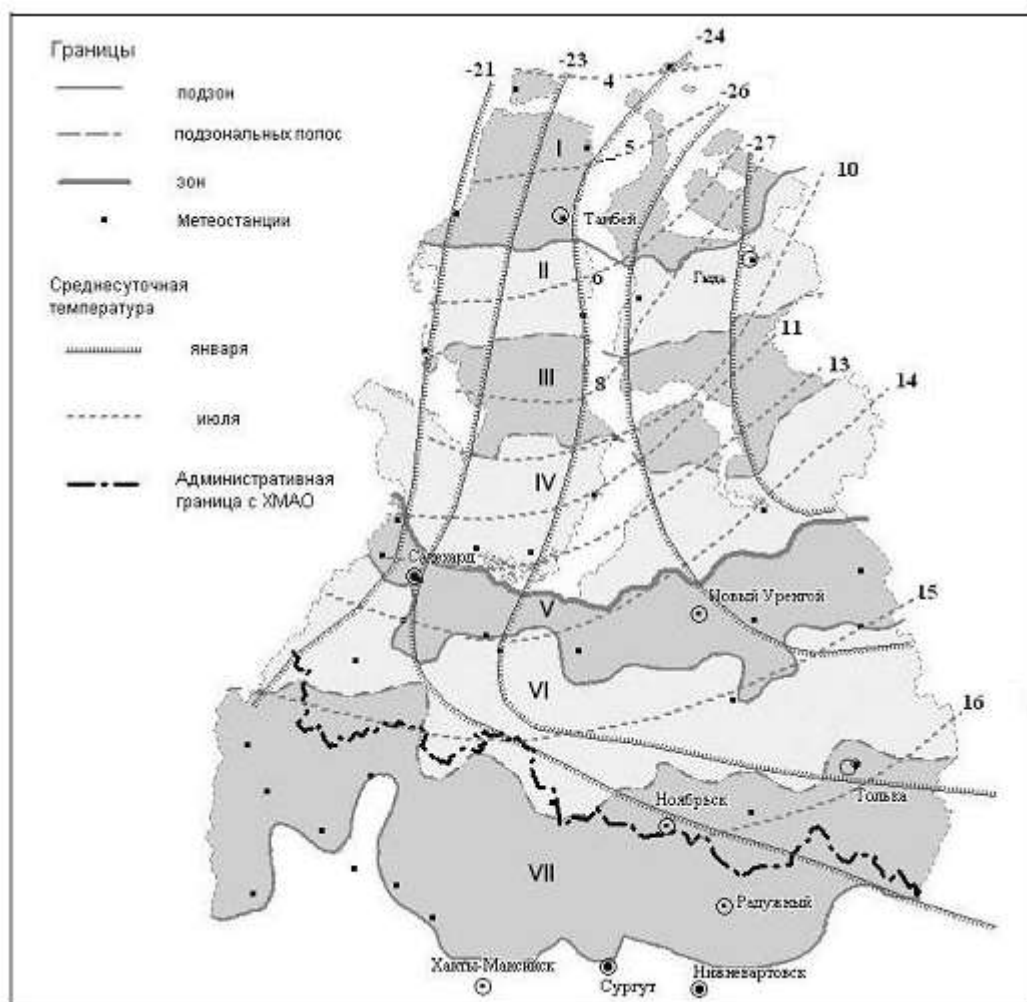


Рис.3. Распределение среднесуточной температуры января (t_1 , $^\circ\text{C}$) и июля (t_7 , $^\circ\text{C}$) в ЯНАО; I...VII – номера БК (по рис.1).

Климатическая зависимость биоты. В [14] установлено количественное соответствие количества животных $N_{ж}$ (млекопитающих и птиц) и индексов сухости J и тепла Σ_0 . В

табл.2 воспроизведены эти данные для четырех подзон северной фитосферы, в пределах которой находится ЯНАО.

