

Сезонные закономерности наблюдаемого потепления в Сибири

М.В. Кабанов*

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3*

Поступила в редакцию 29.09.2008 г.

Обсуждаются результаты сравнительного анализа многолетних временных рядов среднесезонных и среднегодовых приземных температур в Сибири. Для анализа сезонных колебаний температуры используются данные среднесезонных температур, что исключает влияние более высокочастотных колебаний (циклональных и суточных). Получена эмпирическая связь амплитуды сезонных колебаний со среднесезонной приземной температурой для двух климатических зон (Иркутск, Тобольск). Для обеих зон с высоким коэффициентом детерминации (выше 0,9) амплитуда сезонных колебаний имеет линейную связь со среднесезонной температурой в зимний период. Отмечается перспективность моделирования и прогноза наблюдаемых климатических изменений на основе эмпирических закономерностей.

Ключевые слова: линейные тренды, среднегодовые и среднесезонные приземные температуры, многолетние временные ряды, амплитуда колебаний, корреляция, потепление, климат.

Введение

Накопленные ряды инструментальных данных во многих регионах планеты уже многократно превышают необходимый временной интервал (30 лет), в пределах которого осредненные метеорологические величины характеризуют климатическую систему. Статистическая обработка таких рядов наблюдений позволяет выявить эмпирические закономерности для наблюдаемых региональных климатических изменений и тем самым подготовить эмпирическую основу для математического моделирования климатических процессов [1].

Уже предпринятые в этом направлении попытки обнадеживают. В частности, исследованные пространственные масштабы наблюдаемого потепления в Сибири по линейным трендам среднегодовой приземной температуры позволили выявить неоднородную структуру современных изменений на уровне субрегиональных масштабов [2–5], в том числе районы ускоренного потепления.

Вейвлет-анализ временных рядов среднегодовой температуры выявил ряд устойчивых периодичностей в наблюдаемых изменениях и статистически значимую корреляцию этих периодичностей с такими планетарными индексами, как Северо-Атлантические колебания, Южные колебания (в Тихом океане), числа Вольфа [4]. При этом на столетней шкале межгодовых изменений приземной температуры выявлены и «климатические феномены» [3]. Так, повышенная корреляция вейвлет-спектров для приземной температуры и Северо-Атлантического колебания

с периодичностью в 30–40 лет отмечается только в середине XX в. (с 1940 по 1980 г.) и с многолетним фазовым сдвигом (до 7 лет в отдельные годы).

Для климатических систем в высоких широтах систематические сезонные колебания температуры существенно превышают наблюдаемые межгодовые изменения (по среднегодовым температурам) и близки к синусоидальным колебаниям с амплитудой в несколько десятков градусов по Цельсию. Ежегодные сезонные колебания с такой большой амплитудой существенно «замазывают» межгодовые изменения, хотя и позволяют применить статистические процедуры для оценки отклонений годового хода среднесуточной температуры от ее среднегогодового значения [6].

С позиций Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата необходимы дальнейшие региональные исследования, уточняющие оценки того первого приближения, которые даны в этом докладе [7]. К числу необходимых уточнений относится и выяснение роли сезонных колебаний температуры в наблюдаемых трендах многолетнего потепления в Сибири.

Представленный ниже сравнительный анализ многолетних временных рядов среднесезонных и среднегодовых приземных температур направлен на выявление закономерных связей за столетний период наблюдений для разных климатических зон Сибири. Анализ возможных закономерностей выполнен для географически разнесенных пунктов (Тобольск и Иркутск), каждый из которых характеризуется отличающимися особенностями климатических изменений. Тобольск (58,1° с.ш., 68,2° в.д.) расположен в том районе Западной Сибири (Кандинская низменность), который при умеренных темпах потепления

* Михаил Всеволодович Кабанов (kabanov@imces.ru).

характеризуется повышенными коэффициентами корреляции (до 0,7) вейвлет-спектров Северо-Атлантического колебания и годовой суммы осадков, а Иркутск (52,3° с.ш., 104,3° в.д.) находится в той климатической зоне Восточной Сибири, которая характеризуется повышенными темпами потепления (до 0,5 °С/10 лет).

Межгодовые вариации среднесезонных температур

Колебания среднесезонных температур на земной поверхности в северных широтах являются одной из основных характеристик регионального климата. Но эти колебания температуры, часто рассматриваемые как синусоидальные, дополнительно модулируются сложными циклональными режимами атмосферной циркуляции и теми суточными колебаниями радиационного баланса, которые связаны с суточным вращением Земли.

Для иллюстрации на рис. 1 приведен пример ежесуточных изменений температуры воздуха по данным инструментальных наблюдений на одной из североширотных метеостанций (село Бакчар Томской области).

