



УДК 551.583

## **Современные изменения климата на территории Иркутской области**

И. В. Латышева ([aerosol@lin.irk.ru](mailto:aerosol@lin.irk.ru)),  
Е. П. Белоусова ([elenapbel@iszf.irk.ru](mailto:elenapbel@iszf.irk.ru)),  
С. В. Олемской ([osv@iszf.irk.ru](mailto:osv@iszf.irk.ru)),  
К. А. Лощенко ([christ.1526@mail.ru](mailto:christ.1526@mail.ru))

**Аннотация.** Рассматриваются пространственно-временные особенности изменений климата на территории Иркутской области по данным NCEP/NCAR Реанализа за период 1948–2008 гг.

**Ключевые слова:** климат, атмосферная циркуляция, температура воздуха.

### **Введение**

В последние десятилетия во многих регионах земного шара наряду со значительными межгодовыми флуктуациями метеорологических величин отмечают их трендовую составляющую, позволяющую оценить возможное изменение климата в будущем. В Северном полушарии наиболее подвержены климатическим изменениям те регионы, которые попадают в зимнее время под влияние тропосферных ложбин, определяющих интенсивность затоков холода на материк, в летнее время под влияние тропосферных гребней, определяющих интенсивность адвекции тепла [19].

К числу таких регионов относится Иркутская область, которая расположена на стыке взаимодействия арктического, полярного и тропического воздуха в условиях сезонного проявления континентальных центров действия атмосферы (Азиатского антициклона и Центрально-Азиатской депрессии), на фоне резко расчлененного рельефа.

В этой связи возник интерес к исследованию региональных особенностей климата на территории Иркутской области в современный период.

### **Основные методы исследования климата в различных регионах земного шара**

Понятию климата на протяжении ряда веков многие исследователи пытались придать конкретную формулировку. Однако во всех определениях климат рассматривался как некоторое «среднее» состояние, причем только самой атмосферы [17], тогда как накопленные данные наблюдений показывают, что существуют крайне хаотичные изменения состояния атмосферы, которые охватывают огромный диапазон пространственных и

временных масштабов. Поэтому климат стали определять как статистический ансамбль возможных состояний климатической системы, под которой следует понимать не только саму по себе атмосферу, но и другие сферы Земли, которые активно взаимодействуют с атмосферой [12].

Применяя тот или иной математический шаблон к определению климата, важно помнить о специфике реальной климатической системы: ее заметной пространственно-временной неоднородности [27]. Пространственная неоднородность климата создается, главным образом, разнообразием форм рельефа, а временная неоднородность – в основном наличием нестационарных внешних воздействий на климатическую систему, включая радиационные (колебания инсоляции, создаваемые орбитальными эффектами движения Земли вокруг Солнца) и гравитационные (лунные и солнечные приливы, прямые и косвенные воздействия других планет).

Для определения нестационарности климата широко используют понятие «климатических рядов» – значений тех или иных характеристик климата (доступных эмпирическому определению) для последовательных интервалов времени. Первичной характеристикой климата обычно считают температуру приземного слоя атмосферы, но ее инструментальные измерения начаты около 400 лет тому назад. Для более далекого прошлого используются те или иные ее заменители, причем в последние годы особое внимание уделяется определению тяжелых и легких изотопов кислорода и водорода.

Климатические ряды почти всегда имеют хаотический вид и могут рассматриваться как индивидуальные реализации случайных последовательностей, для описания нестационарности которых широко применяется метод вейвлетного анализа (вейвлетного преобразования рассматриваемых рядов), являющийся обобщением гармонического анализа (преобразования Фурье временных рядов). Зависимость величин вейвлетного преобразования от сдвига по времени обеспечивает описание нестационарности рассматриваемого процесса, а зависимость от масштаба выявляет спектральный состав локальных по времени колебаний [12].

Фактические данные показывают, что реальные климатические ряды в некоторых полосах частот содержат циклы-интервалы времени, в которых колебания хотя бы приблизительно статистически стационарны, а между этими интервалами колеблются, описывая «биения». Такие циклы обычно обладают некоторой повторяемостью, и их последовательности несут информацию, которая может быть полезной для исследования климата.

На основе имеющейся информации климатические циклы по длительности можно разделить на четыре группы: короткие (от года до десятков лет), междувековые (от сотен лет до нескольких тысяч лет), ледниковые (от десятков до сотен тысяч лет) и геологические (сотни тысяч и миллионы лет) [12].

В программе CLIVAR, являющейся основным компонентом Всемирной программы исследований климата, в качестве объекта исследований

названа климатическая изменчивость, соответствующая трем интервалам времени [17]:

- от сезона до года;
- от года до десятилетия;
- от десятилетия до столетия.

Поскольку климатическая система зависит от внешних воздействий, появление циклов целесообразно рассматривать, прежде всего, как вынужденную реакцию системы на внешние воздействия или как прямую резонансную раскачку на собственных частотах.