Таблица 2

Средние индексов (J) и (Σ_0 , гс),	Подзона	J	Σ_0	Pr	B	P	C	O	значения сухости тепла
	Северная тундра	0,44	340	1,69	73+18	46+15	20+9	7+5	
	Южная тундра	0,6	610	5,59	148+32	79+22	30+11	11+5	
	Лесо-тундра	0,75	1010	8,05	194+42	107+27	39+12	15+5	
	Северная тайга	0,87	1293	9,21	207+51	115+33	41+15	16+6	

продукции растительности (Pr , т/га·год), а также численности видов (B), родов (P), семейств (C) и отрядов (O) животных ($N_{ж}$) - млекопитающих и птиц, в северной фитосфере ЗСР.

Растительный покров территории ЯНАО представляет собой сочетание различных типов тундровых, болотных, луговых и лесных сообществ. По числу видов преобладают травянистые растения: *Asteraceae* (астровые), *Cyperaceae* (осоковые), *Poaceae* (мятликовые) и др.; из древесных - *Salicaceae* (ивовые) [2,3,7-10].

В.А. Глазунов обобщил имеющиеся на сегодняшний день материалы по численности видов, родов и семейств сосудистых растений на территории ЯНАО; всего по округу, за исключением горных районов, выявлено 743 вида, 261 род, 74 семейства. Выделенные им основные количественные показатели флоры ЯНАО, систематизированные по пяти подзонам, трем иерархическим разрядам: вид, род, семейство, и двум категориям: Д - древесные (деревья, кустарники, полукустарники, кустарнички и полукустарнички) и Тр- травянистые растения, приведены в табл.3.

Таблица 3

Июльские температуры воздуха (t_7 , °C), индексы тепла (Σ_0 , гс), продукция (Pr, т/га·год), а также численность видов (в), родов (р) и семейств (с) сосудистых растений на территории ЯНАО.

Подзона	t_7	Σ_0 , гс	Деревянистые (Д)			Травянистые (Тр)			Все растения ($N_p = Д + Тр$)		
			В	Р	С	В	Р	С	В	Р	С
Аркт-кая тундра	4,2	320	14	7	6	148	67	25	162	74	31
Северная тундра	5,3	480	38	19	12	301	115	34	339	134	46
Южная тундра	6,7	610	47	24	14	311	121	38	358	145	52
Лесо-тундра	11,1	1010	57	27	15	343	150	42	400	177	57
Северная тайга	14,2	1293	58	28	15	377	186	51	435	214	66

На рис. 4 показаны графики зависимости $N_{ж}$ и N_p от Σ_0 , построенные по данным табл. 1-3.

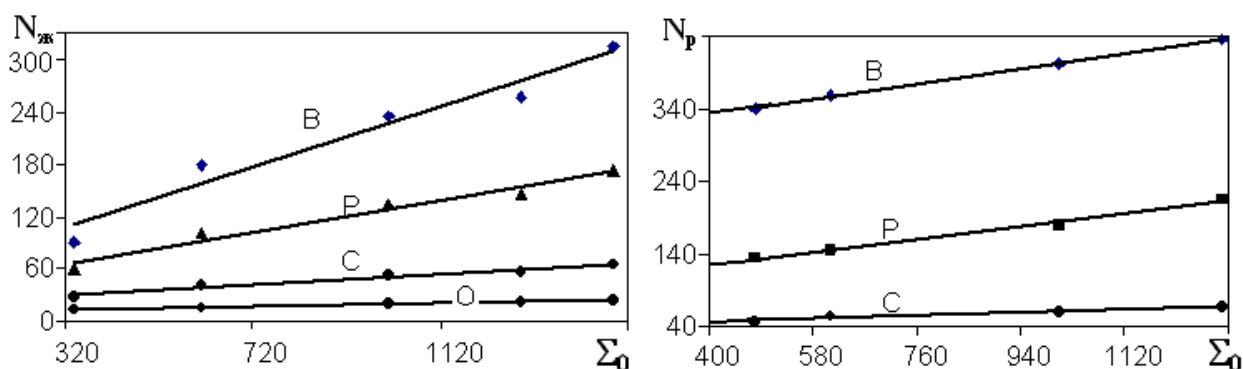


Рис. 4. Графики зависимости $N_{ж}$ и N_p от Σ_0

Аналогичные графики построены также для годовой продукции (Pr) и численности таксонов деревянистых (Д) и травянистых (Тр) растений отдельно и найдены их аппроксимации. Анализ показал, что общую формулу зависимости количественных показателей биоты от Σ_0 можно выразить простым полиномом:

$$Y = A\Sigma_0 + B \quad (3)$$

где Y – общее обозначение показателей, A и B – численные параметры, найденные с помощью программы Excel и сведенные в табл. 4.

