

А.А. Коновалов

О ВЛИЯНИИ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА БИОТУ СЕВЕРА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Показаны взаимосвязи основных показателей климата (индексов тепла и сухости, температуры июля и др.) севера Тюменской области, их приблизительное подобие во времени и пространстве. Изучены количественные закономерности влияния потепления климата на биоту севера Тюменской области в последние 50 лет. Разработана методика прогноза биотических показателей при увеличении сумм положительных температур (индекса тепла). Приведены примеры расчета.

Север Тюменской области, климат, индексы сухости и тепла, биота, таксоны.

Введение

В последнее время отмечается потепление климата, основным признаком которого является повышение температуры воздуха, как в теплое время года, так и в среднегодовом выражении. Потепление климата вызывает много негативных последствий, часто катастрофического характера — пожары, наводнения, просадки почвы и т.п. Особенно оно опасно для Севера, где грозит оттаиванием приполярных и подземных льдов, и высвобождением огромных масс воды и газов, фиксированных вечной мерзлотой.

В то же время потепление климата положительно влияет на биоту вследствие повышения температуры воздуха и увеличения длительности вегетационного периода.

Целью настоящей работы является количественная оценка температурной составляющей потепления климата на севере Тюменской области в последние 50 лет и ее воздействия на биоту.

Используемые климатические показатели взяты из справочников 2011 и 1965 гг. [8, 10]. По мнению специалистов биота конца XX — начала XI в. примерно соответствует климатическим показателям справочника за 1965 г [10]. Поэтому достижение поставленной цели сводится к сопоставлению данных этих справочников и анализа результатов.

Север Тюменской области — территория Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, протяженностью в меридиональном направлении более 1500 км.

Она включает в себя восемь биоклиматических комплексов (БК) [4, 5]. Их наименования и нумерацию (I, II, III, ... VIII) см. на рис. 1.

Качественные показатели биотического богатства и разнообразия севера Тюменской обл. рассмотрены в [1, 3, 4, 5, 9, 11]. В [4, 5] установлены количественные закономерности этих показателей с климатом и распределения по природным комплексам и уровням ранжирования. Эта статья является продолжением и развитием этих и других работ [2, 12–14] в части учета изменения климата при оценке биотического многообразия.

Аппроксимации искомым зависимостей и их достоверность (коэффициент детерминации) R^2 определялись по программе Excel.

