

Климатическая зависимость биоты на севере Тюменской области (количественный аспект)

А. А. Коновалов¹, доктор технических наук, кандидат географических наук
Институт проблем освоения Севера Сибирского отделения РАН, Тюмень,
Тюменский государственный нефтегазовый университет

Исследуются количественные закономерности распределения и иерархии биотических показателей на севере Тюменской области. Установлен характер их зонального распределения. Найдены формулы климатической зависимости биоты. Оценено влияние потепления на биоту региона.

Ключевые слова: север Тюменской области, климат, индексы сухости и тепла, биота, таксоны, потепление.

Введение

Север Тюменской области — это территория Ямало-Ненецкого (ЯНАО) и Ханты-Мансийского (ХМАО) автономных округов протяженностью в меридиональном направлении более 1500 км. Она включает восемь биоклиматических комплексов (БК) [4; 8]. Их наименования и нумерация (I, II, III, ..., VIII) приведены на рис. 1.

Качественные показатели биотического богатства и разнообразия севера Тюменской области рассмотрены в [2; 5; 9; 12; 14; 15]. Настоящая статья посвящена их количественным закономерностям в части установления и оценки связей биоты и ее структуры с климатическими показателями, их распределения по природным комплексам и уровням ранжирования. Отражено также влияние на биоту потепления климата.

Климатические показатели взяты из данных метеостанций. Аппроксимации искомым зависимостей и их достоверность (коэффициент детерминации) R^2 определялись с помощью программы Excel.

Основные показатели климата, их взаимосвязи

Важнейшими комплексными показателями климата являются: индекс сухости $J = B/Urg$ (B — годовой радиационный баланс, ккал/см²; $U = 0,6$ ккал/см³ — теплота испарения, г — годовая сумма осадков, см), соотносящий поступления в почву тепла и влаги [1],

и индекс тепла — сумма положительных температур воздуха $\Sigma 0$, градусо-сутки (гс), ответственный за поступление тепла (см. рис. 1).

В зависимости от величины J фитосфера делится на северную (холодную, влажную) и южную (теплую, сухую) части. Граница между ними лежит в области, где $J \approx 0,95—1,2$ (в среднем около 1). Автономные округа находятся в северной фитосфере, характеризующейся возрастанием обилия и разнообразия биоты с севера на юг (в южной фитосфере эти показатели, наоборот, к югу убывают) [1; 7]. В агрономических исследованиях для определения соотношения между теплом и влагой также используется гидротермический коэффициент Селянинова, представляющий собой отношение суммы осадков r_T (см) к сумме температур воздуха (гс) за теплое время года $K_0 = r_T/\Sigma_0$ [16]. Коэффициенты J и K_0 достаточно хорошо коррелируют друг с другом [10].

Вообще все элементы климата (ЭК) как единой системы взаимосвязаны. Благодаря колебательному режиму функционирования климатическую систему можно представить как совокупность подсистем, состоящих из двух противоборствующих элементов j_1 и j_2 , сумма которых равна единице. Например, при анализе температуры воздуха за j_1 можно принять относительную температуру самого холодного месяца, обычно января: $j_1 = j_{11} = (0 - t_1)/2A$, а за j_2 — относительную температуру самого теплого месяца (как правило, июля): $j_2 = j_{17} = (t_7 - 0)/2A$, где t_1 и t_7 — среднемесячные температуры января и июля; $2A = t_7 - t_1$ — амплитуда (размах) колебаний;

¹ e-mail: konov7@rambler.ru.

0 — температура на разделе теплого и холодного периодов года, °C. Величина j_{t1} изменяется от 1 в арктической пустыне до 0,5 в области перехода среднегодовой температуры воздуха через 0°C — примерно в подтайге, т. е. за пределами рассматриваемой территории, а j_{t7} — от 0 в арктической пустыне до 0,5 в подтаежной зоне; в северной фитосфере $j_{t1} \approx 0,5J$ [11]. Аналогично в виде холодно-теплых дихотомий, суммы элементов которых равны единице, можно представить продолжительности теплого и холодного периодов года, осадки за теплый и холодный периоды, абсолютную влажность воздуха за самый теплый и самый холодный месяцы и др. В качественном плане все эти относительные климатические оппозиции ведут себя примерно одинаково, монотонно изменяясь в пространстве между 0 и 1, и хорошо коррелируют друг с другом и размерными ЭК [10].

На рис. 1 приведена схематическая карта биоклиматического районирования рассматриваемой территории и распределения сумм положительных (индекса тепла) и отрицательных температур воздуха. В табл. 1 представлены основные ЭК, осредненные по зонам [5]: продолжительность солнечного сияния τ_s , сут/год; годовые значения суммарной Q_c и поглощенной Q_n солнечной радиации, ккал/см²; радиационный баланс за теплый период B_T и за год B_r , ккал/см²; средняя температура воздуха за год t_r и за теплый период t_T , °C; продолжительность теплого периода τ_T , сут; средняя скорость ветра за год V_r и за холодный период V_x , м/с; средняя из наибольших декадных высот h_n ; среднезимняя высота $h_{сн}$ и средняя плотность $\gamma_{сн}$ снега, г/см³; длительность периода со снегом $\tau_{сн}$, сут; осадки за теплый r_T и годовой r_r периоды, см. Там же приведены элементы водного баланса: подземный S_n и полный (общий с наземным, паводочным) S_o стоки, испарение E и валовое увлажнение $\omega = S_n + E$, см/год. Из них для органической жизни

