

УДК 551.583(477.75)

## Оценка будущих изменений климата на Южном берегу Крыма

*Корсакова С. П.*

*Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН  
Ялта, Республика Крым, Россия  
korsakova2002@mail.ru*

Проведен анализ вероятных климатических изменений будущего температурного режима на территории Южного берега Крыма по данным прогностических расчетов моделей проекта CMIP5 для трех основных климатических сценариев (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5) до 2100 г. Для наиболее жесткого сценария, RCP8.5, наибольший прирост температур по сравнению со средней за период 1961–1990 годов следует ожидать в июле – октябре – до 5–6 °С, наименьший – в ноябре, декабре и апреле (до 3,5–4 °С). Для наиболее реалистичного климатического сценария, RCP4.5, по сравнению с первыми десятилетиями XXI века в 2021–2040 гг. предполагается рост температур в январе, апреле и в октябре (примерно на 1 °С) и небольшое снижение в марте, июне, августе и в ноябре (менее 0,5 °С). В середине столетия следует ожидать дальнейшее равномерное повышение температур во все месяцы года (в пределах 0,5–1 °С). В последнюю двадцатилетку XXI века возможна стабилизация температур в холодный период года при сохранении небольшого их роста в теплый (около 0,5 °С).

*Ключевые слова:* изменение климата, ансамблевые климатические проекции, температура воздуха, моделирование, Южный берег Крыма.

### ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата представляет собой долгосрочную климатическую тенденцию, перекрывающуюся сложными климатическими условиями большинства экосистем, включая среднее значение климата, циклические колебания (например, сезонные и многолетние циклы, часто обусловленные крупномасштабными колебаниями) и экстремальные явления (Проскураков, 2015). За последние десятилетия изменение климата оказало воздействие на природные и антропогенные системы на всех континентах и океанах. Во многих экосистемах происходят вызванные климатом сдвиги в деятельности, границах или количестве населяющих их видов (IPCC, 2013). Для понимания потенциальных воздействий изменения климата на общество и экосистемы используются сценарии, предназначенные для исследований последствий целого ряда возможных вариантов будущего. Содержащийся в сценариях анализ создает основу для понимания рисков изменения климата для людей, экосистем и экономики в целом ряде возможных будущих периодов (Росгидромет, 2017).

Основными инструментами, которые используются для проектирования продолжительности и интенсивности изменения климата, являются глобальные климатические модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В рамках международных программ AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project), CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) и других проводится целенаправленное сравнение моделей, разработанных группами исследователей в разных странах мира, как между собой, так и с данными наблюдений. В настоящее время доступны модельные расчеты изменения климата, сформированные в рамках международного проекта CMIP5 при подготовке 5-го оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2013–2014 гг.) (IPCC, 2013). В проекте CMIP5 представлены сценарии RCP (Representative Concentration Pathway) или РТК (репрезентативная траектория концентрации) будущих оценок парниковых газов (ПГ) и других радиационно активных веществ, которые вносят основной вклад в современное изменение климата. Сценарии получили стандартизированные

обозначения и описаны в ряде публикаций: RCP8.5 (Riahi et al., 2011), RCP6.0 (Masui et al., 2011), RCP4.5 (Thomson et al., 2011) и RCP2.6 (van Vuuren et al., 2011). Эти сценарии предполагают различные климатические перспективы на основе прогнозов выбросов ПГ и, следовательно, связанное с ними приращение глобального радиационного баланса ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) к 2100 году. Сценарий RCP2.6 предполагает лишь небольшое увеличение эмиссии ПГ, ожидается, что повышение температуры будет оставаться ниже порога  $2^\circ\text{C}$ . В сценарии RCP8.5 предполагается, что увеличение радиационного баланса на  $8,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$  соответствует повышению температуры от  $3,5$  до  $4,5^\circ\text{C}$ . Для двух других сценариев, RCP4.5 и RCP6.0, ожидается, что превышение будущих температур будет варьировать в пределах  $2\text{--}4,5^\circ\text{C}$  (Nazarenko et al., 2015). Точно установить, какой именно из сценариев осуществится в действительности, в настоящее время невозможно. Как наиболее реалистичный сценарий стабилизации общего антропогенного воздействия к 2100 году в результате использования ряда технологий и стратегий для сокращения выбросов ПГ был определен RCP4.5 (Thomson et al., 2011). Для результатов сценарных оценок при моделировании возможного состояния будущего климата вместо термина «прогноз» или «предсказание» употребляется термин «перспективная оценка» или «проекция» (Дымников и др., 2012).

