

**В. М. ФЁДОРОВ\***, **Р. В. ГОРБУНОВ\*\***, **Т. Ю. ГОРБУНОВА\*\***, **Н. К. КОНОНОВА\*\*\***

\* Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Ленинские горы, ГСП-1, Москва, 119991, Россия, fedorovmsu@gmail.com

\*\* Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН, ул. Науки, 24, Феодосия, пгт Курортное, 298188, Республика Крым, Россия, karadag-station@mail.ru, gorbunovaty@gmail.com

\*\*\* Институт географии РАН, пер. Старомонетный, 29, Москва, 119017, Россия, ninakononova@yandex.ru

### МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА КРЫМСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

*Проведено сравнение рассчитанных значений приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации и измеренных значений приземной температуры на территории полуострова Крым. Показано, что температурный режим на территории полуострова Крым в многолетнем плане характеризуется стабильностью. Определено, что стабильность многолетнего режима среднегодовых приземных температур воздуха связана с особенностью широтного распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации. В областях источников тепла приходящая солнечная радиация увеличивается, в областях стока тепла сокращается. С положением Крыма на границе областей источников и стока тепла связана стабильность многолетних среднегодовых значений приземной температуры воздуха. Выявлена хронологическая структура многолетних изменений среднегодовой приземной температуры воздуха. Аномалия в многолетней изменчивости приземной температуры воздуха характеризуется вариациями малой продолжительности. Проанализирована хронологическая структура межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха на территории Крыма. Преобладающая в вариациях температурного режима межгодовая и 2–3-летняя периодичность связана с вариациями приходящей солнечной радиации. Знак межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха в 62,7 % случаев соответствует знаку межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации. Таким образом, показано, что малая тенденция в многолетней изменчивости приземной температуры воздуха на территории Крымского полуострова и особенности ее вариаций в основном определяются спецификой поступления и распределения приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации.*

*Ключевые слова:* температура воздуха, Крым, инсоляция, температурный режим, верхняя граница атмосферы, изменение климата.

**V. M. FEDOROV\***, **R. V. GORBUNOV\*\***, **T. Yu. GORBUNOVA\*\***, **N. K. KONONOVA\*\*\***

\* Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia, fedorovmsu@gmail.com

\*\* T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS, ul. Nauki, 24, Feodosia, Kurortnoe, 298188, Crimea, Russia, karadag-station@mail.ru, gorbunovaty@gmail.com

\*\*\* Institute of Geography RAS, per. Staromonetnyi, 29, 119017, Moscow, Russia, ninakononova@yandex.ru

### LONG-TERM AIR TEMPERATURE VARIABILITY ON THE CRIMEAN PENINSULA

*A comparison is made of the calculated values of solar radiation incident on the upper atmospheric boundary with the measured values of ground temperature on the territory of the Crimea Peninsula. It is shown that the long-term temperature regime on the territory of the Crimea Peninsula is characterized by a stability. It is determined that the stability of the long-term regime of mean annual ground air temperatures is associated with the characteristics of the latitudinal distribution of solar radiation incident on the upper atmospheric boundary. The incident solar radiation increases in the regions of heat sources and decreases in the regions of heat sink. Stability of long-term mean annual values of ground air temperature is associated with the location of the Crimea on the boundary of the regions of heat sources and sinks. The study revealed the chronological structure of long-term changes in ground air temperature. The anomaly in the long-term ground air temperature variability is characterized by short-duration variations. An analysis is made of the chronological structure of interannual variability in ground air temperature on the territory of the peninsula. The dominant interannual and 2–3-year periodicities in the temperature regime variations is correlated with variations in incident solar radiation. In 62.7 % of cases, the sign of interannual variability in ground*

*air temperature corresponds to the sign of interannual variability in incident solar radiation. Thus it is shown that a small tendency in the long-term ground air temperature variability on the territory of the Crimean Peninsula, and the characteristics of its variations are determined largely by the specific character of the input and distribution of solar radiation incident on the upper atmospheric boundary.*

Keywords: air temperature, Crimea, insolation, temperature regime, upper atmospheric boundary, climate change.

## ВВЕДЕНИЕ

К природным ресурсам относятся и климатические условия территории. Их важнейшая характеристика — температурный режим, определяющий многие особенности жизни населения, окружающей природной среды и хозяйственной деятельности в регионе [1–3].