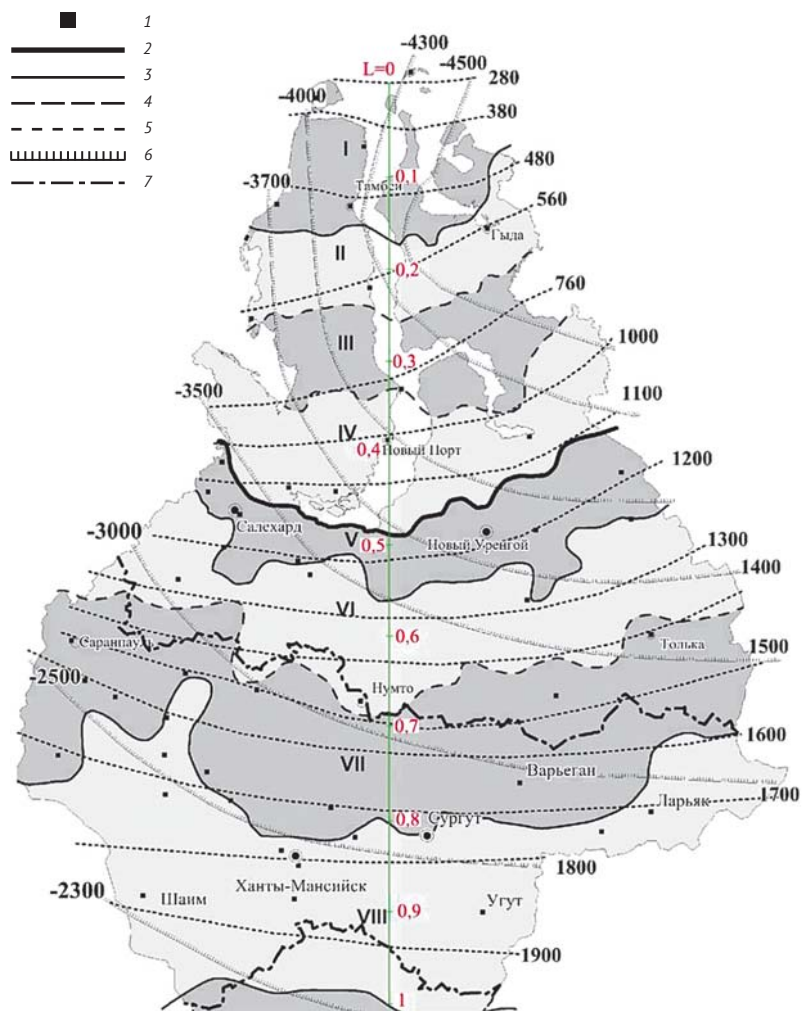


Рис. 1. Биоклиматические комплексы (I — арктическая тундра, II — северная полоса субарктических типичных тундр, III — южная полоса субарктических типичных тундр, IV — субарктические кустарниковые тундры, V — лесотундра, VI — северная полоса северотаежной подзоны, VII — южная полоса северотаежной подзоны), VIII — средняя тайга; среднемесячные температуры воздуха января и июля на севере Тюменской области. Вертикаль $L = 1$ — условный меридиан, может служить масштабной шкалой с ценой деления примерно 150 км при определении расстояний между изолиниями элементов климата

наиболее значимо валовое увлажнение, ответственное за запасы почвенной влаги. Начиная с лесотундры эта величина близка к сумме осадков за теплое время года.

Найдены количественные выражения климатических взаимосвязей для условий Тюменской области [6; 8; 10], позволяющие по любому известному ЭК, например по индексам тепла или сухости либо по июльской температуре, определить и все остальные. На рис. 2 приведены графики, связывающие наиболее значимые для биоты ЭК на севере Тюменской области (кроме уже использованных в тексте обозначений здесь Σ_5 и Σ_{10} — суммы температур выше 5° и 10°, r_T и r_r — суммы осадков за год и за теплый период, $j_{rr} = r_T/r_r$ — относительная величина суммы осадков за теплый период) и их аппроксимации.

Территория округов — область многолетнего (в ЯНАО) и сезонного (в ХМАО) промерзания. В тундре и лесотундре многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, их мощность увеличивается от 250—300 м на широте Полярного круга до 500—550 м на 70° с. ш.

Таблица 1. Обобщенные климатические показатели севера Тюменской области

№ зоны	Радиационный режим				Температура воздуха				Ветер	
	τ_c	Q_c	$B_{\text{н}}$	$B_{\text{г}}$	$t_{\text{г}}$	$-t_{\text{х}}$	$-t_{\text{г}}$	$\tau_{\text{г}}$	$V_{\text{г}}$	$V_{\text{х}}$
1	50	60	33	15	6,5	17	10	216	6,8	8
2	62,5	77	42	17,6	8	16,5	7,5	195	6	4,8
3	64,6	80	49	21	10	16	5	175	4,5	4,2
4	71	83	53	25	11	14	3,5	151	4	4,1
№ зоны	Снежный покров				Осадки		Водный режим			
	$h_{\text{н}}$	$h_{\text{сн}}$	$\gamma_{\text{сн}}$	$\tau_{\text{сн}}$	$r_{\text{т}}$	$r_{\text{г}}$	$S_{\text{н}}$	$S_{\text{о}}$	E	ω
1	60	28	0,27	250	23	30	7,2	22,5	7,5	14,7
2	70	22	0,25	240	27	35	7,3	19,6	15,4	22,7
3	75	32	0,21	230	29	38	9,4	18,6	18,6	28
4	75	40	0,22	205	36	50	9	30	30	39

Южная граница сплошной многолетней мерзлоты примерно совпадает с изолинией $\Sigma_0 = 1200$ гс. Глубина сезонного оттаивания увеличивается с севера на юг от 1 до 2,7 м у песчаных грунтов и от 0,2 до 0,5 у торфяных. В теплое время года подошва оттаивающего слоя служит водоупором, вызывающим его переувлажнение. Таяние мерзлоты и недостаточное испарение способствуют заболачиванию территории и развитию специфического озерно-болотного ландшафта с преобладанием травянистой растительности.

В пределах холодной фитосферы изменение климатических показателей, в частности индекса тепла, подобно их пространственному изменению в направлении с севера на юг. За короткое лето любое место здесь дважды «пробегаёт» через весь спектр климатических условий, типичных для более северных районов, — от минимальных значений, характерных для арктических пустынь (в начале и конце теплого периода при температурах воздуха 0—5°C), до максимальных в его середине. Индекс тепла, как время или пройденный путь, — кумулятивная величина, изменяющаяся только в сторону увеличения. На рис. 3 показан многолетний ход годового индекса тепла Σ_0 : в Сургуте (а), в Салехарде (б) с 1885 г. и в Березове с 1951 г. (в). А на рис. 4 приведен ход его роста за эти годы $j_{\Sigma_{\text{м}}}$ в тех же пунктах в нормализованных величинах, рассчитанных по формуле [7]

$$j_x = (x - x_{\text{min}}) / (x_{\text{max}} - x_{\text{min}}), \quad (1)$$

где x , x_{max} и x_{min} — текущее, максимальное и минимальное размерные числа в рассматриваемой выборке; j — его относительное (нормализованное, безразмерное) значение.