На рис. 5 даны графики зависимости количества родов N_2 , семейств N_3 и отрядов N_4 биоты от количества видов N_1 . Как следует из рисунка, количество каждого отдельного таксона зависит от климата, увеличиваясь с севера на юг. А вот их соотношение, в данном случае отношение к количеству видов, – постоянно, не зависит от климата. Т.е. определив

только количество видов, по формулам на рис. 5 можно рассчитать количество и других таксонов в данном БК.

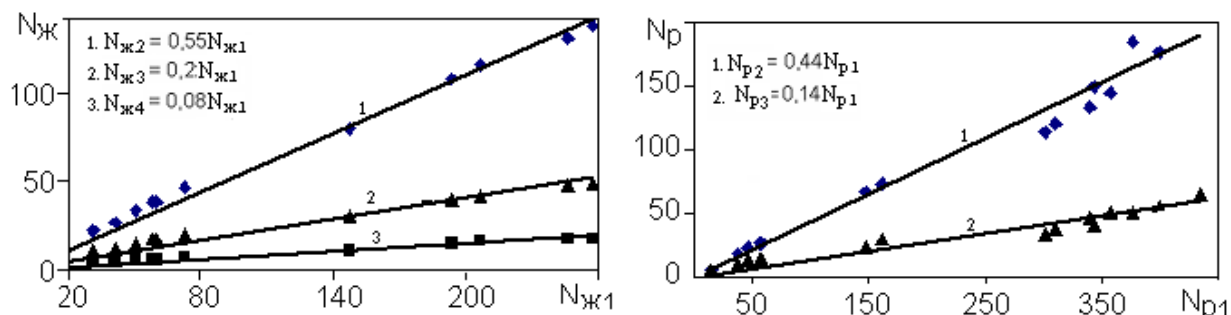


Рис.5. Зависимость $N_{ж2}$ - $N_{ж4}$ от $N_{ж1}$ (левый график) и N_{p2} - N_{p3} от N_{p1}

Таблица 4

Постоянные в формуле (2) для элементов биоты (ЭБ): млекопитающих (М), птиц (Пт), всех животных ($N_{ж}=M + Пт$), деревянистых (Д) и травянистых (Тр) растений, их суммы ($N_p=Д + Тр$), а также значения R^2

ЭБ	Таксоны	А	В	R^2
М	виды	0,125	53,1	0,92
	роды	0,063	34,9	0,93
	сем-ства	0,02	16,1	0,94
	отряды	0,008	5,8	0,9
Пт	виды	0,031	10,3	0,98
	роды	0,017	10,1	0,95
	сем-ства	0,006	6,8	0,96
	отряды	0,001	4,5	0,80
$N_{ж}$	виды	0,176	49,8	0,98
	роды	0,091	37,2	0,98
	сем-ства	0,029	21	0,98
	отряды	0,01	9,2	0,99
Д	виды	0,0024	30	0,88
	роды	0,001	16	0,87
	сем-ства	0,0003	11,3	0,73
Тр	виды	0,09	255	0,99
	роды	0,09	30	0,97
	сем-ства	0,02	25	0,94
N_p	виды	0,115	285	0,99

роды	0,096	86,3	0,94
сем-ства	0,022	36,4	0,91

Биотическое разнообразие (выравненность). Этот показатель выражается через различные соотношения между массой или численностью разных групп биоты – индексами Шеннона (мера энтропии), Симпсона (меру дисперсии) и др. [16]. Ни один из известных индексов не отражает влияние климатических факторов. Между тем именно климат, определяющий тепло- и влагообеспеченность, является главным (первичным) фактором членения биоты, ее многообразия. Он позволяет, как показано ниже, оценивать, хотя бы приближенно, структуру биоты только по данным о климате, в частности, по индексу тепла Σ_0 .