Природные ресурсы Крымского полуострова обладают значительным потенциалом для развития рекреационной деятельности, а также выращивания винограда и других теплолюбивых культур. Эта хозяйственная деятельность во многом определяется особенностями температурного режима территории.

Первые исследования климата Крыма носили описательный характер. В них был собран большой материал по различным климатическим компонентам [4–7]. К настоящему времени эти данные систематизированы [8, 9]. Аналитические работы по климатической изменчивости на территории п-ова Крым появились относительно недавно. На основе накопленной климатологической информации выполнен анализ климатических рядов приземной температуры воздуха, выделены характерные периоды (около 35 лет) в многолетней изменчивости климатических элементов [10–12]. Известны прогностические решения для климатических норм среднегодовых температур приземного слоя атмосферы южного берега Крыма. Определены тенденции изменения характеристик горного Крыма в зимний сезон, а также климатических норм аномалий температуры поверхностного слоя в прибрежной части Черного моря [13, 14]. Показан характер влияния циркуляции атмосферы в Северном полушарии на изменчивость приземной температуры воздуха в различные сезоны и циркуляционные эпохи на территории полуострова [15, 16]. Однако климат этой территории исследован недостаточно.

Главные климатообразующие факторы Крыма — солнечная радиация, циркуляция воздуха, рельеф, а также влияние Черного и Азовского морей [1, 17, 18]. Цель данной работы — исследование влияния радиационного фактора на изменение температурного режима приземной атмосферы на Крымском полуострове.

На основе астрономических эфемерид (JPL Planetary and Lunar Ephemerides) DE-405/406 [19] ранее нами была рассчитана солнечная радиация, приходящая на эллипсоид Земли (без учета атмосферы) за период с 3000 г. до н. э. по 2999 г. (прогнозные данные) [20–24]. Вариации, связанные с



Рис. 1. Схема расположения метеостанций на территории п-ова Крым.

изменением активности Солнца, не учитывались. В результате расчетов создана база радиационных данных приходящей солнечной радиации в широтные зоны Земли (протяженностью в  $5^\circ$ ) с шагом по времени в 1/12 часть тропического года [25].

С результатами расчетов солнечной радиации сопоставлялись температурные данные метеостанций Крыма, имеющих наиболее продолжительные ряды наблюдений (рис. 1).

### МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

В ходе исследований была проанализирована годовая приземная температура воздуха по данным наблюдений [26] на семи метеостанциях Крымского полуострова (см. рис. 1). Коэффициенты попарной корреляции рядов рассчитывались по общим временным интервалам. Полученные величины находятся в диапазоне от 0,857 до 0,969. Среднее значение коэффициента корреляции составляет 0,921. Из полученных результатов следует, что изменения температурных условий на территории п-ова Крым в районах расположения отмеченных метеостанций в многолетнем режиме происходят практически синхронно.

По данным пяти метеостанций, имеющих наиболее продолжительные ряды наблюдений, были рассчитаны линейные тренды многолетней изменчивости температуры (рис. 2). Их анализ показывает, что для данных всех метеостанций характерны весьма слабые тенденции в многолетней изменчивости приземной температуры воздуха (значения тангенса угла наклона линии тренда по модулю определяются интервалом от 0,0014 до 0,005). Слабые положительные тренды отмечаются для Феодосии, Керчи, Ялты, Севастополя, Карадага.