Около 67 % территории Южного берега Крыма занимают леса и обширные парки (Земельный фонд Крыма, 2010). В связи с тем, что леса ЮБК находятся на границе ареала своего существования, изменения климата могут привести к значительным сдвигам в размещении лесных сообществ, особенно в нижнем поясе южного макросклона в районах распространения вариантов средиземноморских и субсредиземноморских ландшафтов (Дидух, 1992; Гаркуша и др., 2012). Также к критическим явлениям, способным усилить деструктивные процессы и вызвать тотальную деградацию лесных сообществ южного макросклона Главной гряды Крымских гор, относятся пожары, на периодичность которых наиболее заметное влияние оказывает температурный режим (Коба, Жигалова, 2014). Поскольку изменение климата может изменить сроки, степень тяжести стрессов и нарушений во многих экосистемах, оно может также предоставить новые возможности для инвазии в зависимости от доминирующего климатического регулятора, прогнозируемого изменения климата и особенностей аборигенных и интродуцированных видов (Wolkovich, Cleland, 2014).

Таким образом, вопрос адаптации к изменениям климата становится все более жизненно важным и требует принятия действенных упреждающих мер, долгосрочных планов действий, основанных на научно обоснованных перспективных оценках изменения климата. Принятие заблаговременных адаптационных мер позволит повысить устойчивость национальной экономики к изменениям климата, предупредить ненужные потери и рационально использовать преимущества благоприятного изменения климата. Анализ имеющихся источников показал, что работы, посвященные изменению климата Крымского региона, содержат обобщенные оценки изменения температуры и осадков для всей территории Крыма, без детализации для отдельных климатических субрегионов полуострова (Башарин и др., 2013; Ефимов и др., 2015; <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>).

Исходя из вышеизложенного, целью работы является оценка климатических изменений на территории Южного берега Крыма в XXI веке в полях приземной температуры воздуха на основе модельных расчетов CMIP5.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

**Метеорологические данные.** В настоящее время на Южном берегу Крыма (ЮБК) регулярные и многолетние инструментальные наблюдения за метеорологическими и агрометеорологическими элементами осуществляют 4 метеостанции Крымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Крымское УГМС»). Это морская гидрометеорологическая станция Ялта, агрометеорологическая станция Никитский

сад, на восточной границе – метеостанция Алушта, в горах – метеостанция Ай-Петри (табл. 1).

В работе использованы многолетние ряды наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях Ай-Петри, Ялта и Алушта за период с 1946 по 2005 год (данные из архива Украинского гидрометеорологического центра [УкрГМЦ] и декадного агрометеорологического бюллетеня по ЮБК) и с 2006 по 2017 год (архив сайта <https://gp5.ru>). В связи с переносом метеорологической площадки метеостанции Алушта в 2009 году после 2009 года данные были приведены к многолетнему периоду при задании минимального критического значения коэффициента корреляции  $R_{кр}=0,85$  (Малинин, 2008). Данные о среднесуточной температуре воздуха по агрометеорологической станции Никитский сад за 1946–2017 годы были получены из опубликованных агрометеорологических бюллетеней (форма ТСХ-8) и годовых отчетов (табл. 2).