Жирной линией на рис. 1 соединены среднесуточные значения температуры, а вертикальными отрезками показаны измеренные значения минимальной и максимальной температуры за сутки.

Как видно из рис. 1, сезонные колебания температуры, которые можно рассматривать как вторые моменты межгодовых климатических изменений, дополнительно «зашумлены» более высокочастотными суточными температурными колебаниями, обусловленными погодными процессами. При этом сопоставление данных показывает, что характер подобного «зашумления» в разные годы оказывается разным как по частоте, так и по амплитуде колебаний. Поэтому для дальнейшего анализа использованы данные для среднесезонных температур, чтобы

исключить влияние более высокочастотных колебаний (циклональных и суточных).

По данным инструментальных наблюдений на рис. 2 для Иркутска тонкими линиями соединены среднесезонные значения температуры, а жирными линиями показаны их средние значения, полученные 6-летним скользящим осреднением для наиболее характерных летнего (рис. 2, а) и зимнего (рис. 2, в) сезонов.

Данные среднегодовой температуры (рис. 2, б) обычно используются для описания наблюдаемого потепления, в том числе для выявления региональных особенностей пространственных и временных масштабов потепления [4].

Из рис. 2 следуют два важных эмпирических факта.

Во-первых, при явной тенденции к повышению среднегодовых температур с 1970 г. основной вклад в темпы их повышения определялся главным образом изменениями среднесезонной температуры в зимние месяцы. При этом для Иркутска тенденция к повышению среднесезонных температур в летние месяцы просматривается только с 1990 г. (по Тобольску такой тенденции в летние месяцы до сих пор нет). Вместе с тем из кривых на рис. 2 следует, что оценка линейных трендов потепления по изменениям разности температур за десятки, а тем более за столетия является сугубо качественной и не дает оснований для детального количественного анализа.

Во-вторых, амплитуда колебаний определяется в основном колебаниями среднесезонной температуры в зимние месяцы, а в летние месяцы эти колебания по амплитуде близки к колебаниям среднегодовых температур (для Тобольска то же самое).

Из этих фактов следует, что общая эмпирическая закономерность для амплитуды сезонных колебаний температуры в северных широтах определяется температурными режимами в зимние месяцы, когда радиационный баланс земной поверхности отрицательный, т.е. величина уходящих потоков теплового

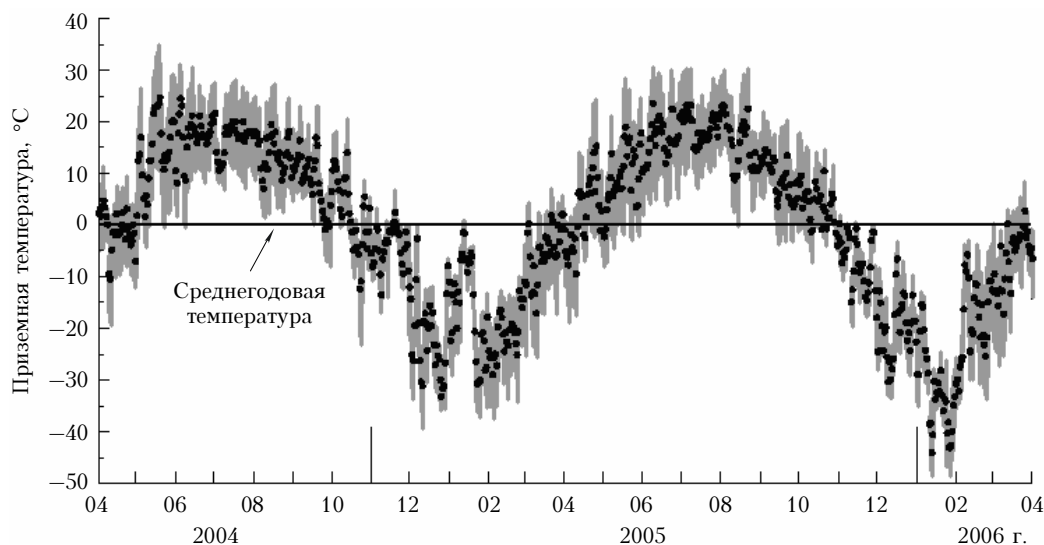


Рис. 1. Среднесуточная приземная температура (точки) и амплитуда суточных колебаний температуры (отрезки) по данным метеостанции Бакчар (57,1° с.ш.; 81,9° в.д.)

излучения превышает величину приходящих потоков солнечного излучения.