Все три кривые на рис. 3г практически сливаются. Графики на рис. 3д и 3е отражают зависимость годового индекса тепла в размерной и безразмерной форме от $j_L = \Delta L / L$ — относительного расстояния по линии L на рис. 1. Из сравнения графиков на рис. 3г и 3д следует идентичность (эквивалентность, взаимозаменяемость) всех трех нормализованных величин — времени, пространства и индекса тепла (см. также [10], где показано, что $j_{\Sigma_0} \approx j_L$).

Эквивалентность пространственных и временных координат прослеживается, например, при анализе связи размерной t_7 и безразмерной j_{t_7} температур воздуха в июле (рис. 4). График на рис. 4а отражает характер взаимосвязи этих показателей на всех метеостанциях севера Тюменской области [13], графики на рис. 4б и 4в — только в Салехарде и в Сургуте за 100 лет (начиная с 1885 г.). Сравнение показывает, что значения t_7 , найденные по обоим графикам, не сильно отличаются: на 11% в Салехарде и всего на 3% в Сургуте. Это и означает, что изменения пространственных и временных связей ЭК примерно эквивалентны и взаимозаменяемы. Поэтому определять многолетние климатические показатели и их тренды с допустимой погрешностью можно как по пространственным, так и по временным координатам.

Анализ существующих схем районирования Западной Сибири показывает, что распределение ЭК довольно существенно отклоняется от широтной зональности, особенно на севере, где изолинии ЭК направлены скорее с запада на восток, чем с юга на север (см. рис. 1). 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,

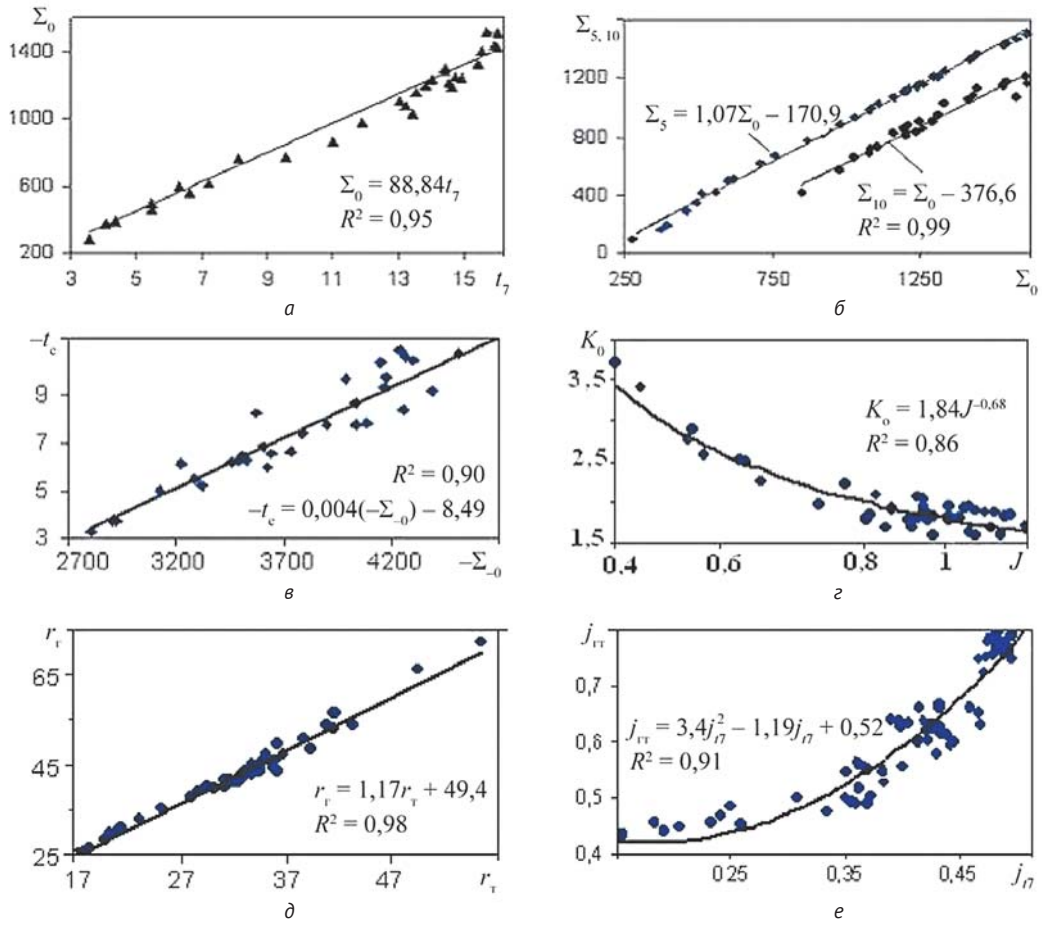


Рис. 2. Зависимости: Σ_0 от t_7 (а), Σ_5 и Σ_{10} от Σ_0 (б), t_c от Σ_0 (в), K_0 от J (г), r_r от r_t (д), j_r от j_Π (е) (обозначения – в тексте)