Таблица 1

Географическая характеристика станций Южного берега Крыма

Название	Координаты		
	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря, м
Ялта	44°29'СШ	34°09' ВД	66
Ай-Петри	44°28'СШ	34°05' ВД	1180
Никитский сад	44°31'СШ	34°15' ВД	208
Алушта	44°41'СШ	34°25' ВД	8

Таблица 2

Средняя месячная температура воздуха на ЮБК по месяцам

Месяцы	Метеостанция											
	Никитский сад			Ялта			Алушта			Ай-Петри		
	Климатические периоды											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	3,1	3,4	3,8	3,9	4,3	4,8	2,9	3,5	3,8	-3,6	-3,3	-2,6
II	3,3	2,8	3,8	4,2	3,6	4,7	3,3	2,9	3,8	-3,1	-3,9	-2,1
III	5,3	5,0	6,3	6,0	5,7	7,2	5,3	5,1	6,2	-0,6	-1,0	0,1
IV	10,5	10,3	10,6	10,8	10,6	11,1	10,1	10,1	10,1	4,9	4,9	4,7
V	15,4	15,3	16,3	15,6	15,5	16,8	15,0	15,0	15,8	9,5	9,3	10,6
VI	19,9	19,6	21,2	20,2	20,2	21,9	19,6	19,5	21,0	12,9	13,0	14,2
VII	22,8	23,1	24,5	23,2	23,6	25,1	22,5	23,1	24,2	15,1	15,5	17,1
VIII	22,6	23,0	24,9	23,0	23,5	25,5	22,2	22,8	24,4	14,7	15,1	17,3
IX	18,4	18,2	19,8	19,0	18,8	20,6	17,9	18,0	19,3	10,9	10,8	12,3
X	13,0	13,2	13,8	13,6	13,8	14,6	12,3	12,8	13,3	6,5	6,8	7,2
XI	8,9	7,9	9,4	9,5	8,6	10,1	8,3	7,5	9,0	2,6	1,7	3,5
XII	5,5	5,0	5,6	6,3	5,8	6,4	5,3	4,9	5,3	-1,5	-1,6	-1,2

Примечание к таблице. Климатические периоды: 1 – 1961–1990 гг. (климатическая норма, рекомендуемая Всемирной метеорологической организацией [Росгидромет, 2017]); 2 – 1981–2000 гг.; 3 – 2001–2017 гг.

**Климатические модели проекта СМIP5.** Результаты расчетов будущих изменений климата для всей территории России по ансамблю глобальных климатических моделей для трех основных сценариев СМIP5 (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5) опубликованы на сайте Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) (<http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>). Изменения климата рассматриваются для начала (2011–2030 гг.), для середины (2041–2060 гг.) и конца (2080–2099 гг.) XXI века, осредненные за 20 лет по отношению к базовому климатическому периоду 1981–2000 гг. На основе представленных данных методом интерполяции можно получить приближенные оценки средних за сезоны и в целом за год значений будущей температуры воздуха и условий увлажнения на территории Южного берега Крыма за эти три интервала времени. В первый временной интервал предполагается рост среднегодовой температуры воздуха от 1,1 до 1,3 °С в зависимости от сценария, в последний – от 1,8 до 5,0 °С. При этом наиболее существенный рост температур ожидается в летний период: от 1,4 °С (2011–2031 гг.) до 2,0–6,1 °С (2080–2099 гг.) в зависимости от сценария. Перспективная оценка показывает наименьший рост температур в зимний и весенний периоды (соответственно в первый и последний период от 0,8–1,2 до 1,4–4,4 °С) и промежуточный – в осенний (от 1,1–1,2 °С в 2011–2031 гг. до 1,8–5,0 °С в конце столетия). По наиболее вероятному среднему сценарию (RCP4.5), ожидается рост температуры зимнего сезона в конце XXI века на 2,4 °С, а летнего – на 3,2 °С (табл. 3).