Вынужденные колебания климатической системы оказываются неустойчивыми уже в годичном цикле, в котором происходят перераспределения масс воздуха над океанами и континентами. Над последними образуются и разрушаются сезонные центры действия атмосферы (ЦДА) – зимние субполярные антициклоны (в Северном полушарии это Сибирский и Канадский антициклоны) и летние субтропические области пониженного атмосферного давления (Южно-Азиатская и Калифорнийская депрессии). Имеющиеся над океанами перманентные ЦДА – субтропические антициклоны (Азорский и Гавайский) от зимы к лету усиливаются, субполярные депрессии (Исландская и Алеутская), наоборот, ослабевают. Эти годичные колебания неустойчивы по отношению к более медленным возмущениям, осуществляющим перераспределение момента импульса атмосферных движений [12].

Согласно гипотезе А. М. Обухова, в состоянии параметрического резонанса с годичными колебаниями находятся квазидвухлетние циклы. Окончательной ясности относительно механизма квазидвухлетнего климатического цикла еще нет, но имеются достаточно веские предположения, что этот механизм связан с особыми бифуркациями инвариантных торов в фазовом пространстве климатической системы. Эти бифуркации обязаны своим возникновением внешним воздействиям на климатическую систему сил с другими, чем годичный, периодами. Среди возможных можно указать чандлеровское колебание полюсов Земли, возбуждающее, как известно, в атмосфере и океанах так называемый «полюсной прилив», который, в свою очередь, может взаимодействовать с сезонными климатическими колебаниями [12].

В динамике некоторых климатических индексов доминирует примерно 60-летнее колебание. По некоторым предположениям, причиной 60-летнего колебания является тройной солнечный цикл, т. е. цикл, период которого утроен по сравнению с 23,5-летним циклом магнитной активности на Солнце. Это утроение возникает вследствие влияния больших планет Солнечной системы (Юпитера и Сатурна) на вращение самого Солнца вокруг общего центра инерции Солнечной системы.

60-летнее колебание неплохо описывает чередование потеплений (максимумы глобальной температуры в 1876, 1944 и 1998 гг.) и похолоданий (минимумы в 1907 г. и 1963 г.). Перед указанными максимумами глобальной температуры, совпадающими по времени с периодами положи-

тельной межполушарной разности температур, имели место сильнейшие Эль-Ниньо (1873, 1941 и 1997 гг.) а также резкие максимумы индекса Североатлантического колебания (1875, 1942 и 1996 гг.).

Так как вклад 60-летнего колебания в глобальную температуру максимален был в 90-е гг. XX в., а его размах соизмерим с линейным трендом глобальной температуры, то можно ожидать приостановки глобального потепления в течение ближайших десятилетий. Если считать эту стадию аналогичной стадии предыдущего похолодания в 1940–1960-е гг., то можно предположить, что она продлится два-три десятилетия. Процессы Ла-Нинья, отрицательного NAO и уменьшенных сумм осадков в зоне Сахеля должны преобладать на этой стадии над процессами Эль-Ниньо, положительного NAO и высокого увлажнения Сахеля, которые были свойственны закончившейся сейчас стадии относительного потепления [12].

Несмотря на многочисленность работ, посвященных исследованию цикличности гидрометеорологических величин, в природе метеорологических циклов еще много неясного. Чаще всего для объяснения природы цикличности используют процессы взаимодействия океана с атмосферой либо предполагают возможное влияние космических факторов на верхние слои и циркуляцию атмосферы. Особое внимание уделяется температуре поверхности океана как фактору, формирующему экстремальные климатические явления. Это определяется: 1) термической инерцией океана; 2) его ролью как источника и стока водяного пара в атмосфере – главной газовой компоненты, определяющей характер радиационных процессов в атмосфере; 3) транспортными возможностями океана в переносе энергии между широтами; 4) способностью к регулированию многих малых газовых компонент атмосферы, влияющих на климатический режим [19].

Традиционно важное место в российских климатических исследованиях занимают эмпирические и полуэмпирические исследования для широкого спектра временных масштабов: от сотен тысяч и миллионов лет [2] до анализа изменений в течение последних двух столетий и особенно для последних десятилетий с использованием данных инструментальных наблюдений, включая спутниковые [4; 20]. Более надежно оцениваются климатические изменения с использованием данных инструментальных наблюдений для последних полутора столетий и особенно для последних десятилетий. В работе [5] отмечены беспрецедентные положительные аномалии приповерхностной температуры в последние десятилетия для территории России по данным метеонаблюдений с конца XIX в. В отдельных регионах, в частности в Сибири, скорость увеличения средней годовой температуры превышает глобальное значение более чем в 4 раза (до 0,8 К за десятилетие) [13].

Среди характерных последствий глобального потепления для России можно назвать следующие: увеличение приповерхностной температуры (особенно в холодное время года); изменение режима осадков, влагосодержания почвы; изменение режима циклонов и антициклонов в средних и полярных широтах, частоты засух и др. Следует отметить, что общее поте-

пление не уменьшает вероятность экстремальных отрицательных аномалий температур на региональном уровне (как, например, зимой 2005–2006 гг. и 2009–2010 гг. в России) [23].

В целом происходящие изменения климата могут быть следствием как естественных (внутренних и внешних) причин, так и человеческой деятельности. Детальный факторный анализ с использованием астрономо-геофизического комплекса (солнечная активность, CO<sub>2</sub>, прозрачность атмосферы, Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК), ледовитость Северной Атлантики (ЛСА)) объясняет от 58 % (Северное полушарие) до 72 % (Южное полушарие) всех особенностей вековых изменений средних годовых температур воздуха (СГТВ). Межгодовая изменчивость СГТВ в основном определяется естественной вариацией геофизической среды; роль солнечного показателя (числа Вольфа) пренебрежимо мала [17].