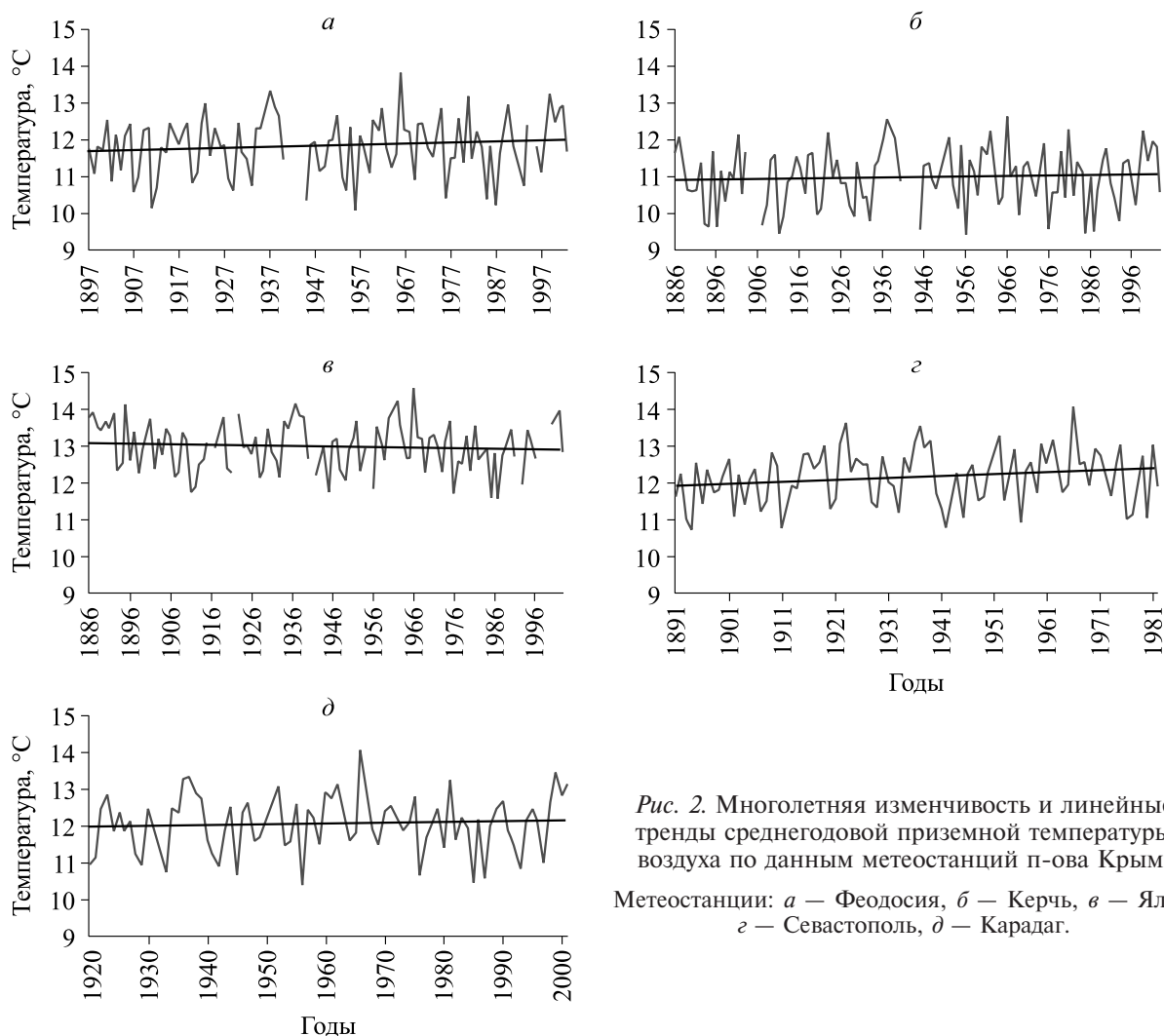


Рис. 2. Многолетняя изменчивость и линейные тренды среднегодовой приземной температуры воздуха по данным метеостанций п-ова Крым. Метеостанции: а – Феодосия, б – Керчь, в – Ялта, г – Севастополь, д – Карадаг.

досии, Керчи, Севастополя и Карадага. Слабый отрицательный тренд проявляется в данных метеостанции Ялта. Следовательно, среднегодовые значения приземной температуры воздуха за многолетний период практически не меняются.

Полученный вывод о малых трендах в многолетней изменчивости годовых значений приземных температур воздуха на территории п-ова Крым объясняется особенностями солярного климата Земли (рис. 3). Расчеты распределения [21–23] показывают (см. рис. 3), что минимальные изменения приходящей солнечной радиации характерны для широтных областей, находящихся вблизи параллели  $45^\circ$  в Северном и Южном полушариях. Севернее параллели  $45^\circ$  приходящая на верхнюю границу атмосферы солнечная радиация сокращается, а южнее — увеличивается. Территория п-ова Крым расположена в широтной области, ограниченной параллелями  $44^\circ$  и  $46^\circ$  с. ш. Таким образом, постоянство в многолетнем режиме приходящей в эту широтную область солнечной радиации определяет и малую многолетнюю изменчивость температуры приземной атмосферы.