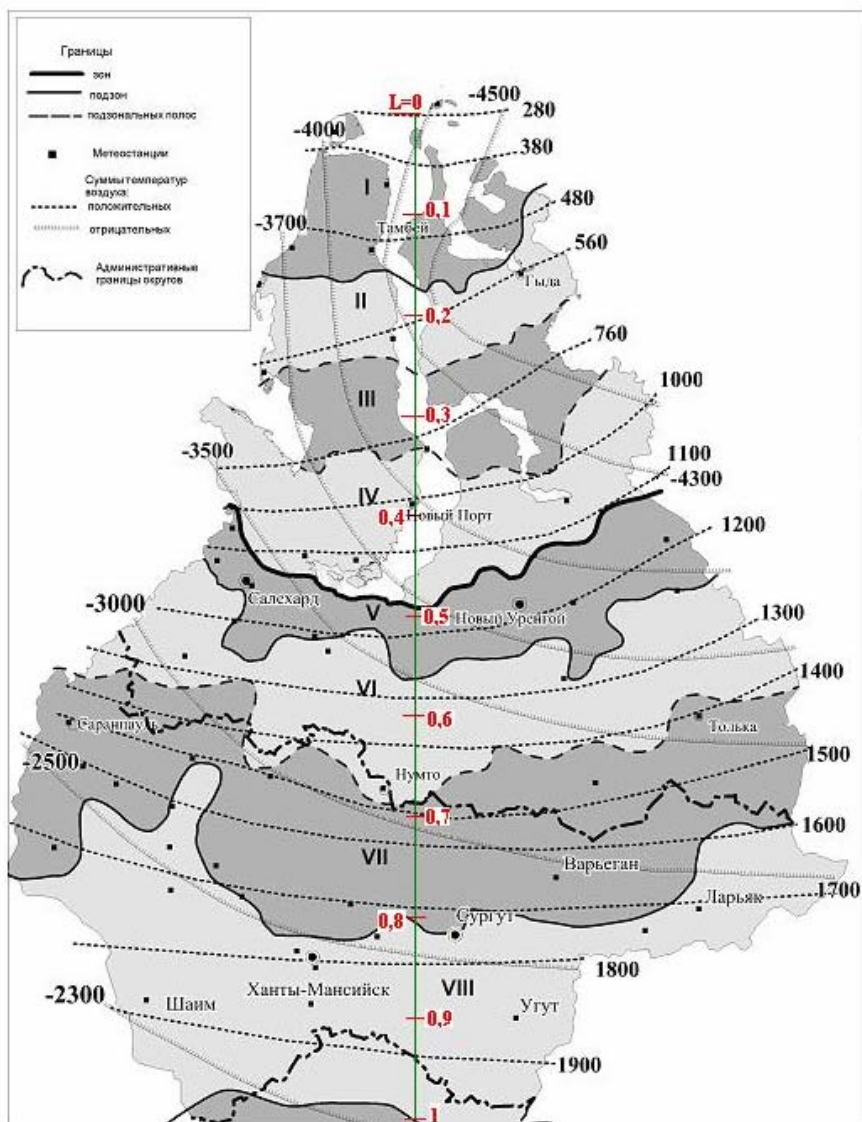


Рис. 1. Биоклиматические комплексы:

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), VIII — средняя тайга; суммы положительных (Σ_0) и отрицательных (Σ_{-0}) температур (гс) на севере Тюменской обл. Вертикаль $L = 1$ — условный меридиан может служить масштабной шкалой с ценой деления ~ 50 км при определении расстояний между изолиниями ЭК

Основные показатели климата, их взаимосвязи во времени и пространстве

Главными комплексными показателями климата являются: индекс сухости $J = B/Ur$ (B — годовой радиационный баланс, ккал/см²; $U = 0,6$ ккал/см³ — теп-

лота испарения), соотносящий поступления в почву тепла и влаги, и индекс тепла — сумма положительных температур воздуха Σ_0 , градусосутки (гс), ответственный за поступление тепла (распределение этого параметра показано на рис. 1).

В зависимости от величины J фитосфера делится на северную (холодную, влажную) и южную (теплую, сухую). Граница между ними лежит в области, где $J \approx 0,95 \dots 1,2$ (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) [4]. Найдены количественные выражения климатических взаимосвязей для условий Тюменской области [4–7], позволяющие по любому известному элементу климата, например, индексам тепла или сухости, или июльской температуре определить и все остальные. Для примера на рис. 2 приведена зависимость индекса тепла Σ_0 от июльской температуры t_7 .

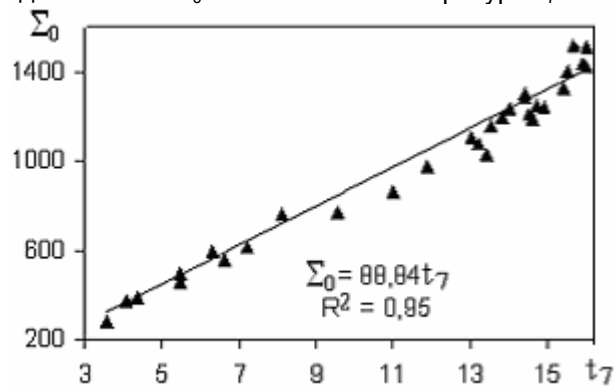


Рис.2. Зависимость Σ_0 от t_7 .