Следует указать, что одной из важнейших проблем современной климатологии является проблема неоднородности рядов инструментальных наблюдений приземной температуры [7; 26]. Основной причиной все чаще возникающих в последние десятилетия неоднородностей рядов метеорологических наблюдений является ускоряющаяся урбанизация обширных территорий Европы и Азии, а также проблемы, связанные с вынужденным переносом метеорологических станций.

Значительно расширяют возможности диагностики климатической системы и ее изменений данные разных Реанализов [18]. С использованием данных NCEP/NCAR и ERA-40 Реанализов исследовались изменения характеристик годового хода приповерхностной температуры и трендов температуры на разных атмосферных уровнях [1]. В работе Ю. П. Переведенцева, М. А. Верещагина, Э. П. Наумова и К. М. Шанталинского [16] на основе статистического анализа были рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости температуры воздуха от поверхности Земли до изобарической поверхности 200 гПа в Атлантико-Европейском регионе, свидетельствующие о неоднородной изменчивости во времени и в пространстве метеорологических величин.

Е. А. Дюкаревым, И. И. Ипполитовым, М. В. Кабановым и С. В. Логинным [8] построены поля температуры, давления воздуха и атмосферных осадков и соответствующие им линейные тренды на азиатской территории России за климатически значимый интервал (1975–2005 гг.) по данным наблюдений станций и данным Реанализов. Проведено сравнение полученных результатов и дана оценка возможностей использования данных Реанализов для воспроизведения пространственно-временных изменений климатических параметров.

М. В. Кабанов, В. Н. Лыкосов [10] по данным Реанализа исследовали тренды и траектории наблюдаемого потепления в Сибири, межсезонные колебания приземной температуры, временные периодичности потепления в разных городах Сибири.

Несмотря на многочисленные климатические исследования, проведенные в последние десятилетия в России и за рубежом, существуют опре-

деленные разногласия в определении тенденций и причин изменений климата. Особенно это касается региональных изменений климата, которым свойственна большая пространственно-временная неоднородность и сложность прогнозирования на разных временных масштабах. В этой связи необходимость проведения региональных работ по изучению современных особенностей климата представляется актуальной задачей климатологии.

### **Результаты исследований**

Иркутская область расположена в южной части Восточной Сибири между  $51^{\circ}18'$  и  $64^{\circ}15'$  с. ш. и  $95^{\circ}38'$  и  $119^{\circ}10'$  в. д., почти в центре Евразийского материка, что определяет суровость климатических условий исследуемого региона. Большая протяженность территории с севера на юг (1500 км) и с запада на восток (1300 км) обуславливает наличие широтной зональности, которая прослеживается в изменении температуры воздуха, потоков влаги, типов почв, растительности и ландшафтов [25].

Климат Иркутской области, как и климат любой территории, сформировался вследствие взаимодействия внешних и внутренних климатообразующих факторов. По климатическому районированию М. И. Будыко рассматриваемая территория относится к области достаточно влажного климата с умеренно суровой, малоснежной зимой и умеренно теплым летом [3].

Помимо климатических особенностей, обусловленных радиационным режимом и циркуляцией атмосферы, некоторые черты климата территории Иркутской области объясняются местными факторами – влиянием рельефа и оз. Байкал.

Влияние горного рельефа сказывается как на структуре, так и на характере развития крупномасштабной и местной циркуляции атмосферы. Высотные фронтальные зоны под влиянием горных хребтов испытывают деформации, усиливая или ослабляя активность процессов тропосферного фронтогенеза, что проявляется в формировании полей облачности и атмосферных осадков, преимущественно в западных и южных районах Иркутской области [22].

Влияние Байкала на климат окружающей территории особенно сильно проявляется в пределах Байкальской котловины. Если климат внутренних районов области может быть назван резко континентальным, то климат побережья Байкала приближается к морскому. Температура летних месяцев на берегах Южного Байкала в среднем на  $5^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в центральных районах области. Количество осадков на побережье, не считая южного гористого берега, обращенного к приходящим с северо-запада циклонам, приблизительно на 100 мм меньше. Это объясняется тем, что летом, когда выпадает наибольшее количество атмосферных осадков, над холодной поверхностью озера наблюдаются температурные инверсии, затрудняющие восходящие движения воздуха. Влияние Байкала распространяется по долине Ангары, достигая районов Иркутска [11].

С учетом физико-географических, климатических и специфических проявлений синоптических процессов на территории Иркутской области было

проведено синоптико-климатическое районирование [15], согласно которому выделено пять районов с характерными для них особенностями (рис. 1).

Исследование климатического режима территории Иркутской области ранее проводилось многими авторами, но в основном оно выполнялось по данным наблюдений за приземной температурой воздуха и атмосферными осадками на сети метеорологических станций и постов, причем за периоды до 2000-го года [15; 11; 24; 6].