Среднее многолетнее значение температуры (СМТ) по данным семи метеостанций, с учетом данных метеостанций, имеющих менее продолжительные ряды наблюдений (Симферополь — 69 лет и Евпатория — 37 лет), составляет  $11,75^\circ\text{C}$ . Средние отклонения от этого значения на отдельных метеостанциях находятся в диапазоне от  $-1,2^\circ\text{C}$  (Симферополь) до  $1,3^\circ\text{C}$  (Ялта), т. е. в пределах 10,6 % от значения СМТ для метеостанции. В среднем для района исследования это значение составляет 4,8 %.

Были рассчитаны годовые отклонения температуры от значения СМТ для каждой метеостанции. Среднее значение аномалии температуры (по модулю) по всем метеостанциям —  $0,66^\circ\text{C}$ . Минимальные аномалии (по модулю) характерны для Ялты ( $0,54^\circ\text{C}$ ), максимальные — для Евпатории ( $0,93^\circ\text{C}$ ). Абсолютные значения годовой аномалии — менее 8 % от СМТ приземного слоя воздуха для метеостанции.

Для детального анализа колебаний годовых значений относительно среднего многолетнего рассчитывались средние значения аномалии по всем семи метеостанциям. В результате получен усредненный для региона многолетний ряд аномалии приземной температуры воздуха (1886–2003 г.). Анализ этого ряда показывает относительно равное количество положительных (62 года, или 53 %) и отрицательных (56 лет, или 47 %) значений аномалии (рис. 4).

В многолетней изменчивости для территории п-ова Крым, согласно анализируемым данным, отмечаются периоды с положительными и отрицательными значениями аномалии, продолжительность

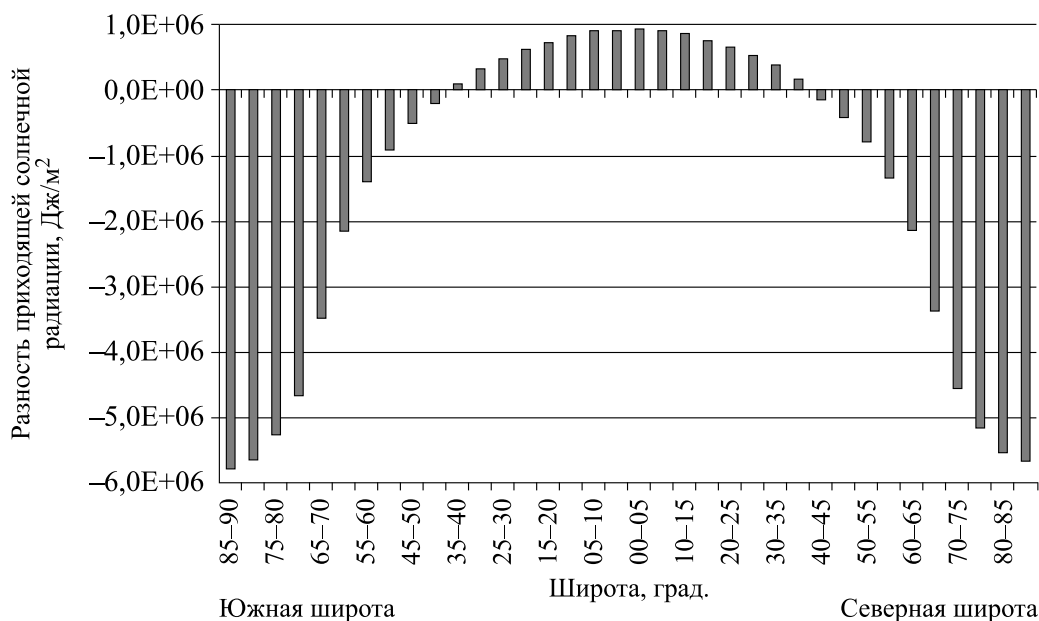


Рис. 3. Распределение разности приходящей на верхнюю границу земной атмосферы солнечной радиации в соответствующие широтные зоны в 2050 и 1850 г.

Для каждой широтной зоны получено одно значение разности приходящей радиации, рассчитанное путем вычитания показателей радиации, характерных для 1850 г., из прогнозных данных за 2050 г.