Таблица 3

Изменения температурных условий на территории Южного берега Крыма в XXI веке по отношению к базовому климатическому периоду 1981–2000 годов (по данным ГГО)

Сезон	Климатический период		
	2011–2031 гг.	2041–2060 гг.	2080–2099 гг.
RCP2.6			
Зима	0,9	1,3	1,4
Весна	0,9	1,7	1,6
Лето	1,4	2,0	2,0
Осень	1,2	1,7	1,8
Год	1,1	1,8	1,8
RCP4.5			
Зима	0,9	1,7	2,4
Весна	0,8	1,8	2,4
Лето	1,4	2,3	3,2
Осень	1,1	2,0	2,8
Год	1,2	2,0	2,7
RCP8.5			
Зима	1,0	2,5	4,4
Весна	1,2	2,6	4,4
Лето	1,4	3,3	6,1
Осень	1,2	2,8	5,0
Год	1,3	2,9	5,0

Для более точной оценки будущих температур на территории ЮБК были использованы данные, предоставленные Международным центром по тропическому сельскому хозяйству (International Centre for Tropical Agriculture [CIAT]) и Исследовательской программой КГМСХИ по изменению климата, сельскому хозяйству и продовольственной безопасности (CCAFS) (Ramirez and Jarvis, 2008). Наборы данных, содержащиеся на веб-сайте CCAFS, разработаны в рамках программы Анализ Решений и Политики (Decision and Policy Analysis [DAPA]). Для получения климатических данных высокого разрешения выходные данные СМIP5, загруженные с портала МГЭИК, CCAFS и его партнерами были обработаны

методом статистического даунскейлинга с использованием алгоритма сплайновой интерполяции аномалий (Delta method) (Ramirez, Jarvis, 2010).

В рамках исторического эксперимента была выбрана версия реанализа AgMERRA, содержащая поля непрерывных суточных данных за период 1980–2005 годов, построенных на основе прямых наблюдений сети наземных станций и дистанционного зондирования, проинтерполированных на регулярную пространственную сетку с разрешением  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  для температуры и  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  – для осадков (Ruane et al., 2015).

Результаты тестирования климатических моделей семейства CMIP5 по их способности описывать динамику климатических факторов на территории России и сопредельных стран за период 1976–2005 годов (Анисимов, Кокорев, 2013) позволили выделить для территории Крыма 23 модели, хорошо воспроизводящие тренды всех температурных характеристик (среднегодовой и сезонных температур, суммы температур выше  $0^\circ\text{C}$ ). Среди этих моделей было выбрано 5, которые показали различные значения равновесной чувствительности климата (от 2,8 до 4,1  $^\circ\text{C}$ ) при средней величине роста температуры на  $3,2^\circ\text{C}$ , полученной по мультимодельному ансамблю CMIP5 (Flato et al., 2013), для каждой на сайте CCAFS имеются результаты сценарных оценок до 2099 г. по трем основным сценариям: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 (табл. 4):

- 1) две модели пекинского климатического центра, Китай (Beijing Climate Centre, China, BCC Model);
- 2) модель CM4 V1 Института Лапласа, Франция (Institute Pierre-Simon Laplace IPSL/LMD/LSCE);
- 3) модель MIROC3.2 со средним разрешением, Япония (CCSR/NIES/FRCGC, MIROC3.2, medium resolution);
- 4) модель института Макса Планка, Германия (Max Planck Institute for Meteorology, Germany, ECHAM5 / MPI OM) MPI.

Таблица 4

Краткая характеристика климатических моделей CMIP5 для построения климатической проекции на территории Южного берега Крыма

Код модели	Организация	Код организации, версия модели	Горизонтальное разрешение	РЧК, $^\circ\text{C}$
BCC	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	BCC-CSM1.1 (Xin et al., 2013)	$\sim 2,8^\circ \times 2,8^\circ$	2,8
		BCC-CSM1.1(m) (Wu et al., 2014)	$\sim 1,13^\circ \times 1,13^\circ$	2,9
IPSL	Institute Pierre-Simon Laplace (IPSL)	IPSL-CM5A-LR (Dufresne et al., 2012)	$\sim 1,9^\circ \times 3,75^\circ$	4,1
MIROC	University of Tokyo, Japanese National Institute for Environmental Studies (NIES), and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)	MIROC-ESM-CHEM (Watanabe et al., 2011)	$\sim 2,8^\circ \times \sim 2,8^\circ$	н.д.
MPI-M	Max Planck Institute (MPI) for Meteorology	MPI-ESM-MR (Giorgetta et al., 2014)	$\sim 1,9^\circ \times 1,875^\circ$	н.д.