В климатических справочниках, помимо Σ_0 , даются суммы температур выше 5, 10 и 15°C (Σ_5 , Σ_{10} , Σ_{15}). Температуры выше 15°C (Σ_{15}) для ЯНАО не актуальны. Σ_5 и Σ_{10} линейно связаны с Σ_0 [14]. В соответствии с этим выделим три температурных участка с разными условиями вегетации: 1) 0-5; 2) 5- 10; 3) 10- t_7 (°C), и отвечающие им группы растительности. В первую группу входит *арктическая* флора, а соответственно и фауна, во вторую - *холодостойкая*, в третью – *теплолюбивая*. Распределим сумму температур (условное тепло) - Σ_0 по этим трем группам. Возьмем, например Тамбей, где $\Sigma_0=493$, $\Sigma_5=344$ гс, самая высокая температура летом (в августе) $t_8=6,4$ °C, т.е. третья температурная группа, соответствующая теплолюбивым растениям, отсутствует. Отнимая $\Sigma_5=344$ от $\Sigma_0=493$, получаем количество условного тепла на первом участке $\Sigma_1 = \Sigma_{0-5} = 149$ гс; остальное относится ко второму участку $\Sigma_2 = 344$ гс. Перейдем к относительным величинам – долям от суммарного индекса тепла: $\eta_1 = \Sigma_1 / \Sigma_0 = 0,7$; $\eta_2 = \Sigma_2 / \Sigma_0 = 0,3$. Аналогично найдем доли условного тепла и соотношения арктической, холодостойкой и теплолюбивой биоты в районе Салехарда, где $\Sigma_0=1159$, $\Sigma_5=1078$, $\Sigma_{10}=828$ гс, $t_7 = 17,7$ °C: $\Sigma_1 = \Sigma_0 - \Sigma_5 = 81$ гс, $\Sigma_2 = \Sigma_5 - \Sigma_{10} = 250$ гс. На третий участок остается $\Sigma_3 = \Sigma_0 - (\Sigma_1 + \Sigma_2) = 1159 - 81 - 250 = 828$ гс. В долях от Σ_0 это составляет: $\eta_1 = \Sigma_1 / \Sigma_0 = 0,07$; $\eta_2 = \Sigma_2 / \Sigma_0 = 0,22$; $\eta_3 = \Sigma_3 / \Sigma_0 = 0,71$. Тепловые индексы η_{1-3} постоянны для каждого географического места и могут быть использованы для оценки богатства и разнообразия биоты.

Порядок индексации биоты по тепловому (климатическому) признаку проиллюстрируем на примере продукции P_r . Для северной фитосферы, включающей территорию ЯНАО, установлена [13] формула зависимости P_r от Σ_0 :

$$P_r = 0,006 \cdot \Sigma_0 \quad (4)$$

Линейный вид этой формулы определяет простой вид зависимости продукции на всех 3-х температурных участках P_r 1-3 от долевого содержания условного тепла η_{1-3} :

$$Pr_{1-3} = Pr \cdot \eta_{1-3} \quad (5)$$

В частности в Салехарде, где (см. выше) $\sum_0 = 1159$ гс, $\eta_1 = 0,07$; $\eta_2 = 0,22$; $\eta_3 = 0,71$. по формуле (4) рассчитываем общий индекс тепла $Pr = 7$ т/га·год, а по формуле (5) – его групповые доли: $Pr_1 = 7 \cdot 0,07 = 0,49$; $Pr_2 = 7 \cdot 0,22 = 1,54$; $Pr_3 = 7 \cdot 0,71 = 5$ (т/га·год).

Поскольку $N_{ж}$ и N_p , как и Pr , линейно связаны с \sum_0 , зависимость их распределенных по температурным группам величин N_{1-3} от долевых индексов тепла η_{1-3} также можно определять по формуле (5) при подстановке в нее $N_{ж}$ и N_p вместо Pr .

Итоги и выводы. Итоговым результатом работы является табл.5, в которую сведены определяющие характеристики климата и зависящие от них количественные показатели структуры биоты ЯНАО, сгруппированные по выделенным биоклиматическим комплексам; а также рис. 6, на котором показано распределение численности видов арктической, холодостойкой и теплолюбивой биоты и соотношение видов фауны и флоры в этих группах. Соотношение численности видов фауны и флоры во всех группах идеально ($R^2 \approx 1$) подчиняется линейному закону (рис 6, Б). Соотношение их только в арктической и только в теплолюбивой группах также хорошо описывается линейным законом, но идеально ($R^2 \approx 1$) – квадратичным полиномом (рис 6, В и Г).