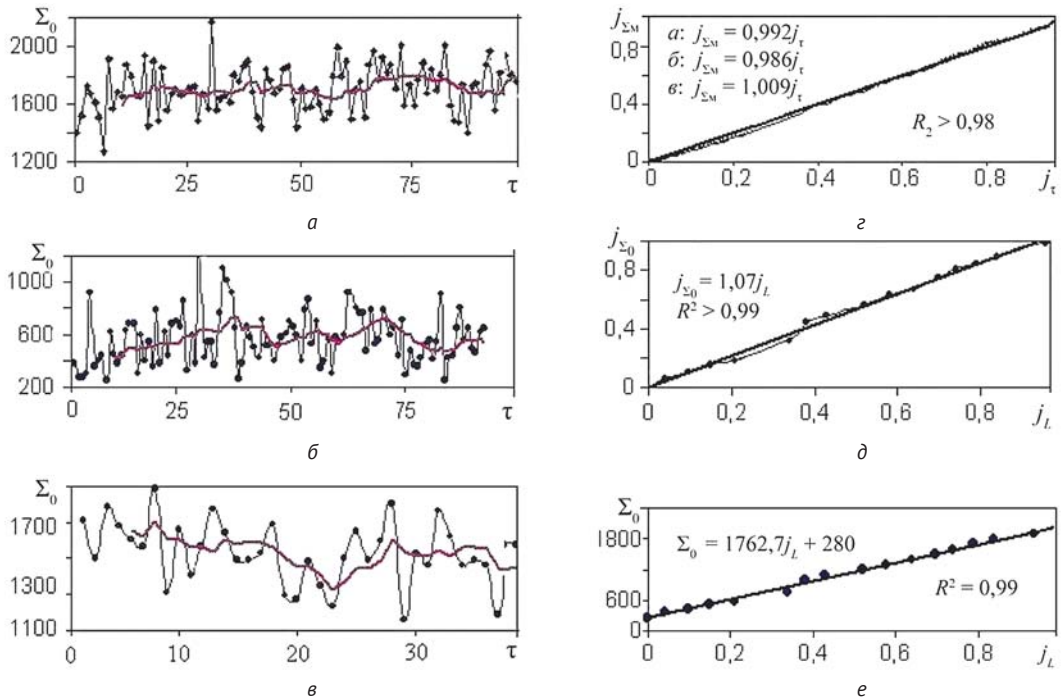


Рис. 3. Ход Σ_0 (гс) во времени τ (годы): в Сургуте (а), Салехарде (б) и Березове (в); а также зависимость $j_{\Sigma M}$ от j_τ (г), $j_{\Sigma 0}$ от j_L (д) и Σ_0 от j_L (е) (пояснения – в тексте)

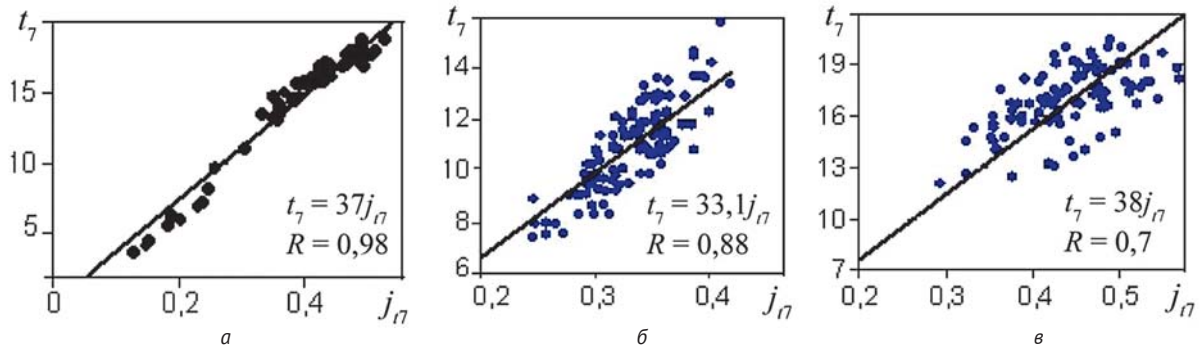


Рис. 4. Зависимость t_7 от j_7 по всему северу Тюменской области (а), только в Салехарде (б) и в Сургуте (в)

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 на той же широте, но восточнее, $t_c = -9,4^\circ\text{C}$, $t_7 = 13,4^\circ\text{C}$, $r = 394$ мм, $\Sigma_0 = 1029$ гс. Из-за такой климатической асимметрии большое значение приобретает возможность определения биотических показателей непосредственно по климатическим характеристикам, например по индексу тепла Σ_0 .

Климатическая зависимость биотического разнообразия

В табл. 2 показана климатическая зависимость количества видов (В), родов (Р), семейств (С), порядков (П), классов (К) и отделов (Од) травянистых и деревянистых (деревьев, кустарников, полукустарников, кустарничков и полукустарничков) растений в арктической, северной и южной тундре (1—3), в лесотундре (4) и в северной тайге (5) по В. А. Глазунову [9].

Зональное распределение таксонов животных разного иерархического уровня — видов (В), родов (Р), семейств (С), отрядов (О) и классов (К) в Тюменской области исследовал С. Н. Гашев. Его данные по их климатической зависимости опубликованы в [2; 3; 7; 8]. На рис. 5 показаны графики зависимости численности разных таксонов растений N_p и животных $N_ж$ от индекса тепла Σ_0 , построенные по данным этих работ.

Другие показатели биоты, в частности продукция и биомасса растительности [8; 10], также зависят от климата через посредство Σ_0 (табл. 3).

Таблица 3. Номера подзон (по табл. 2), индексы тепла Σ_0 , продукция Pr (т/га-год) и биомасса Vm (т/га) растительности на севере Тюменской области

Показатель	1	2	3	4	5
Σ_0	320	480	610	1010	1293
Pr	1,9	2,9	3,7	6,1	7,8
Vm	39,7	89,2	118,4	180	210