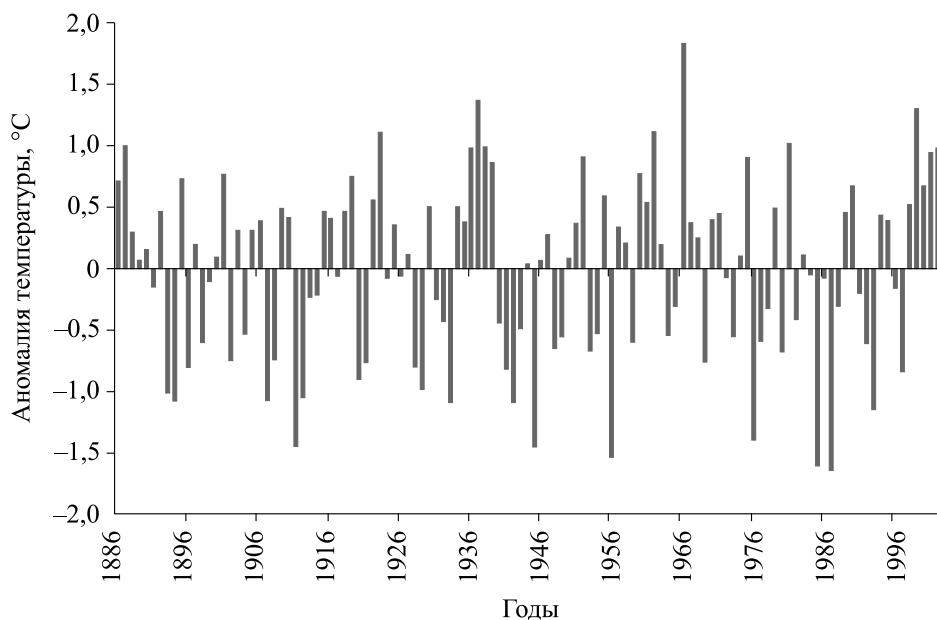


Рис. 4. Многолетняя изменчивость средней для территории п-ова Крым аномалии приземной температуры воздуха.

которых не превышает 5–6 лет. На протяжении 118 лет выделено четыре группы с аномалией одного знака продолжительностью 5–6 лет: группы с положительными значениями аномалии — 1886–1890, 1934–1939, 1998–2002 гг., группа отрицательных значений аномалии — 1984–1988 гг. Также в многолетней изменчивости выделены две группы продолжительностью 4 года с отрицательными значениями аномалии и одна — с положительными. Остальные вариации аномалии связаны с межгодовой и 2–3-летней изменчивостью.

Таким образом, аномалии в многолетней изменчивости приземной температуры воздуха характеризуются вариациями малой продолжительности. Чередование групп положительных и отрицательных значений аномалии не превышает 5–6 лет. Преобладают вариации продолжительностью в 1 год (13 случаев отрицательных и 12 положительных значений аномалии) и 2 года (10 отрицательных и 12 положительных), они составляют 60,2 % общей длительности ряда наблюдений температуры (118 лет). С учетом групп продолжительностью 3 года доля этих вариаций увеличивается до 72,9 %. Распределение значений аномалии, вероятно, связано прежде всего с вариациями в преобладании тех или иных форм атмосферной циркуляции в регионе [27, 28].

По результатам спектрального анализа в многолетней изменчивости значений приземной температуры относительно среднего многолетнего значения отмечаются четыре максимума, соответствующие периодам 2,2, 2,78, 4,35 и 14,3 года.

#### МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Межгодовая изменчивость (МИ) для региона рассчитывалась методом осреднения значений МИ приземной температуры воздуха по семи метеостанциям за период с 1886 по 2006 г. В ее многолетнем ходе (на интервале продолжительностью 121 год) максимальная продолжительность значений одного знака составляет 5 лет — отмечается одна группа положительных значений (1937–1941 гг.). Имеется одна группа отрицательных значений МИ продолжительностью 4 года (1911–1914 гг.). Остальные изменения одного знака длятся меньше. Выделены пять групп отрицательных и четыре группы положительных значений продолжительностью 3 года. Преобладают группы одного знака продолжительностью 2 года (10 для положительных значений МИ и 13 для отрицательных). В 38 случаях смена знака отмечается через год. Всего изменчивость с продолжительностью от 1 до 3 лет составляет 91,7 % ряда наблюдений. Среднее по всем метеостанциям значение межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха (по модулю) составляет 0,8 °С. Спектральный анализ показывает существование трех максимумов МИ, соответствующих периодам 2,7, 2,2 и 4,3 года. Преобладает максимум

с периодом 2,7 года. Отмечаемая в обоих спектрах изменчивость с периодом около 2,7 лет соответствует времени, характерному для приходящей солнечной радиации и многолетнего хода ее межгодовой изменчивости. Причины этой периодичности определяются возмущениями орбитального движения Земли ближайшими планетами — Венерой и Марсом, а также соизмеримостью в средних движениях Земли, Венеры и Марса [21, 29–31]. В связи с тем, что соотношение 2- и 3-летних циклов около 2/3, для спектра отмечается максимум, соответствующий периоду 2,7 года.