Итак. Основными климатическими показателями, определяющими богатство и разнообразие биоты, являются индексы сухости и тепла. Количество биотических таксонов в пределах ЯНАО увеличивается с севера на юг вслед за увеличением этих показателей. В то же время, отношение численности родов, видов, семейств, а у животных и отрядов, к численности видов – постоянная величина, не зависящая от климата.

Введено понятие групповых (долевых) индексов тепла, относящихся к интервалам температур 0-5, 5-10 и 10-17 °С, определяющих существование и ареалы, соответственно, арктической, холодостойкой и теплолюбивой биоты. Как видно из рис.6, численность арктической и холодостойкой биоты с севера на юг в общем убывает, а теплолюбивой растет. Количество видов флоры и фауны устойчиво увязано друг с другом.

Таблица 5

Индексы сухости (J) и тепла (\sum_0), гс; продукция (Pr, т/га·год); число видов растений (N_p) и животных ($N_{ж}$) в разных БК (по рис.1); групповые тепловые индексы (абсолютные \sum_{0-5} , \sum_{5-10} , \sum_{10-17} и относительные η_{1-3}); распределенные по температурным группам продукция (Pr_{1-3}) и количество видов растений (N_{p1-3}) и животных ($N_{ж.1-3}$).

БК	I	II	III	IV	V	VI	VII
J	0,45	0,5	0,6	0,7	0,75	0,81	0,88
\sum_0	340	439	658	877	1097	1316	1536

Σ_{0-5}	147	140	125	110	94	79	63
Σ_{5-10}	193	237	252	267	283	298	314
Σ_{10-17}	0	62	281	500	720	939	1159
η_1	0,43	0,32	0,19	0,12	0,09	0,06	0,04
η_2	0,57	0,54	0,38	0,31	0,26	0,23	0,21
η_3	0	0,14	0,43	0,57	0,66	0,71	0,75
Pr	3,2	4,2	6	7,3	8,5	9,3	9,8
Pr₁	1,38	1,34	1,14	0,91	0,73	0,56	0,41
Pr₂	1,82	2,27	2,3	2,23	2,19	2,11	2
Pr₃	0	0,59	2,56	4,16	5,58	6,64	7,4
N_p	325,8	337,7	364	390,2	416,6	449	469,3
N_{p1}	140	107,7	69,1	48,8	35,8	26,5	19,4
N_{p2}	185	182,3	139,4	119	107,4	100,3	95,8
N_{p3}	0	47,7	155,4	222,5	273,5	316	354
N_ж	110	127	166	204	243	281	320
N_{ж1}	47,1	40,5	31,5	25,5	20,8	16,9	13,2
N_{ж2}	62,2	68,6	63,4	62,2	62,6	63,8	65,4
N_{ж3}	0	189	70,7	116,4	159,4	200,8	241,6