Анализ таблиц и графиков зависимости биотических показателей от индекса тепла показал, что: а) начиная с уровня классов количество таксонов перестает зависеть от климата, становится примерно постоянным, одинаковым во всех БК; б) общая формула зависимости параметров биоты от Σ_0 практически линейна:

$$Y = A\Sigma_0 + B, \quad (2)$$

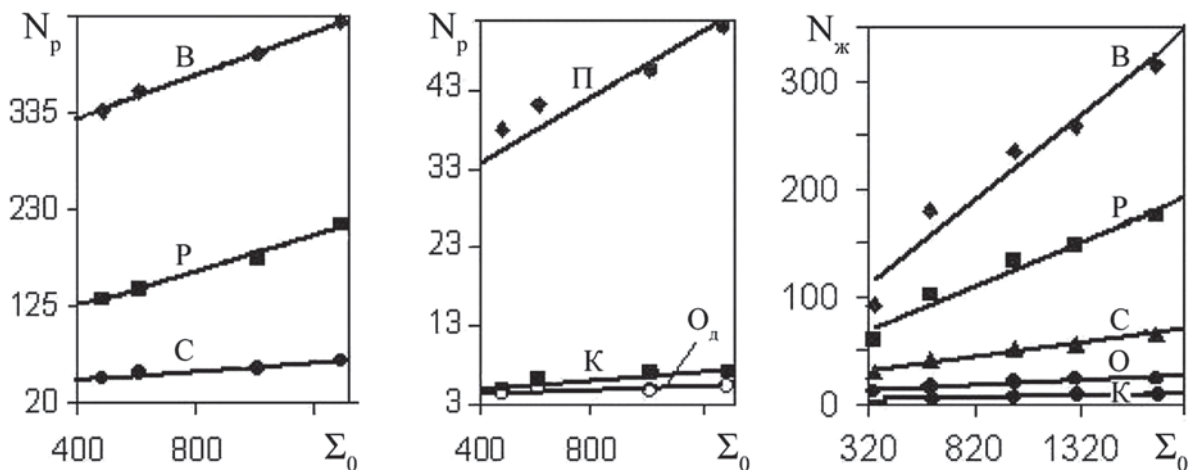


Рис. 5. Графики зависимости N_p и $N_ж$ от Σ_0 для разных таксонов (буквенные обозначения таксонов — в тексте)

Таблица 2. Номера подзон, индексы тепла Σ_0 и численность таксонов сосудистых растений на севере Тюменской области

№	Σ_0 , гс	Все растения N_p						Травянистые T_p			Деревянистые D		
		В	Р	С	П	К	Од	В	Р	С	В	Р	С
1	320	162	74	31	28	4	3	148	67	25	14	7	6
2	480	339	134	46	38	5	4	301	115	34	38	19	12
3	610	358	145	52	41	6	5	311	121	38	47	24	14
4	1010	400	177	57	45	7	5	343	150	42	57	27	15
5	1293	435	214	66	52	7	5	377	186	51	58	28	15

где Y — общее обозначение биотических параметров; a и B — численные коэффициенты, найденные с помощью программы Excel и сведенные в табл. 4.

Таблицы 1—4 вкпе с формулой (2) позволяют определить количество биотических таксонов непосредственно по величине Σ_0 .

На рис. 6а и 6б даны графики зависимости количества родов N_2 , семейств N_3 и отрядов (порядков) N_4 биоты от количества видов N_1 . Из них видно, что количество каждого таксона зависит от климата, увеличиваясь с севера на юг. А вот их отношение к количеству видов — постоянная величина, не зависящая от климата (т. е. во всех БК $N_{p2}/N_{p1} = 0,44$; $N_{ж2}/N_{ж1} = 0,58$ и т. п.). Поэтому, зная количество видов, по формулам на рис. 6а и 6б можно рассчитать и количество других таксонов (родов, семейств и т. д.). На рис. 6в отражена

устойчивая линейная связь таксонов флоры и фауны, также инвариантная климату.

О биотическом разнообразии

Этот показатель выражается через различные соотношения между массой или численностью разных групп биоты — индексами Шеннона (мера энтропии), Симпсона (мера дисперсии) и др. [4]. Чем больше индекс Шеннона, тем разнообразнее биота. Увеличение индекса Симпсона соответствует росту доминирования. Следует отметить, что состав биоты, количество ее систематических групп (таксонов) и соотношения между ними реально определяются только непосредственным подсчетом (перепишью) в полевых условиях, т. е. все индексы разнообразия биоты рассчитываются по уже известным ее

Таблица 4. Постоянные в формуле (2) для основных параметров биоты (ПБ): количества таксонов млекопитающих (М), птиц (Пт), всех животных $N_{ж} = M + Пт$, деревянистых (Д) и травянистых (Тр) растений, всей растительности (N_p), продукции P_r и биомассы B_m растений, а также значения R^2

ПБ	Таксоны	A	B	R^2	ПБ	Таксоны	A	B	R^2	
М	Виды	0,125	53,1	0,92	Д	Виды	0,0024	30	0,88	
	Роды	0,063	34,9	0,93		Роды	0,001	16	0,87	
	Семейства	0,02	16,1	0,94		Семейства	0,0003	11,3	0,73	
	Отряды	0,008	5,8	0,9		Виды	0,09	255	0,99	
Пт	Виды	0,031	10,3	0,98	Тр	Роды	0,09	30	0,97	
	Роды	0,017	10,1	0,95		Семейства	0,02	25	0,94	
	Семейства	0,006	6,8	0,96		N_p	Виды	0,115	285	0,99
	Отряды	0,001	4,5	0,80			Роды	0,096	86,3	0,94
$N_{ж}$	Виды	0,176	49,8	0,98	Семейства		0,022	36,4	0,91	
	Роды	0,091	37,2	0,98	Порядки		0,021	25,4	0,9	
	Семейства	0,029	21	0,98	Классы	0,003	3,6	0,86		
	Отряды	0,01	9,2	0,99	Отделы	0,0026	2,7	0,84		
P_r	—	0,006	0	0,91	B_m	—	0,171	0	0,96	