Учитывая важность проведения подобного рода исследований, в работе рассмотрены современные особенности климата на территории Иркутской области. В качестве исходных данных были использованы как результаты непосредственных наблюдений на сети метеорологических станций, расположенных на территории Иркутской области за период 1963–2008 гг., так и архивные данные NCEP/NCAR Реанализа за период 1948–2008 гг. [29].

На первом этапе данные Реанализа (NCEP/NCAR) по температуре воздуха сравнивались с фактическими наблюдениями метеорологических станций, расположенных на территории Иркутской области, местоположение которых попадало непосредственно в узел регулярной сетки (табл. 1). Необходимость сопоставления данных обусловлена тем, что данные Реанализа являются результатом полуэмпирической модели, основанной на наблюдениях наземных и морских станций, радиозондовых наблюдениях и спутниковых измерениях. Нерегулярность наблюдений, как во времени, так и в пространстве заполняется расчетными значениями комплексных моделей реструктуризации метеополей, в связи с чем могут возникнуть некоторые погрешности в данных.

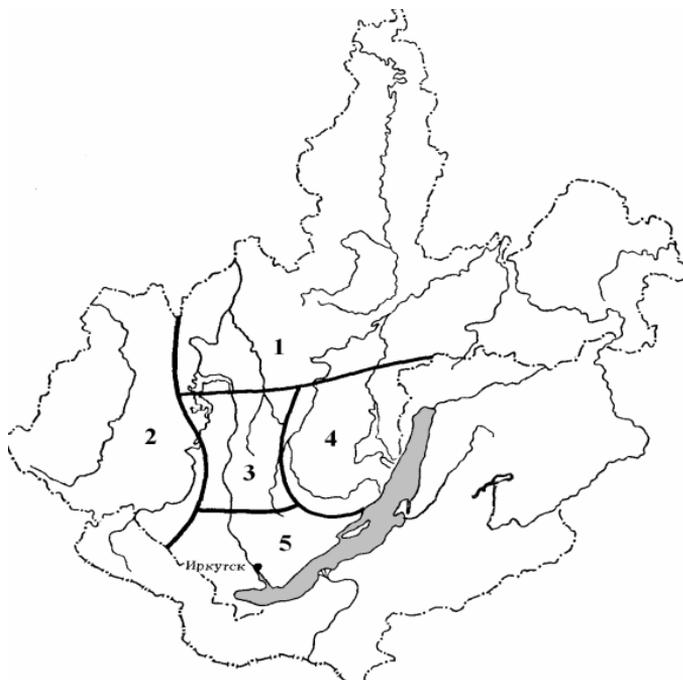


Рис. 1. Синоптико-климатическое районирование территории [15]. Районы: 1 – Северный, 2 – Западный, 3 – Центральный, 4 – Верхне-Ленский, 5 – Южный

Таблица 1

Координаты сопоставимых узлов базы данных NCEP/NCAR и координат метеорологических станций, расположенных в разных районах Иркутской области

	Координаты ( $\varphi^\circ/\lambda^\circ$ )			
	Иркутск (южный район)	Жигалово (восточный район)	Карам (северный район)	Ершово (западный район)
станции	52,3/104,3	54,8/105,2	55,2/107,6	57,1/102,3
ближайший узел сетки	52,5/105	55/105	55/107,5	57,5/102,5

Для выбранных станций за несколько лет были рассчитаны коэффициенты парной корреляции как в зимние, так и в летние календарные сезоны года (табл. 2). В целом коэффициенты парной корреляции для большинства выбранных станций превышали 0,85, т. е. степень тесноты линейной связи, оцениваемая по значениям коэффициента детерминации, превышала 70 %.

Таблица 2

Значения коэффициентов парной корреляции между фактическими наблюдениями за температурой воздуха у поверхности Земли на метеорологических станциях Иркутской области и данными NCEP/NCAR за период 1960–2008 гг.

Календарный сезон	Станции			
	Иркутск (южный район)	Жигалово (восточный район)	Карам (северный район)	Ершово (западный район)
зимний	0,86	0,80	0,85	0,94
летний	0,86	0,78	0,87	0,87

Так как различия в данных Реанализа и фактических наблюдениях на станциях находятся в пределах точности используемых данных Реанализа, это позволяет их использовать в дальнейшем для решения региональных задач, в том числе исследования климата различных районов Иркутской области.

Следует отметить, что в летний период уровень корреляционной связи для большинства выбранных станций оказался ниже, чем в зимний сезон. Это можно объяснить большим вкладом локальных факторов в изменение метеорологических величин летом на фоне более частого проявления малоградиентных барических полей по сравнению с зимним периодом.

Дальнейшее исследование включало сопоставление многолетней динамики средней годовой температуры воздуха, усредненной для территории Иркутской области в целом, с изменениями температур, усредненных для территории Сибирского ( $60^\circ$  в. д. –  $119^\circ$  в. д.), Европейского ( $0-59^\circ$  в. д.) и Дальневосточного ( $120^\circ$  в. д. –  $169^\circ$  в. д.) секторов по данным Реанализа за период 1948–2008 гг. (рис. 2). Выявлено, что многолетний режим средних

годовых температур воздуха у поверхности Земли характеризуется их повышением с начала 1970-х гг., наиболее значимым по вкладу на территории Иркутской области ( $r^2 = 25\%$ ) и Сибирского сектора в целом ( $r^2 = 17\%$ ), где межгодовые изменения средних годовых температур воздуха наиболее тесно связаны между собой ( $r = 0,90$ ). Далее по степени тесноты линейной связи межгодовых изменений температуры воздуха выделяются Сибирский и Дальневосточный секторы ( $r = 0,76$ ), наименее связан температурный режим на территории Европы и Сибири ( $r = 0,61$ ).