Вообще все элементы климата (ЭК) взаимосвязаны. Благодаря колебательному режиму функционирования, климатическую систему можно представить совокупностью подсистем, состоящих из двух противоборствующих элементов j_1 и j_2 , сумма которых равна 1. Например, при анализе температуры воздуха за j_1 можно принять относительную температуру самого холодного месяца, обычно января, $j_1 = j_{t_1} = (0 - t_1) / 2A$, а за j_2 — относительную температуру самого теплого, как правило, июля, $j_2 = j_{t_7} = (t_7 - 0) / 2A$, где t_1 и t_7 — среднемесячные температуры января и июля, $2A = t_7 - t_1$ — амплитуда (размах) колебаний, 0 — температура на разделе теплого и холодного периодов года, $^{\circ}\text{C}$. Величина j_{t_1} , 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 (южнее) рассматриваемой территории. а j_{t_7} — от 0 в арктической пустыне до 0,5 в подтаежной зоне; в северной фитосфере, т.е. $j_{t_1} \approx 0,5J$ [4, 5]. Аналогично, в виде холодно-теплых дихотомий, суммы элементов которых равны 1, можно представить продолжительность 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, хорошо коррелируя друг с другом и с размерными ЭК [6]. Такого рода графики, связывающие относительные (нормализованные) величины сумм осадков, температуры

воздуха и продолжительности теплого периода года на севере Тюменской обл.. приведены на рис. 3.

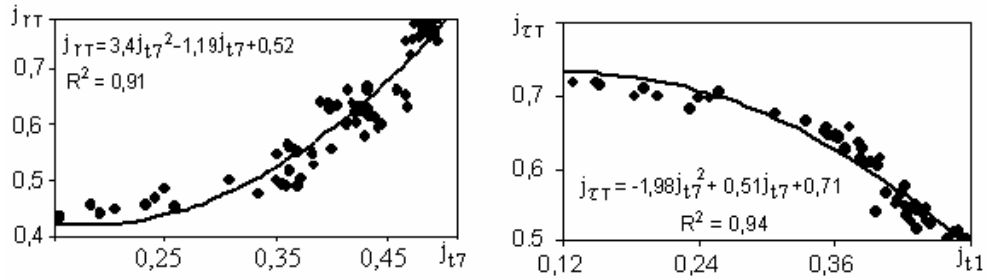


Рис. 3. Зависимости суммы осадков $j_{\tau T}$ в теплый период года от температуры воздуха в июле j_{t7} и продолжительности этого периода $j_{\tau T}$ от температуры воздуха в январе j_{t1} (все в относительных величинах)

В пределах холодной фитосферы изменение климатических показателей, в частности индекса тепла подобно их пространственному изменению в направлении с севера на юг. За короткое время теплого периода года любое место здесь «пробегают» через весь спектр климатических условий — от арктических пустынь и до характерных (устойчивых) для данного места.