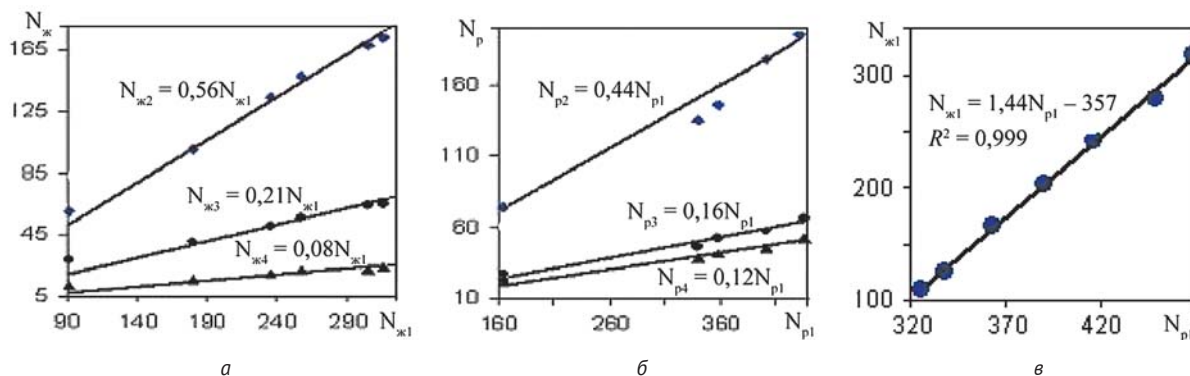


Рис. 6. Зависимость $N_{ж2}$ — $N_{ж4}$ от $N_{ж1}$ (а), N_{p2} — N_{p4} от N_{p1} (б), а также $N_{ж1}$ от N_{p1} (е)

показателям. Причем 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 климатическим данным, 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}). Для Севера наиболее актуальны Σ_5 и Σ_{10} , линейно связанные с Σ_0 (см. рис. 3б). Выделим три температурных участка с разными условиями вегетации: 1) 0—5; 2) 5—10; 3) 10— t_m (t_m , °C — максимальная среднемесячная температура воздуха летом, в Арктике — $t_m = t_8$, на остальной территории региона $t_m = t_7$), а также отвечающие им группы биоты. В первую группу входит арктическая биота, во вторую — холодостойкая, в третью — теплолюбивая. Распределим сумму температур (индекс тепла или условное тепло) Σ_0 по этим трем группам. Возьмем, например, Тамбей, где $\Sigma_0 = 493$, $\Sigma_5 = 344$ гс, самая высокая среднемесячная температура летом $t_m = t_8 = 6,4^\circ\text{C}$, т. е. третья температурная группа, соответствующая теплолюбивой биоте, здесь 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 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, $t_7 = 17,7^\circ\text{C}$: $\Sigma_1 = \Sigma_0 - \Sigma_5 = 81$ 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: $\eta_1 = \Sigma_1/\Sigma_0 = 0,07$; $\eta_2 = \Sigma_2/\Sigma_0 = 0,22$; $\eta_3 = \Sigma_3/\Sigma_0 = 0,71$ (сумма η_1 , η_2 и η_3 всегда равна единице). Долевые тепловые индексы η_{1-3} постоянны для каждого географического места и могут использоваться для оценки обилия и разнообразия биоты.

Проиллюстрируем порядок индексации биоты по тепловому (климатическому) признаку на примере

продукции (Pr) растительности. Для северной фитоценозы установлена [7] формула зависимости Pr от Σ_0 :

$$Pr = 0,006\Sigma_0. \quad (3)$$

Линейность этого соотношения определяет простой вид зависимости продукции на всех трех температурных участках Pr_{1-3} от долевого содержания условного тепла η_{1-3} :

$$Pr_{1-3} = Pr\eta_{1-3}. \quad (4)$$

В частности, в Салехарде, где (см. выше) $\Sigma_0 = 1159$ гс, $\eta_1 = 0,07$, $\eta_2 = 0,22$, $\eta_3 = 0,71$, по формуле (3) рассчитывается общая продукция $Pr = 7$ т/га·год, а по формуле (4) — ее 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 $N_{ж}$, N_p и Vm как и Pr, линейно связаны с Σ_0 (см. рис. 5, табл. 4), зависимость их распределенных по температурным группам величин N_{1-3} от долевых индексов тепла η_{1-3} также можно определять по формуле (4), подставляя в нее значения этих показателей вместо Pr.

В табл. 5 сведены показатели биоты на видовом уровне на севере Тюменской области в зависимости от индексов сухости и тепла. При необходимости с помощью формул, приведенных на рис. 6, можно определить эти показатели и для последующих уровней (родов, семейств и т. д.)

Из табл. 5 следует, что общее количество биотических видов, а также только теплолюбивой биоты (N_{p3} и $N_{ж3}$) в пределах рассматриваемой территории увеличивается с севера на юг вслед за увеличением J и Σ_0 . Количество же арктических видов (N_{p1} и $N_{ж1}$) при этом сокращается. Что касается численности холодоустойчивых видов (N_{p2} и $N_{ж2}$), у флоры она также убывает, а у фауны практически постоянна.

Потепление климата и его влияние на биоту

В последние 40—50 лет отмечается повсеместное потепление климата, основным признаком которого является повышение температуры воздуха

как в теплое время года, так и в среднегодовом выражении. Потепление вызывает много негативных последствий, часто катастрофического характера — пожары, наводнения, просадки вечномёрзлых грунтов, разрушительные деформации инженерных сооружений и т. п. Особенно оно опасно для Севера, где грозит оттаиванием приполярных и подземных льдов и высвобождением огромных масс воды и защемленных в толще мерзлоты газов. В то же время очевидно, что повышение температур воздуха в условиях достаточного или избыточного увлажнения, что характерно для Севера, положительно влияет на биоту вследствие увеличения длительности вегетационного периода. По крайней мере так должно быть теоретически.

Эволюция биоты (естественное образование новых видов) протекает очень медленно. Изменение состава биоты в новое время (за период порядка двух-трех сотен лет) связано главным образом с циклическими пространственно-временными перемещениями (оборотом) биоклиматических комплексов, вызванных колебаниями климата, и с хозяйственной деятельностью человека. Человеческий фактор по своим возможностям сопоставим с климатическим, а часто и превосходит его. При полной оценке изменения биоты необходимо учитывать оба фактора.

В данной работе оценивается изменение биотического многообразия только за счет повышения температуры воздуха. Используемые климатические показатели взяты из справочников 2011 и 1965 гг. [13; 11]. По мнению специалистов [5; 12], биота конца XX — начала XXI в. примерно соответствует климатическим показателям справочника за 1965 г. [13]. Поэтому решение поставленной задачи сводилось к сопоставлению данных этих справочников и анализу результатов.