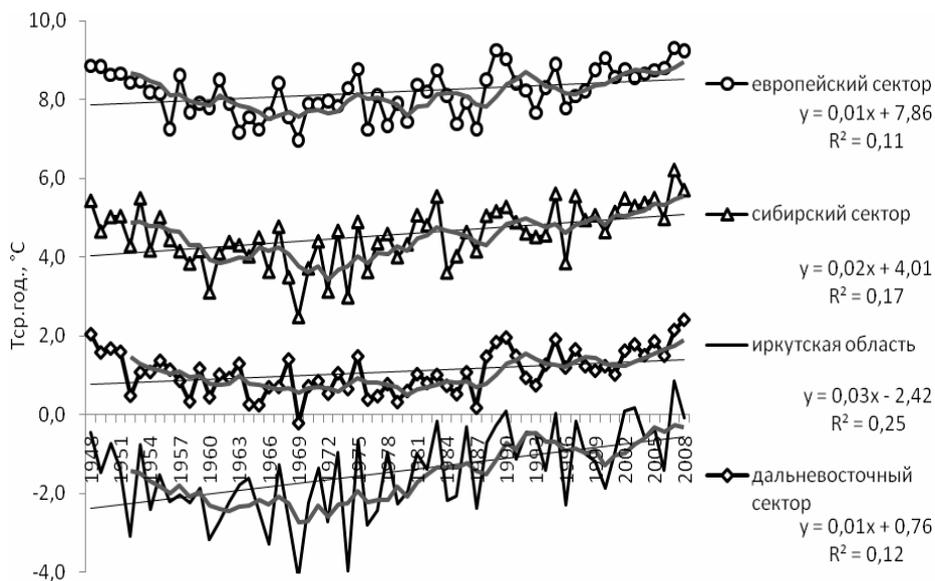


Рис. 2. Многолетний режим средних годовых значений, пятилетних сглаженных средних и линейный тренд приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в различных регионах Евразии в 1948–2008 гг.

Аналогичная ситуация наблюдается на уровне АТ-850 гПа (1,5 км). На уровнях АТ-700 гПа (3 км) и АТ-500 гПа (5 км) на территории Иркутской области сохраняется незначительная тенденция роста средних годовых температур ( $r^2 = 10\text{--}11\%$ ), тогда как в остальных регионах Евразии температура в средней тропосфере практически не изменяется. При этом межгодовые вариации средних годовых температур на территории Иркутской области в средней тропосфере (3–5 км) практически не коррелируют с их изменениями в других регионах Евразии.

На АТ-300 гПа (9 км) до середины 1970-х гг. во всех регионах отмечалось устойчивое понижение средних годовых температур, в последние годы температуры практически не меняются либо имеют тенденцию к слабому росту.

В течение года коэффициенты линейного тренда средних месячных значений температур на территории Иркутской области оказались максимальными у поверхности Земли и на уровне АТ-850 гПа – весной, на уровне АТ-300 гПа – зимой и летом (табл. 3).

Таблица 3

Средние многолетние значения коэффициентов линейного тренда (°C/10 лет) температуры воздуха на разных высотах (числитель) и его аппроксимация (знаменатель) на территории Иркутской области в 1948–2008 гг.

Уровень	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Земля	-0,05	0,56	0,55	0,50	0,54	0,17	0,14	0,14	0,06	0,11	0,52	0,38
	0,06	0,08	0,12	0,21	0,33	0,04	0,05	0,05	0,01	0,01	0,09	0,05
АТ-850 гПа	0,23	0,51	0,43	0,35	0,51	0,21	0,15	0,14	-0,01	0,01	0,48	0,53
	0,02	0,09	0,08	0,10	0,29	0,06	0,05	0,04	0,00	0,00	0,10	0,14
АТ-700 гПа	0,13	0,33	0,21	0,14	0,33	0,03	-0,00	-0,04	-0,14	-0,02	0,37	0,37
	0,01	0,06	0,02	0,02	0,14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,08	0,11
АТ-500 гПа	0,07	0,19	0,16	0,24	0,26	0,14	0,07	-0,03	0,13	0,16	0,02	0,13
	0,00	0,03	0,02	0,06	0,10	0,03	0,01	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02
АТ-300 гПа	-0,37	-0,37	-0,34	-0,31	-0,24	-0,38	-0,37	-0,47	-0,41	-0,29	-0,21	-0,25
	0,29	0,23	0,17	0,20	0,15	0,20	0,21	0,21	0,25	0,22	0,10	0,18

В пространственном отношении наиболее высокие средние годовые температуры воздуха у поверхности Земли за исследуемый период 1948–2008 гг. отмечаются в южном районе Иркутской области (2,9 °C). Наиболее низкие температуры соответственно в северном (-2,8 °C) и восточном (-0,9 °C) районах. С высотой различия температур в пределах рассматриваемой территории сглаживаются и на уровне 300 гПа (9 км) не превышают 2 °C.