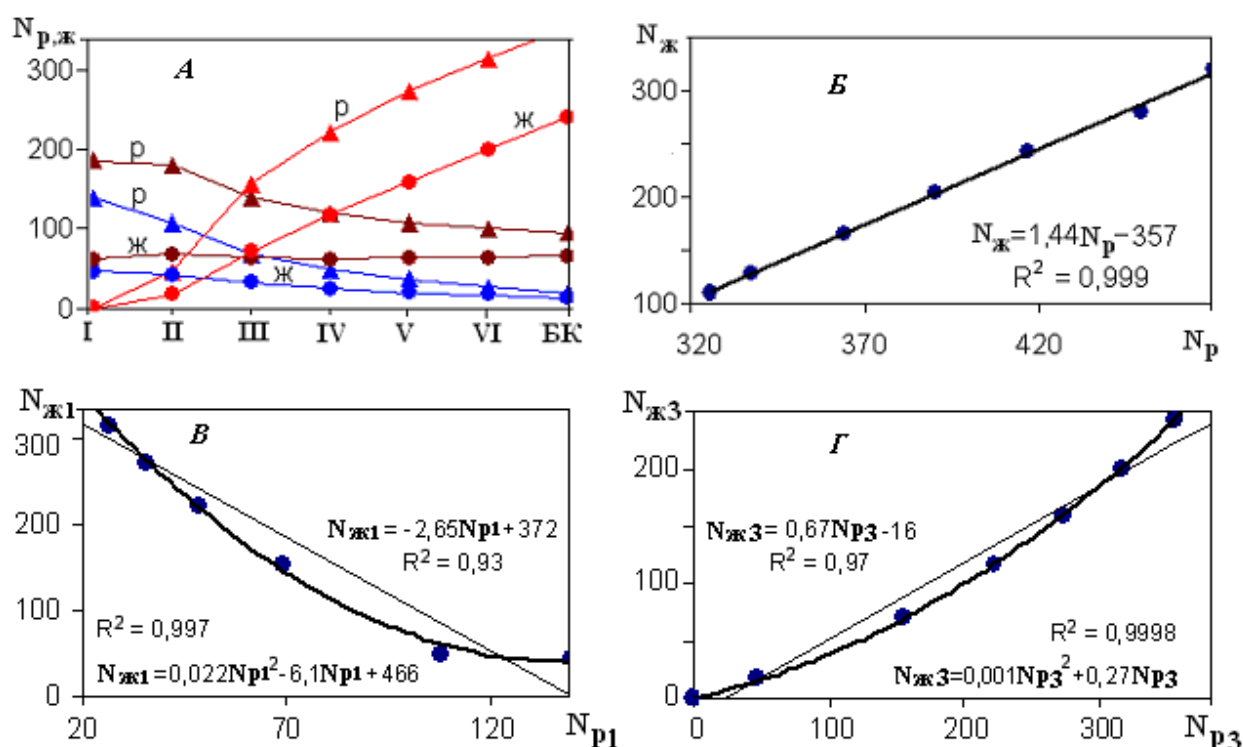


Рис.6. Распределение численности видов арктической (синий цвет), холодостойкой (коричневый) и теплолюбивой (красный) биоты -растений (р) и животных (ж), по выделенным БК на территории ЯНАО – А; а также взаимосвязь численности видов флоры (N_p) и фауны (N_ж) – Б; то же, только в арктической –В и в теплолюбивой – Г группах.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Растительность Западно-Сибирской равнины. Карта М 1 : 1500000 / Под ред. И.С. Ильиной. М.: ГУГК, 1976. 4л.
2. Магомедова М.А., Морозова Л.М., Эктова С.Н. и др. Полуостров Ямал: растительный покров / Тюмень: Сити-пресс, 2006. 360 с.
3. Ребристая О.В. Флора полуострова Ямал. Современное состояние и история формирования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 312 с.
4. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
5. Гашев С.Н. Млекопитающие Тюменской области. Справочник-определитель. Изд-во ТюмГУ: Тюмень, 2008. 336 с.
6. Гашев С.Н. База данных «Рабочее место орнитолога» Свидетельство № 2012620405 (зарегистрировано в Реестре баз данных 3 мая 2012).
7. Хозяинова Н.В. Флора и растительность северной тайги Пуровского района Тюменской области (север Западной Сибири) // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2007. 8. С.27-50.
8. Ребристая О.В., Творогов В.А., Хитун О.В. Флора Тазовского полуострова (север Западной Сибири) // Бот. журн., 1989. Т. 74. С.22-35.
9. Титов Ю.В., Потокин А.Ф. Растительность поймы р. Таз. Сургут: Изд-во СурГУ., 2001. 141с.
10. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]. Режим доступа: aisori.meteo.ru/ClsprR
11. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, вып.7, ч.1, 1965, 275 с.
12. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометиздат, 1971. 472 с
13. Коновалов А.А., Гашев С.Н., Казанцева М.Н. Распределение и иерархия биотических таксонов на территории Тюменской области. Аграрная Россия. 2013, №4. С. 48-57
14. Коновалов А.А., Иванов С.Н. Реконструкция истории климата по групповым палиноспектрам на примере Западной Сибири. Saarbrucken, Germany. Palmarium academic publishing, 1212.119 с.
15. Физико-географическое районирование Тюменской области / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 246 с.
16. Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С. и др. Успехи современной биологии. 2008, том 128, № 1. С. 21-34.