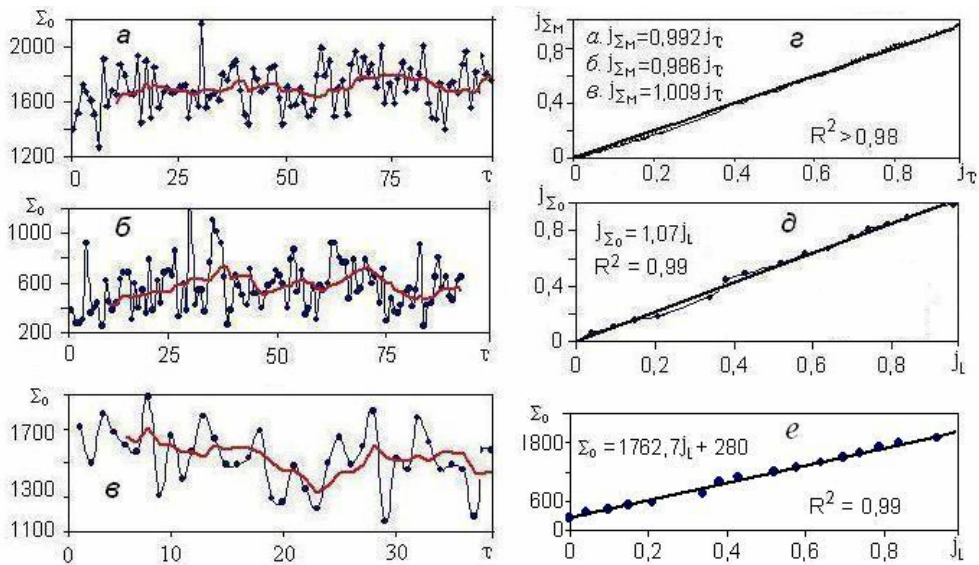


Рис. 4. Ход Σ_0 (гс) во времени τ (годы): *а* — в Сургуте, *б* — в Салехарде и *в* — в Березове; а также зависимость $j_{\Sigma M}$ от j_{τ} — *г*; j_{Σ_0} и Σ_0 от j_L — *д* и *е* (пояснения в тексте)

Индекс тепла, как время или пройденный путь — кумулятивная величина, изменяющаяся только в сторону увеличения. На рис. 4 показан многолетний ход годового индекса тепла Σ_0 : *а* — в Сургуте и *б* — в Салехарде, начиная с 1885 г., а также *в* — в Березове (с 1951 г.). А на рис. 4 *г* — ход его роста за эти годы $j_{\Sigma M}$ в тех же пунктах в нормализованных величинах, рассчитанных по формуле [7]:

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

где x , x_{max} и x_{min} — текущее, максимальное и минимальное размерное значение числа в рассматриваемой выборке, j_x — его нормализованное значение.

Все три кривые на рис. 4 з практически сливаются.

График на рис. 4 д отражает зависимость годового индекса тепла в размерной Σ_0 и безразмерной j_{Σ_0} форме от $j_L = \Delta L / L$ — относительного расстояния по линии L на рис. 1. Учитывая, что длина L составляет примерно 1500 км, выражение Σ_0 на рис. 4 д можно записать и в размерном виде. После несложных преобразований получаем:

$$\Sigma_0 = 1,18 l + 280 \quad (2)$$

где l , км — расстояние от южной границы территории.

Из сравнения графиков на рис. 4 з и д следует идентичность закономерностей накопления времени, пространственных показателей и сумм положительных температур, их примерная эквивалентность, взаимозаменяемость.

Сравнение показывает, что значения t_7 , найденные по обоим графикам не сильно отличаются. Продемонстрируем эти свойства на связи размерной (t_7) и безразмерной (j_{t7}) температур воздуха в июле. График на рис. 5 а отражает характер взаимосвязи этих показателей на всех 60 метеостанциях севера Тюменской обл. [10], графики на рис. 5 б, с — только в Салехарде (б) и в Сургуте за 100 лет (с 1885 г.): на 11 % в Салехарде и всего на 3 % в Сургуте. Т.е., пространственные и временные связи t_7 и j_{t7} примерно идентичны. Из чего следует возможность определения средних величин ЭК обоими способами.

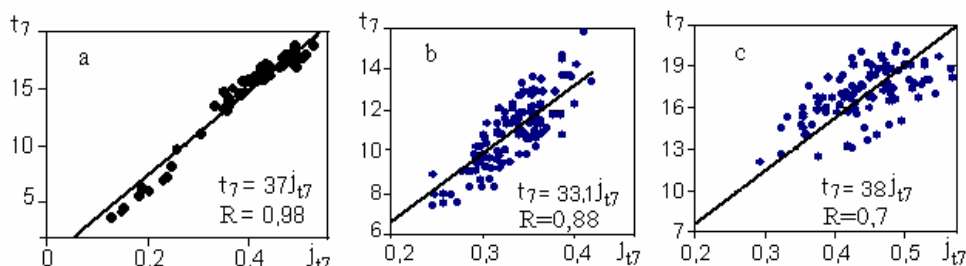


Рис. 5. Зависимость t_7 от j_{t7} по всему северу Тюменской обл. — а, только в Салехарде — б и Сургуте — с

Потепление климата и его влияние на биоту

В табл. 1 приведены среднемноголетние значения среднегодовых (t_c) и июльских (t_7) температур воздуха в ряде пунктов на севере Тюменской обл. за периоды до 1965 и до 2011 г. [8, 10]. На рис. 6 показан ход разницы температур за эти сроки Δt_7 и отношения между ними $k = t_{7a} / t_{7b}$.