В многолетнем режиме наибольшее изменение средних годовых температур наблюдается в южном районе Иркутской области: повышение – у поверхности Земли ( $r^2 = 0,32$ ), на уровне АТ-850 гПа ( $r^2 = 0,32$ ), на уровне АТ-700 гПа ( $r^2 = 0,13$ ) и понижение на уровне АТ-300 гПа ( $r^2 = 0,44$ ).

Наиболее низкие температуры воздуха у поверхности Земли наблюдаются в январе в северном районе (-22,3 °C), а наиболее высокие температуры отмечаются в июле в южном районе Иркутской области (21,6 °C).

На уровне АТ-850 гПа, АТ-700 гПа и АТ-500 гПа наиболее низкие средние месячные температуры наблюдаются в восточном районе Иркутской области, где в зимние месяцы они составляют соответственно -23,0 °C, -26,7 °C и -39,6 °C. Наиболее высокие температуры отмечаются по югу региона летом, где на указанных уровнях они соответственно равны 13,6 °C, 3,8 °C и -11,9 °C.

На уровне АТ-300 гПа (9 км), как и у поверхности Земли, наиболее низкие температуры отмечаются в северном районе Иркутской области, где в январе они составляют в среднем -59,1 °C, а наиболее высокие температуры наблюдаются в южном районе в июле (-38,7 °C).

Амплитуды годового распределения средних температур максимальных значений достигают у поверхности Земли, где они увеличиваются с юга (36 °C) на север (42 °C) и с запада (35 °C) на восток (41 °C). С высотой амплитуды температур уменьшаются и на верхней границе тропосферы (~9

км) в среднем не превышают 18–19 °С, что почти вдвое ниже значений у поверхности Земли. В целом наиболее высокая внутритроговая изменчивость температур в тропосфере наблюдается в восточном районе Иркутской области, а наименьшая – в западном районе.

Средние месячные значения вертикальных градиентов температур ( $\gamma$ ), рассчитанных в тропосфере за 1948–2008 гг., имеют хорошо выраженную внутритроговую динамику с максимумом (0,67–0,68 °С/100 м) в летние месяцы, когда они практически не различаются по территории области и близки по значениям к влажноадиабатическому градиенту ( $\gamma_{ва}$ ). Минимальные величины  $\gamma$  отмечаются в тропосфере зимой, где они изменяются в среднем от 0,41 °С/100 м в северных районах Иркутской области до 0,50 °С/100 м по югу региона.

В целом, на территории Иркутской области наиболее неустойчивыми оказываются средние слои тропосферы (700–500 гПа) (0,74 °С/100 м), а наиболее устойчив нижний 1,5-километровый слой (слой трения), где градиенты температур практически вдвое ниже (0,33 °С/100 м).

Наряду со средними значениями на территории Иркутской области хорошо выражена тенденция повышения максимальных и минимальных температур, особенно по югу области [9]. Следует отметить, что увеличение экстремумов температур в холодный период было более интенсивным и началось примерно на 10 лет раньше, чем в теплый период. В настоящее время более устойчива тенденция повышения температур в теплый период года.

Для оценки изменчивости температур в многолетнем режиме были рассчитаны значения средних квадратических отклонений (СКО) средних месячных температур в различных районах Иркутской области на разных уровнях тропосферы, которые показали, что наиболее изменчив температурный режим у поверхности Земли в зимние месяцы в северном районе (СКО = 4,5 °С). По мере продвижения к югу межгодовая изменчивость приземных температур уменьшается, достигая минимальных значений по югу региона в июле (1 °С).

В целом в нижней и средней тропосфере максимальные значения СКО отмечаются в период с ноября по февраль, минимальные – в середине лета. В верхней тропосфере межгодовая изменчивость температур, наоборот, увеличивается от зимы к лету, достигая максимума летом в южных районах Иркутской области (2 °С).

Несмотря на наблюдаемое повышение средних годовых температур воздуха, континентальность климата на территории Иркутской области практически не изменилась, что наглядно видно по многолетней динамике индексов континентальности, рассчитанных по С. П. Хромову [21] и усредненных для разных периодов последней циркуляционной эпохи по Б. Л. Дзерdzeевскому [30] (табл. 4).

Таблица 4

Средние многолетние значения индексов континентальности по С. П. Хромову [21] на территории Иркутской области в различные периоды современной циркуляционной эпохи по Б. Л. Дзердзеевскому [30]

Период, гг.	Уровень				
	Земля	АТ-850 гПа	АТ-700 гПа	АТ-500 гПа	АТ-300 гПа
1957–1969	89	86	84	82	76
1970–1980	89	86	83	81	75
1981–1998	89	86	83	82	75
1999–2008	89	86	83	82	76
среднее	89	86	83	82	75

Это можно объяснить тем, что в последние годы на территории Иркутской области наблюдалось повышение не только зимних, но и летних температур, поэтому амплитуда годового хода температур, которая является основным показателем континентальности климата, не изменялась.