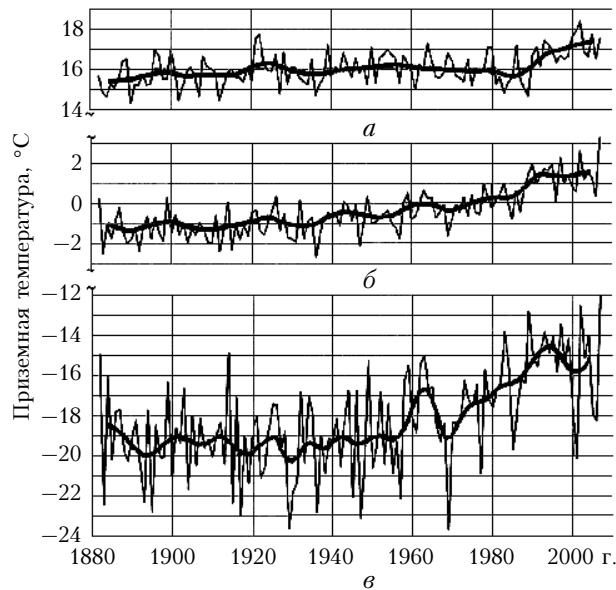


Рис. 2. Среднесезонная и среднегодовая приземные температуры по данным метеостанции Иркутска (1882–2006 гг.): *a* – для лета (июнь, июль, август); *б* – среднегодовая; *в* – для зимы (декабрь, январь, февраль)

Другая общая закономерность для обеих рассматриваемых климатических зон выявляется, если провести вейвлет-анализ соответствующих временных рядов за последнее столетие (рис. 3, вверху). Вейвлет-спектр этого временного ряда представлен на рис. 3 (внизу), где более темные участки соответствуют статистически более значимым периодичностям во временном ряду.

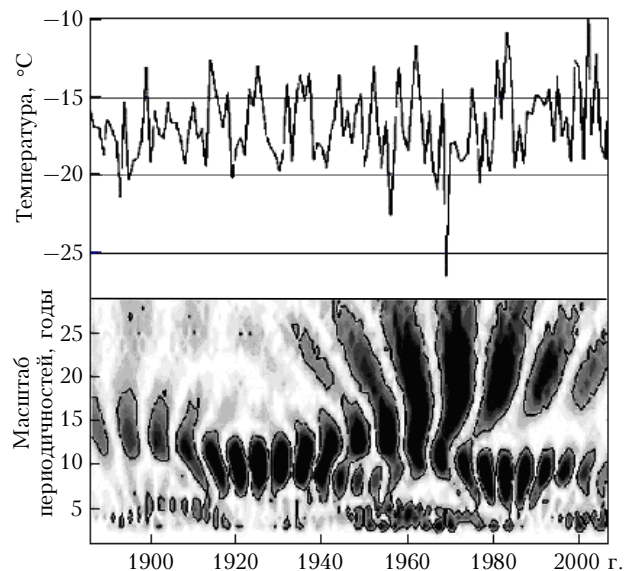


Рис. 3. Временной ряд среднесезонной приземной температуры для зимы (вверху) по данным метеостанции Тобольск в 1882–2006 гг. и вейвлет-спектр этого ряда (внизу)

Как видно из рис. 3, масштаб этих периодичностей (по вертикальной оси, в годах) в прошедшем

столетии был достаточно устойчив, за исключением климатического периода в 1950–1980 гг. Увеличение масштабов периодичности в этот период, который близок к ранее обнаруженному периоду для «климатического феномена» [4], по-видимому, имеет ту же природу и связано с повышенной корреляцией индекса Северо-Атлантического колебания со среднегодовой температурой в Сибири в этот период, т.е. с режимом атмосферной циркуляции.

Амплитуда сезонных колебаний температуры

Под амплитудой сезонных колебаний температуры в каком-либо году (под сезонной амплитудой) далее понимается разность наблюдаемых минимальной и максимальной приземных температур в течение этого года. С учетом климатической значимости сезонных колебаний температуры рассматривается связь сезонной амплитуды со среднесезонной температурой в зимний (декабрь, январь, февраль) и в летний (июнь, июль, август) сезоны. Именно для этих сезонов использование среднесезонной температуры в качестве параметра региональной климатической системы представляется оправданным как для выявления сезонных эмпирических закономерностей потепления в регионе, так и для интерпретации этих эмпирических закономерностей.

Для иллюстрации на рис. 4 представлена связь сезонной амплитуды и среднесезонной температуры для Иркутска.