В табл. 6 приведены среднемноголетние значения среднегодо-

Таблица 5. Индексы сухости J и тепла Σ_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 Σ_{0-5} , Σ_{5-10} , Σ_{10-17} и относительные η_{1-3}); распределенные по трем температурным группам продукция Pr_{1-3} и количество видов растений N_{p1-3} и животных $N_{ж1-3}$

БК	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
J	0,45	0,5	0,6	0,7	0,75	0,81	0,88	0,96
Σ_0	340	439	658	877	1097	1316	1536	1700
Σ_{0-5}	147	140	125	110	94	79	63	52
Σ_{5-10}	193	237	252	267	283	298	314	325
Σ_{10-17}	—	62	281	500	720	939	1159	1343
η_1	0,43	0,32	0,19	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03
η_2	0,57	0,54	0,38	0,31	0,26	0,23	0,21	0,2
η_3	—	0,14	0,43	0,57	0,66	0,71	0,75	0,77
Pr	3,2	4,2	6	7,3	8,5	9,3	9,8	10,2
Pr_1	1,38	1,34	1,14	0,91	0,73	0,56	0,41	0,31
Pr_2	1,82	2,27	2,3	2,23	2,19	2,11	2	2
Pr_3	—	0,59	2,56	4,16	5,58	6,64	7,4	7,8
N_p	326	338	364	390	417	449	469	480
N_{p1}	140	108	69	49	36	27	19	14
N_{p2}	185	182	139	119	107	100	96	96
N_{p3}	—	48	155	223	274	316	354	370
$N_{ж}$	110	127	166	204	243	281	316	324
$N_{ж1}$	47	41	32	26	21	17	13	10
$N_{ж2}$	63	68	63	62	63	64	65	65
$N_{ж3}$	—	17	71	116	159	201	242	249

вых t_c и июльских t_7 температур воздуха в ряде пунктов на севере Тюменской области за периоды до 2011 и до 1965 гг. На рис. 7 показан зональный ход разницы температур за эти сроки Δt_7 и отношения между ними $k = t_{7,a}/t_{7,b}$.

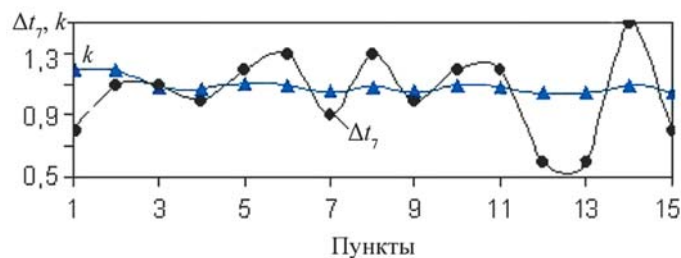


Рис. 7. Значения Δt_7 и k на севере Тюменской области (номера пунктов — по табл. 1)

Таблица 6. Средние значения t_c и t_7 за периоды времени до 2011 (а) и 1965 гг. (б) и их изменения за 50 лет на севере Тюменской области

№	Пункт	$t_{c.a, 2011}$	$t_{c.b, 1965}$	$t_{7.a, 2011}$	$t_{7.b, 1965}$	$k = t_{7.a}/t_{7.b}$	$\Delta t_7 = t_{7.a} - t_{7.b}$
1	Остров Белый	-11,7	-10,4	4,9	4,1	1,19	0,8
2	Мыс Харасавэй	-10,5	-9,8	6,6	5,5	1,2	1,1
3	Тазовский	-8,6	-9,3	14,5	13,4	1,08	1,1
4	Сидоровск	-8	-8,5	15,6	14,6	1,07	1
5	Новый Порт	-7,8	-9,4	12,2	11	1,11	1,2
6	Ямбург	-6,3	-6,9	14,3	13	1,1	1,3
7	Салехард	-6,3	-6,4	14,7	13,8	1,06	0,9
8	Халесавэй	-5,3	-5,8	17,2	15,9	1,08	1,3
9	Тарко-Сале	-6	-6,7	16,4	15,4	1,06	1
10	Яр-Сале	-7,3	-7,5	14,4	13,2	1,09	1,2
11	Надым	-5,9	-6,6	15,9	14,7	1,08	1,2
12	Березово	-3,1	-3,8	16,4	15,8	1,04	0,6
13	Сургут	-2,9	-3,1	17,5	16,9	1,04	0,6
14	Няксимволь	-2,2	-1,2	17,3	15,8	1,09	1,5
15	Ханты-Мансийск	-0,8	-1,4	18,3	17,5	1,05	0,8

Таблица 5 и рис. 7 отражают общую тенденцию к повышению июльских температур воздуха в последние примерно 50 лет: на 0,6—1,5°C (в среднем на 1,04°C) или на 5—19% (в среднем на 7%) со средней скоростью: $v_{\text{т}} \approx 1/50 \approx 0,02$ град/год. Каких-либо пространственных (зональных) закономерностей в распределении Δt_7 и k не наблюдается, причем величина k пренебрежимо мало меняется от пункта к пункту. Поэтому можно принять в первом приближении эти величины постоянными и равными средним значениям: $\Delta t_7 = 1,04^\circ\text{C}$; $k = 1,07$.

Что касается среднегодовых температур, то на большей части региона они также повышаются за исключением островов и побережья Карского моря (остров Белый и мыс Харасавэй), где наблюдается некоторое их понижение [11; 13]. Это указывает на то, что потепление климата происходит в основном за счет повышения летних температур.

С помощью уравнения зависимости Σ_0 от t_7 (см. рис. 2) определим средние величины повышения индекса тепла $\Delta \Sigma_0$ за 50 лет $\Delta \Sigma_{0-50}$ и за год $\Delta \Sigma_{0-1}$ (временной градиент):

$$\begin{aligned} \Delta \Sigma_{0-50} &= 88,8 \Delta t_7 = 88,8 \cdot 1,04 = 92 \text{ гс}; \\ \Delta \Sigma_{0-1} &= 92/50 = 1,84 \text{ гс/год}. \end{aligned} \quad (5)$$

Увеличение индекса тепла вызывает: 1) перемещение биоклиматических комплексов (БК) с юга на север и 2) увеличение видового богатства биоты.

Определим средние величины этих факторов.