Сравнение МИ приземной температуры (осредненной по данным семи метеостанций с 1886 по 2003 г.) с межгодовой изменчивостью разности солнечной радиации, приходящей в широтные зоны 40–45° и 45–50° с. ш., показывает, что в 74 (из 118) случаев для этих рядов отмечаются одинаковые по знаку значения МИ (62,7 %). В 44 случаях (37,3 %) знаки межгодовой изменчивости солнечной радиации и приземной температуры противоположны. Межгодовые вариации приземной температуры воздуха могут в значительной мере определяться особенностями циркуляционных процессов в атмосфере, также имеющих связь с приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиацией [28]. Однако совпадение знаков межгодовой изменчивости приземной температуры воздуха с разностью межгодовой изменчивости солнечной радиации, приходящей в вышеуказанные широтные зоны, в 62,7 % случаев указывает на значительное участие межширотного теплообмена в формировании знака межгодовой изменчивости. Изменение интенсивности межширотного теплообмена определяется широтным градиентом приходящей солнечной радиации [22, 32].

Таким образом, межгодовая изменчивость приземной температуры воздуха в 62,7 % случаев определяется знаком межгодовой изменчивости солнечной радиации; 2–3-летняя периодичность в межгодовой и многолетней изменчивости приземной температуры зависит от аналогичных вариаций приходящей солнечной радиации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема изменения современного климата (глобального и регионального) и, прежде всего, его температурных характеристик представляется актуальной для современной науки и практики. Она определяется необходимостью прогнозирования последствий климатических изменений для природной среды и общества. Наиболее важен в проблеме исследования и прогнозирования изменений климата вопрос о причинах, вызывающих эти изменения. В XX и XXI вв. отмечена тенденция повышения глобальной приповерхностной температуры. Широко распространено мнение о том, что основную причину изменения глобального климата представляет собой «парниковый» эффект, связанный, главным образом, с эмиссией парниковых газов, определяемой антропогенным фактором. В настоящее время повышенное внимание уделяется исследованиям изменения температурного режима климата в связи с «парниковым» эффектом планеты. В то же время не подвергается сомнению то, что солнечная радиация имеет важнейшее значение в генезисе климата. Однако вопросы изменения регионального климата в связи с пространственными и временными вариациями инсоляции исследованы еще недостаточно. Известны попытки связать перемены в глобальном климате с солнечной активностью, но результаты этих исследований неоднозначны.

Полученные нами результаты показывают, что многолетняя и межгодовая изменчивость температурного режима регионального климата на территории Крымского полуострова в значительной степени определяется вариациями инсоляции, которые важно учитывать при создании региональных климатических моделей, разработке прогностических сценариев развития климата и выработке рациональной и эффективной стратегии использования природных ресурсов Крымского полуострова.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Республики Крым (14–45–01616 p\_юг\_a).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисов А. А.** Климаты СССР. — М.: Просвещение, 1967. — 293 с.
2. **Природные условия и естественные ресурсы СССР. Украина и Молдавия** / Под общ. ред. И. П. Герасимова. — М.: Наука, 1972. — 440 с.
3. **Логинов В. Ф.** Глобальные и региональные изменения климата: причины, последствия и адаптация хозяйственной деятельности // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 1. — С. 13–24.