Как показал корреляционный анализ (табл. 5), средние годовые температуры воздуха в Иркутской области, для которых характерно повышение в последние десятилетия, наиболее тесно коррелируют с глобальной температурой и ее аномалиями, температурой Северного полушария, что указывает на крупномасштабный характер изменения приземной температуры воздуха во второй половине XX – начале XXI вв. В то же время региональные изменения температуры на территории Сибири практически не согласуются с глобальными индексами циркуляции Арктическое колебание (АО) и изменениями температуры поверхностного слоя воды экваториальной зоны Тихого океана (SOI).

Таблица 5

Значения коэффициентов парной корреляции между различными параметрами атмосферы и океана в 1948–2008 гг.

	Аномалии температур		Индексы		Температуры		
	глобальная (ΔТгл.)	поверхности океана (ΔТок.)	SOI	АО	северное полушарие (Тсев.)	глобальная (Тгл.)	Иркутская область (Тирк.)
ΔТгл.	1,00	0,92	-0,15	0,35	0,83	0,96	0,71
ΔТок.		1,00	-0,31	0,28	0,87	0,99	0,56
SOI			1,00	-0,03	-0,11	-0,25	-0,08
АО				1,00	0,39	0,32	0,53
Тсев.					1,00	0,87	0,61
Тгл.						1,00	0,62
Тирк.							1,00

Напомним, что термин «Арктическое колебание» (АО) был введен для исследования глобальных процессов аномалий циркуляции в стратосфере Северного полушария [28], где так же, как и в нижней тропосфере, имеет место постоянное перекачивание массы атмосферы между полюсом и средними широтами (в ту и другую стороны). Средние месячные значения

индекса вычисляются как по данным давления на уровне моря в регионе Северного полушария с координатами ( $20^{\circ}$ – $90^{\circ}$  с. ш.), так и по средним месячным аномалиям высоты геопотенциальной поверхности 1000 (700) гПа в узлах регулярной сетки, которые нормализуются относительно базового периода.

Явление Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) представляет самый большой и наиболее важный сигнал в межгодовой климатической изменчивости в системе «океан – атмосфера» [14]. Идентификация явления ЭНЮК осуществляется в основном по средним месячным данным приземного давления (индекс SOI), который представляет стандартизованную разность нормализованных средних месячных аномалий давления на станциях Таити и Дарвин.

Для оценки вклада циркуляционных факторов в изменения температурного режима на исследуемой территории были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между средними суточными значениями приземной температуры воздуха, усредненной по территории Иркутской области, и средними суточными значениями приземного давления и геопотенциальных высот в узлах регулярной сетки  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  на разных уровнях тропосферы по данным NCEP/NCAR Реанализа.

Оказалось, что в последние годы степень тесноты линейной связи между вариациями приземных температур в Иркутской области и давлением в низких широтах у поверхности Земли и в нижней тропосфере ослабевает, тогда как в средней тропосфере, наоборот, растет. Кроме того, отмечается увеличение радиуса корреляции температур с изменениями давления на Дальневосточном побережье, где, как известно, сказывается влияние муссонной циркуляции и ложбин Алеутской депрессии.

## **Заключение**

Средние годовые температуры воздуха в Иркутской области, для которых характерно повышение в нижней и средней тропосфере и понижение в верхней тропосфере, тесно связаны с изменениями глобальной температуры и температуры Северного полушария и практически не коррелируют с изменениями индексов глобальной циркуляции (АО и SOI).

В пространственном отношении наиболее значимые изменения температурного режима в настоящее время происходят в южном районе Иркутской области.

Наибольшие различия температур по широте и долготе в Иркутской области отмечаются зимой, когда по северу и западу чаще проходят циклоны, а на юге и востоке региона в большей степени сказывается влияние Азиатского максимума. Наименьшие температурные различия отмечаются летом на фоне преобладающих в это время малоградиентных полей пониженного давления. Можно отметить, что в последние годы (1999–2008 гг.) происходит некоторое увеличение разности температур между западными и восточными районами Иркутской области.

Наиболее неустойчивыми на территории Иркутской области являются средние слои тропосферы (700–500 гПа), а наиболее устойчив нижний 1,5-километровый слой (слой трения).

Обнаружено, что в последние годы возрастает степень корреляционной зависимости средних суточных значений приземной температуры воздуха в Сибирском секторе с изменениями геопотенциальных высот над Центральной и Восточной Азией.