1. После подстановки $L \approx 1500$ км в выражение Σ_0 на рис. 2е получаем его размерную формулу: $\Sigma_0 = 1,18l + 280$ (l — расстояние от северной границы территории в километрах). Взяв из нее производную Σ_0 по l , находим среднюю величину приращения индекса тепла в направлении с севера на юг (пространственного градиента):

$$\Delta \Sigma_{0,l} = 1,18 \text{ гс/км}. \quad (6)$$

Приравняв временной $\Delta \Sigma_{0,l}$ и пространственный $\Delta \Sigma_{0,l}$ градиенты (1,84 гс/год = 1,18 гс/км), получим выражение эквивалентности времени и расстояния (относительно индекса тепла): 1 год ~ 1,56 км. То есть за год вся система границ БК перемещалась к северу в среднем примерно на 1,56 км, а всего за последние 50 лет переместилась на 1,56·50 = 78 км. Конечно, это ориентировочные расчеты, но и из них видно, что повышение температуры помимо положительного воздействия на биоту, связанного со смягчением условий существования, вызывает и отрицательное — сокращение ареала арктических (и высокогорных) видов, переход последних в категорию редких и постепенное вымирание.

2. В табл. 7 приведены значения индекса тепла за периоды наблюдений до 1965 г. (числители) и до 2011 г. (знаменатели) и соответствующие им величины видового богатства. Числители взяты из [13], знаменатели вычислены, как показано ниже.

Таблица 7. Индексы тепла Σ_0 (гс) по наблюдениям до 1965 г. (числитель) и до 2011 г. (знаменатель), соответствующие им продукция Pr (т/га-год) и число видов растений N_p и животных $N_{ж}$ в разных БК (по рис. 1)

БК	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Σ_0	340/432	439/531	658/750	877/969	1097/1189	1316/1408	1536/1628	1700/1819
Pr	2/2,2	2,6/2,8	3,9/4,2	5,3/5,6	6,6/7	7,9/8,4	9,2/9,9	10,2/10,9
N_p	327/335	338/346	364/371	390/396	417/421	449/457	469/472	480/491
$N_{ж}$	110/125	127/143	166/181	204/220	243/259	281/298	316/336	324/365

Сначала рассчитан знаменатель в первой строке табл. 7 (Σ_{0-2011}) прибавлением к числителю величины $\Delta\Sigma_0 = 92$ гс или умножением ее на $k = 1,07$. Знаменатели в других строчках табл. 7 — продукция и число видов флоры и фауны, соответствующие Σ_{0-2011} , вычислены по формуле (2) при подстановке в нее Σ_{0-2011} . Аналогично можно оценить влияние потепления на групповые индексы тепла, биотические таксоны высших рангов и биомассу.

Судя по табл. 7, повышение июльской температуры воздуха на 1°C и соответственно суммы положительных температур на 93 гс вызвало определенное увеличение видов биоты: растений от 8 в арктической тундре до 11 в средней тайге, животных от 15 в арктической тундре до 41 в средней тайге.

Заключение

1. Основными климатическими показателями, определяющими богатство и разнообразие биоты, являются индексы сухости и тепла. Количество биотических таксонов в пределах севера Тюменской области увеличивается с севера на юг вслед за увеличением этих показателей. В то же время отношение количества родов, видов, семейств, отрядов (порядков) к количеству видов остается постоянным. Количество видов флоры и фауны устойчиво увязаны друг с другом, а их отношение также инвариантно климату.

2. За последние 50 лет июльские температуры воздуха на севере Тюменской области повысились примерно на 1°C , а суммы положительных температур — на 93 гс. Такое потепление отвечает увеличению количества видов: растений — на 1—3%, животных — в среднем на 9%. То есть позитивное влияние потепления климата на биоту севера имеет место, но в общем оно невелико и вряд ли компенсирует связанные с потеплением негативные факторы — пожары, наводнения и т. п.

Литература

1. Будыко М. И. Климат и жизнь. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — 400 с.
2. Гашев С. Н. Млекопитающие Тюменской области: справочник-определитель. — Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. — 333 с.

3. Гашев С. Н. База данных «Рабочее место орнитолога». Свидетельство № 2012620405 (зарегистрировано в Реестре баз данных 3 мая 2012 г.).

4. Гелашвили Д. Б., Иудин Д. И., Розенберг Г. С. и др. Основы мультифрактального анализа видовой структуры сообщества // Успехи современной биологии. — 2008. — Т. 128.

5. Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. Н. и др. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. — Новосибирск: Наука, 1985. — 250 с.

6. Коновалов А. А., Роман Л. Т. Особенности проектирования фундаментов в нефтепромысловых районах Западной Сибири. — Л.: Стройиздат, 1981. — 168 с.

7. Коновалов А. А. Характер зависимости ширины годовых колец от климата // Аграр. Россия. — 2013. — № 2. — С. 24—30.

8. Коновалов А. А. Структурирование биоты по климатическому признаку // Аграр. Россия. — 2014. — № 4. — С. 16—20.

9. Коновалов А. А., Глазунов В. А., Московченко Д. В. и др. О климатической зависимости биоты на севере Тюменской области // Материалы III Всероссийского совещания «Человек и Север». — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2015. — С. 333—338.

10. Коновалов А. А., Иванов С. Н. Реконструкция истории климата по групповым палиноспектрам на примере Западной Сибири. — Saarbrücken: Palmarium academic publ., 2012. — 119 с.

1. Научно-прикладной справочник «Климат России, 2011» // <http://aisori.meteo.ru/ClspR>.

11. Ребристая О. В. Флора полуострова Ямал: Современное состояние и история формирования. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. — 312 с.

12. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометиздат, 1965; 1966. — Вып. 17, ч. I и II. — 276 с.

13. Титов Ю. В., Потокин А. Ф. Растительность поймы р. Таз. — Сургут: Изд-во СурГУ, 2001. — 141 с.

14. Хозяинова Н. В. Флора и растительность северной тайги Пуровского района Тюменской области (север Западной Сибири) // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения [Тюмень]. — 2007. — 8. — С. 27—50.

15. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. — Л.: Гидрометиздат, 1974. — 268 с.