4. **Вознесенский А. В.** Климат Крыма. — Симферополь: Крымгосиздат, 1929. — 22 с.
5. **Пенюгалов А. В.** Климат Крыма. Опыт климатического районирования // Труды Съезда по изучению производственных сил Крыма «Пути реконструкции народного хозяйства». — 1930. — Вып. 2. — 178 с.
6. **Бабков И. И.** Климат. — Симферополь: Крым, 1966. — 66 с.
7. **Кочкин М. А.** Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования. — М.: Колос, 1967. — 368 с.
8. **Климат** и опасные гидрометеорологические явления Крыма / Под ред. К. Т. Логвинова, М. Б. Барабаш. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 317 с.
9. **Климатический атлас** Крыма: Приложение к научно-практическому дискуссионному аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма» // Авт.-сост. И. П. Ведь. — Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. — 120 с.
10. **Парубец О. В.** Анализ климатических рядов Крымского полуострова // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. — 2009. — Вып. 1 (20). — С. 154–164.
11. **Парубец О. В.** Изменение климата в Крыму // Уч. зап. Тавр. нац. ун-та. — 2009. — Т. 22 (61), № 2. — С. 88–96.
12. **Парубец О. В.** Изменение климата // Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке — начале XXI века и ее оптимизация. — Симферополь: Изд-во Крым. науч. центра, 2011. — С. 27–35.
13. **Холощев А. В., Парубец О. В.** Прогнозирование климатических норм среднегодовых температур приземного слоя атмосферы на Южном берегу Крыма с использованием метода множественной регрессии // Исследования в области естественных наук [Электронный ресурс]. — <http://science.snauka.ru/2014/08/8311> (дата обращения: 28.08.2014).
14. **Холощев А. В., Парубец О. В.** Тенденции межгодовой изменчивости климата Горного Крыма и поверхностных температур Средиземного и западной части Черного морей в 1960–2012 гг. зимой // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2014. — № 8–1. — С. 233–238.
15. **Кононова Н. К.** Циркуляция атмосферы в Европейском секторе Северного полушария в XXI веке и колебания температуры в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. — 2014. — Т. 10, вып. 1. — С. 633–639.
16. **Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Кононова Н. К.** Климатические нормы температуры воздуха на территории Крымского полуострова // Культура народов Причерноморья. — 2014. — № 278, т. 2. — С. 89–94.
17. **Берг Л. С.** Основы климатологии. — Л.: Гос. учеб.-пед. изд-во, 1928. — 456 с.
18. **Алисов Б. П., Берлин И. А., Михель В. М.** Курс климатологии. Ч. 3: Климаты земного шара. — Л.: Гидрометеоиздат, 1954. — 321 с.
19. **NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics)** [Электронный ресурс]. — <http://ssd.jpl.nasa.gov> (дата обращения 10.01.2015).
20. **Фёдоров В. М.** Теоретический расчет межгодовой изменчивости солнечной постоянной // Астроном. вестн. — 2012. — Т. 46, № 2. — С. 184–189.
21. **Фёдоров В. М.** Межгодовые вариации продолжительности тропического года // Докл. РАН. — 2013. — Т. 451, № 1. — С. 95–97.
22. **Фёдоров В. М.** Широтная изменчивость приходящей солнечной радиации в различных временных циклах // Докл. РАН. — 2015. — Т. 460, № 3. — С. 339–342.
23. **Фёдоров В. М.** Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера. — 2015. — Т. 14, № 1. — С. 5–22.
24. **Fedorov V. M.** Interannual Variability of the Solar Constant // Solar System Research. — 2012. — Vol. 46, N 2. — P. 170–176.
25. **Фёдоров В. М.** Солнечная радиация и климат Земли [Электронный ресурс]. — <http://www.solar-climate.com> (дата обращения 14.01.2015).
26. **База климатических данных** Института глобального климата и экологии [Электронный ресурс]. — <http://www.climatechange.ru> (дата обращения 20.10.2014).
27. **Кононова Н. К.** Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. — М.: Воентехиздат, 2009. — 372 с.
28. **Фёдоров В. М., Кононова Н. К.** Солнечная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы, и изменчивость циркуляционных процессов в Северном полушарии // Труды ГГО. — 2015. — Вып. 576. — С. 183–200.
29. **Белецкий В. В.** Очерки о движении космических тел. — М.: Наука, 1972. — 360 с.
30. **Гребенников Е. А., Рябов Ю. А.** Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. — М.: Наука, 1978. — 128 с.
31. **Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И.** Курс общей астрономии. — М.: Наука, 1983. — 560 с.
32. **Фёдоров В. М.** Эффект усиления межширотного теплообмена и изменение площади морских льдов в Северном полушарии // Сб. тезисов Всерос. конф. с междунар. участием «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата». — Архангельск: ИД САФУ, 2014. — С. 35–36.

*Поступила в редакцию 24 августа 2015 г.*