#### Список литературы

1. Амплитудно-фазовые характеристики годового хода приповерхностной температуры: сравнение расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы и океана с данными реанализа / А. В. Елисеев, М. С. Гусева, И. И. Мохов, К. Г. Рубинштейн // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 435–449.
2. Борзенкова И. И. Определение чувствительности глобального климата к газовому составу атмосферы по палеоклиматическим данным // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 39, № 2. – С. 222–228.
3. Бояркин В. М. География Иркутской области / В. М. Бояркин. – Иркутск : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1995. – 200 с.
4. Груза Г. В. Климат ближайшего будущего / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // Земля и вселенная. – 2004. – № 6. – С. 3–9.
5. Груза Г. В. Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 11. – С. 15–29.
6. Густокашина Н. Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья / Н. Н. Густокашина. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. – 107 с.
7. Даценко Н. М. Метод объективной коррекции данных наблюдений за приземной температурой воздуха в XVIII–XIX веках / Н. М. Даценко, А. А. Моберг, Д. М. Сонечкин // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 3. – С. 13–19.
8. Изменение климата на азиатской территории России во второй половине XX столетия: сравнение данных наблюдений и реанализа / Е. А. Дюкарев, И. И. Ипполитов, М. В. Кабанов, С. В. Логинов // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19, № 11. – С. 934–940.
9. Исследование термико-влажностного режима как индикатора климатических изменений на территории Восточной Сибири / Е. П. Белоусова, И. В. Латышева, В. Л. Потемкин, С. С. Тимофеева // Вестн. ИрГТУ. – 2007. – № 3 (31). – С. 36–39.
10. Кабанов М. В. Мониторинг и моделирование природно-климатических изменений в Сибири / М. В. Кабанов, В. Н. Лыкосов // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19, № 9. – С. 753–765.
11. Мизандронцева К. Н. Климат и климатические ресурсы Байкала и Прибайкалья / К. Н. Мизандронцева. – М. : Наука, 1970. – С. 26–39.
12. Монин А. С. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы / А. С. Монин, Д. М. Сонечкин. – М. : Наука, 2005. – 191 с.
13. Мохов И. И. Российские климатические исследования в 2003–2006 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 180–192.
14. Мохов И. И. Эволюция характеристик межгодовой климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо – Ла-Нинья / И. И. Мохов, А. В. Ели-

сеев, Д. В. Хворостьянов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 36, № 6. – С. 741–751.

15. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала / под ред. С. Д. Кошинского, А. Д. Дробышева. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – Ч. 2. – 237 с.

16. Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона / Ю. П. Переведенцев, М. А. Верещагин, Э. П. Наумов, К. М. Шанталинский // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 2. – С. 38–47.

17. *Переведенцев Ю. П.* Теория климата / Ю. П. Переведенцев. – Казань : Изд. Казан. ун-та, 2009. – 503 с.

18. *Рубинштейн К. Г.* Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными / К. Г. Рубинштейн, А. М. Стерин // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 38, № 3. – С. 301–315.

19. *Сазонов Б. И.* Суровые зимы и засухи / Б. И. Сазонов. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.

20. Факторный анализ многолетней динамики глобального термического режима приземного слоя воздуха / М. А. Верещагин, Ю. П. Переведенцев, К. М. Шанталинский, В. Д. Тудрий // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2004. – № 5. – С. 34–41.

21. *Хромов С. П.* Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 528 с.

22. *Хуторянская Д. Ф.* Региональные особенности синоптических процессов над Восточной Сибирью : учеб. пособие / Д. Ф. Хуторянская. – Иркутск : Иркут. ун-т, 2002. – 162 с.

23. Циркуляционные условия аномально холодной зимы 2005–2006 гг. над Евразией / И. В. Латышева, Е. П. Белоусова, А. С. Иванова, В. Л. Потемкин // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 9. – С. 36–40.

24. *Швер Ц. А.* Климат г. Иркутска / Ц. А. Швер, Н. П. Форманчук. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 246 с.

25. *Щербакова Е. Я.* Восточная Сибирь / Е. Я. Щербакова. – Л. : Гидрометеиздат, 1961. – 300 с.

26. *Alexandersson Y.* Homogenization of Swedish temperature data. Part 1: Homogeneity test for linear trends. Intern / Y. Alexandersson, A. Moberg // J. Climatol. – 1997. – Vol. 17. – P. 25–34.

27. *Nicolis C.* Is there a climatic attractor? / C. Nicolis, G. Nicolis // Nature. – 1984. – Vol. 311. – P. 529–532.

28. *Thompson D. W.* The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields / D. W. Thompson, J. M. Wallace // Geophys. Res. Lett. – 1998. – Vol. 25. – P. 1297–1300.

29. U. S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory. Physical Sciences Division. – URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml>.

30. [www.atmospheric-circulation.ru](http://www.atmospheric-circulation.ru)

## **Modern of climate change on the territory of Irkutsk Range**

I. V. Latysheva, E. P. Belousova, S. V. Olemskoy, K. A. Loshchenko

**Abstract.** We consider spatial-temporary features of climate change on the territory of Irkutsk Range as deduced from NCAР/NCER Reanalysis Data of period 1948–2008 years.

**Key words:** Climate, circulation of atmosphere, air temperature

*Латышева Инна Валентиновна*  
кандидат географических наук  
664033 г. Иркутск, К. Маркса, 1  
Иркутский государственный университет  
доцент  
тел. (3952) 51-60-94

*Белоусова Елена Петровна*  
ведущий синоптик АМСГ Иркутск-2  
Иркутский авиационный завод  
664020, г. Иркутск, ул. Новаторов, 3  
тел. (3952) 48-18-04

*Олемской Сергей Владимирович*  
кандидат физико-математических наук  
Институт солнечно-земной физики СО  
РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126  
научный сотрудник  
тел. (3952) 56-45-11

*Лощенко Кристина Анатольевна*  
Иркутский государственный университет  
664033 г. Иркутск, К.Маркса, 1  
ведущий инженер  
тел.: (3952) 51-60-94