Табл. 1 и рис. 6 отражают повсеместную тенденцию к повышению июльских температур воздуха в последние 50 лет: на 0,6–1,5 °С (в среднем на 1,04 °С) или на 5–19 % (в среднем на 7 % или в 1,07 раза) со средней скоростью: $V_{t7} \approx 1/50 \approx 0,02$ град/год. Каких-либо пространственных (зональных) закономерностей в распределении Δt_7 и k не наблюдается, причем величина k практически не меняется от пункта к пункту. Поэтому принимаем их постоянными для всех БК, равными средним значениям: $\Delta t_7 = 1,04$ °С; $k = 1,07$.

Что касается среднегодовых температур, то на большей части региона они также повышаются, за исключением островов и побережья Карского моря (о. Белый и м. Харасавэй), где наблюдается некоторое их понижение [8, 10].

Таблица 1

Средние значения t_c и t_7 за периоды времени до 2011 (а) и 1965 г. (б) и их изменения за 50 лет на севере Тюменской обл.

№	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	о. Белый	-11,7	-10,4	4,9	4,1	1,19	0,8
2	м. 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	Н. 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

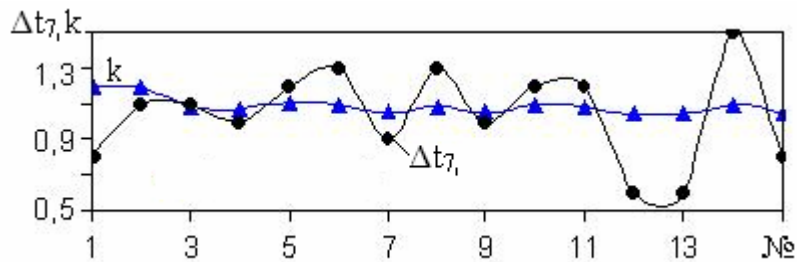


Рис. 6. Значения Δt_7 и k на севере Тюменской обл. (№ — номера пунктов по табл. 1)

С помощью уравнения зависимости Σ_0 от t_7 (на рис. 2), найдем средние величины повышения индекса тепла $\Delta \Sigma_0$ за 50 лет и его скорости:

$$\Delta \Sigma_0 = 88,8 \cdot \Delta t_7 = 88,8 \cdot 1,04 = 92 \text{ гс}; \quad v_{\Sigma_0} \approx 92/50 \approx 1,84 \text{ гс/год} \quad (4)$$

Величина отношения индексов тепла за эти годы k остается равной 1,07. Ниже эти цифры использованы для оценки влияния потепления климата на биоту.

Детальное исследование количественной зависимости биоты севера Тюменской области от климата выполнено в [4, 5]. Выявлены зональные закономерности распределения таксонов флоры и фауны. Получены формулы их связи с климатическими показателями. Переход от Σ_0 к биотическим показателям осуществляется по формуле:

$$Y = A \Sigma_0 + B \quad (5)$$

где Y — общее обозначение биотических показателей, A и B — численные коэффициенты, равные: 0,115 и 285 для флоры; 0,176 и 49,8 для фауны; 0,006 и 0 для продукции.

В табл. 2 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 [10], знаменатели вычислены следующим образом. Сначала рассчитан знаменатель в первой строке табл. 2 ($\Sigma_{0..2011}$) путем прибавления к числителю величины $\Delta\Sigma_0 = 92$ гс или умножением ее на $k = 1,07$. Знаменатели в других строчках табл. 1 — продукция и количества видов флоры и фауны, соответствующие $\Sigma_{0..2011}$, рассчитаны по формуле (5) при подстановке в нее $\Sigma_{0..2011}$.