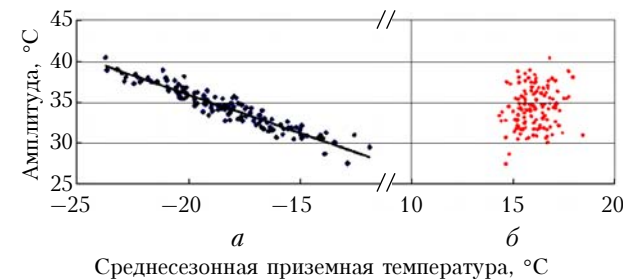


Рис. 4. Зависимость амплитуды сезонных колебаний температуры от среднесезонной температуры по данным метеостанции Иркутск за 1882–2006 гг. (*a* – зима, *б* – лето)

Как видно из рис. 4, за весь период наблюдений сохранялась тесная связь сезонной амплитуды со среднесезонной температурой для зимы, а связь со среднесезонной температурой для лета полностью отсутствует. Такой неожиданный результат получен и для Тобольска, что свидетельствует об общей природе выявленной закономерности. Для обеих рассматриваемых климатических зон с высоким коэффициентом детерминации (0,95) связь сезонной амплитуды A (°C) со среднесезонной температурой в зимний сезон T_3 (°C) имеет линейную регрессию (см. прямую на рис. 4, *a*) и описывается одной и той же формулой:

$$A = 17,3 - 0,94T_3.$$

Важно подчеркнуть, что полученная связь A и T_3 сохранялась в течение всего периода наблюдений, включая и последние годы, когда темпы потепления стали более заметными, а среднесезонная температура зимы превысила нулевую отметку (в °С).

Можно ожидать, что дальнейшее потепление приведет к еще большему уменьшению сезонной амплитуды, но количественные оценки для такого прогноза (для асимптотики полученной эмпирической формулы) требуют осторожности. Дело в том, что для северных широт в зимний период одним из основных механизмов регулирования температурного режима является радиационное выхолаживание (другой механизм, связанный с адвекцией тепла за счет атмосферной циркуляции требует отдельного рассмотрения). Но радиационное выхолаживание описывается потоками уходящего теплового излучения, которые по закону Стефана – Больцмана пропорциональны 4-й степени абсолютной температуры и только в первом приближении пропорциональны первой степени температуры земной поверхности в °С. Хотя нетрудно оценить, что при среднесезонной температуре зимой даже в 10 °С второй (квадратный) член разложения в ряд составит добавку к первому (линейному) члену не более 6%.

Заключение

Рассмотренные выше сезонные закономерности потепления в Сибири по результатам инструментальных наблюдений для двух географически разнесенных пунктов (для Иркутска и Тобольска) оказались совпадающими по основным характеристикам зимних трендов и по неизменно устойчивой и однозначной связи амплитуды сезонных колебаний приземной температуры со среднесезонной температурой в зимний период за весь 124-летний период наблюдений. Эти эмпирические факты свидетельствуют об определяющей роли глобальных климатических процессов на наблюдаемое потепление, а возможно, и на те погодообразующие процессы, которые обуславливают более высокочастотные колебания приземной температуры. Полученные результаты

анализа обосновывают перспективность альтернативного методологического подхода к моделированию климатических изменений: не через описание погодообразующих процессов с последующим их осреднением на климатический период, а через описание непосредственно климатических процессов на основе эмпирических закономерностей с последующей оценкой их влияния на погодообразующие процессы. Для реализации такого подхода к настоящему времени накоплены в достаточном объеме данные инструментальных наблюдений, а реализация такого подхода может повысить эффективность и убедительность не только моделей климата, но и прогнозических моделей климатических изменений.

1. Кабанов М.В., Лысков В.Н. Мониторинг и моделирование природно-климатических изменений в Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 9. С. 753–764.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые изменения современного климата // Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: Наука, 2006. С. 60–74.
3. Кабанов М.В. Региональные аспекты современной климатологии по результатам анализа наблюдаемых природно-климатических изменений в Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 11. С. 927–933.
4. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В. Пространственные и временные масштабы наблюдаемого потепления в Сибири // Докл. РАН. 2007. Т. 412. № 6. С. 814–817.
5. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Комаров А.И., Кусков А.И. Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления // Геогр. и природ. ресурсы. 2004. № 3. С. 90–96.
6. Семенов С.М., Гельвер Е.С. Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке // Докл. РАН. 2002. Т. 386. № 3. С. 389–394.
7. Израэль Ю.А., Семенов С.М., Анисимов О.А., Аналин Ю.А., Величко А.А., Ревич Б.А., Шикломанов И.А. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад Рабочей группы II // Метеорол. и гидрол. 2007. № 9. С. 5–12.

M.V. Kabanov. Seasonal regularities in the observed warming in Siberia.

Results are discussed of comparative analysis of long-term time series of seasonal mean and annual mean surface temperatures in Siberia. To analyze seasonal temperature variations, we employ seasonal mean temperature values, that allows us to eliminate influence of higher-frequency variations (cyclonic and diurnal ones). Empirical relation between amplitude of seasonal temperature variations and seasonal mean surface temperature was revealed for two climatic zones (Irkutsk and Tobol'sk). For both zones amplitude of seasonal temperature variations is linearly related to seasonal mean temperature in winter time (coefficient of determination is more than 0.9). Modeling and forecast of climate changes on the basis of empirical relations is shown to be promising.