Таблица 2

**Индексы тепла (Σ_0), гс; продукция (Pr , т/га·год);
число видов растений (N_p) и животных ($N_{ж}$) в разных БК (по рис. 1),
соответствующие климатическим показателям,
наблюдаемым до 1965 г (числитель) и до 2011 г. (знаменатель)**

БК	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Σ_0	340/364	439/470	658/684	877/938	1097/1174	1316/1408	1536/1644	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	326/326	338/339	364/365	390/393	417/420	449/447	469/474	480/494
$N_{ж}$	110/114	127/133	166/170	204/215	243/256	281/298	316/339	324/370

Судя по данным табл. 2, потепление климата вызвало увеличение продукции растительного покрова и видового состава биоты в 1,03–1,07 раза (или на 3–7 %).

Заключение

За последние 50 лет июльские температуры воздуха на севере Тюменской обл. повысились примерно на 1 °С, соответственно суммы положительных температур — на 93 гс или на 7 %. Это вызвало определенное увеличение видов биоты: растений от 0 в арктической тундре до 14 в средней тайге; животных от 4 в арктической тундре до 46 в средней тайге. В целом влияние повышения температуры воздуха в вегетационной период на количество видов биоты положительно, хотя по крайней мере в пределах тундры и лесотундры, его следует признать незначительным, существенно уступающим отрицательному влиянию физических факторов, как климатического, так и антропогенного происхождения – пожаров, наводнений, вырубки леса и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гашев С.Н.* Млекопитающие Тюменской области: справочник-определитель. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2008. 333 с.
2. *Говорков Д.А., Соловьев И.Г., Цибульский В.Р.* Структура растительного покрова полуострова Ямал. Материалы всероссийской конференции «Человек и Север», вып. 3, 2015. С. 305–312.
3. *Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лаверенко Н.Н. и др.* Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.
4. *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.
5. *Коновалов А.А., Глазунов В.А., Московченко Д.В., Гашев С.Н., Тигеев А.А.* Аппроксимации климатической зависимости биоты на севере Тюменской области. Вестник кибернетики. 2015. № 1. С. 11–22.
6. *Коновалов А.А.* Общие закономерности развития экогеосистем, 2015. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: biodat.ru/doc/lib/konov7.htm.
7. *Коновалов А.А.* К теории обобщения параметров природных систем. Вестник кибернетики, № 4. ИПСО СО РАН, 2014. С. 22–33.

8. *Научно-прикладной справочник «Климат России, 2011»* [Электрон. ресурс]. Режим доступа: aisori.meteo.ru/CIsprR.
9. *Ребристая О.В.* Флора полуострова Ямал. Современное состояние и история формирования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. 312 с.
10. *Справочник по климату СССР*. Л.: Гидрометиздат, вып.17, ч. I и II, 1965–1966, 276 с.
11. *Титов Ю.В., Потокин А.Ф.* Растительность поймы р. Таз. Сургут: Изд. СурГУ, 2001. 141 с.
12. *Цибульский В.Р., Арефьев С.П.* Динамика древесно-кольцевых хронологий сосны в районе озера Нумто. Вестник кибернетики, № 4, ИПОС СО РАН, 2014. С. 3–11.
13. *Aaheim A., Chaturvedi R.K., Sagadevan A.D.* Integrated modelling approaches to analysis of climate change impacts on forests and forest management // *Mitig. Adapt. Strateg Glob Change*, 2011. V. 16. pp.247–266.
14. *Prentice I.C. Cramer W.N. et al.* A global biome model based on plant physiology and dominance, properties and climate. *J. biogeogr.* 1992. V.19, p. 117–134.

Тюмень, ИПОС СО РАН
konov7@rambler.ru

A.A. Konovalov

ON THE IMPACT OF CLIMATE WARMING
ON THE BIOTA THE NORTH OF THE TYUMEN REGION

Shows the relationship of the main indicators of climate (indices of heat and dryness, July temperature, etc.) in the Northern Tyumen region, their approximate similarity in time and space. Studied quantitative regularities of the influence of climate warming on the biota of the North of Tyumen region in the last 50 years. A technique was developed to predict biotic indices with the increase of the sums of positive temperatures (heat index). Examples of the calculation.

The North of the Tyumen region, climate, indices of dryness and heat, biota, taxa.