Примечание к таблице. РЧК – равновесная чувствительность климата (увеличение глобальной температуры воздуха, полученное по моделям климата при сценарии удвоения концентрации  $\text{CO}_2$ ),  $^\circ\text{C}$ ; н. д. – данные недоступны.

Суточные данные метеовеличин за исторический период (1980–2005 гг.) и результатов климатического моделирования CMIP5 (2015–2099 гг.) с выполненной коррекцией смещения на основе данных реанализа (Ramirez, Jarvis, 2010) в ближайших к координатам метеорологических станций ЮБК узлах регулярной сетки по запросу были предоставлены в

формате «txt». Сеточный архив AgMERRA достаточно хорошо согласуется с данными наблюдений на метеорологических станциях ЮБК за исторический период. Рассчитанные коэффициенты парной корреляции между среднемесячными и годовыми данными реанализа и данными инструментальных наблюдений на метеорологических станциях для температуры воздуха в основном находились в пределах 0,78–0,98, а для осадков – 0,73–0,95. На основе сравнения данных реанализов с рядами инструментальных наблюдений на метеорологических станциях за совместный исторический период были получены величины систематических погрешностей, связанные с топографией положения станций в горных районах. По результатам сравнения также была выполнена коррекция данных моделирования с учетом систематической погрешности (ИКАРДА, 2015).

Для проекции климатических изменений был применен ансамблевый метод, усредняющий результаты расчетов моделей (Dee et al., 2011). Выбор метода построения ансамблевой климатической проекции обусловлен уменьшением неопределенности климатических проекций при осреднении по нескольким моделям, объединенным в ансамблевую проекцию, за счет частичной компенсации случайных погрешностей, которые присущи каждой индивидуальной модели (Говоркова и др., 2008; Araújo, New, 2007; Marmion et al., 2009).

Математическую обработку данных проводили с использованием программы MS Excel 2010, включающей стандартные методы математической статистики для анализа рядов наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Однородность и временные закономерности формирования климата.** Высокая теснота корреляционной связи рядов температуры воздуха (сезонных и среднегодовой) между метеорологическими станциями Южного берега Крыма указывает на пространственную однородность изменений температуры (табл. 5). Среднее значение коэффициента корреляции находится в пределах 0,87–0,96. Значения коэффициентов корреляции для осадков несколько ниже. Однородность их выпадения отмечается в большинстве сезонов года за исключением лета, когда наблюдаются сильные, но кратковременные ливни конвективного происхождения, обусловленные локальными формами рельефа.

Таблица 5

Значения коэффициентов корреляции сезонных и среднегодовых температур воздуха и осадков на территории Южного берега Крыма, рассчитанные по данным метеостанций для периода 1946–2017 годов

Метеорологические станции	Сезоны				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Температура воздуха					
Никитский сад – Алушта	0,97	0,92	0,94	0,93	0,76
Никитский сад – Ялта	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98
Никитский сад – Ай-Петри	0,89	0,89	0,98	0,91	0,95
Алушта – Ялта	0,96	0,95	0,96	0,94	0,81
Алушта – Ай-Петри	0,88	0,85	0,93	0,88	0,77
Ялта – Ай-Петри	0,88	0,87	0,97	0,91	0,94
Среднее по региону	0,93	0,91	0,96	0,93	0,87
Осадки					
Никитский сад – Алушта	0,82	0,81	0,74	0,82	0,81
Никитский сад – Ялта	0,91	0,91	0,80	0,90	0,93
Никитский сад – Ай-Петри	0,84	0,77	0,58	0,85	0,85
Алушта – Ялта	0,79	0,82	0,63	0,68	0,80

Алушта – Ай-Петри	0,76	0,78	0,51	0,62	0,79
Ялта – Ай-Петри	0,91	0,86	0,76	0,91	0,90
Среднее по региону	0,84	0,83	0,67	0,80	0,85

На рисунках 1 и 2 показаны сглаженные 11-летним скользящим фильтром ряды аномалий средней годовой и сезонной температуры воздуха за период с 1946 по 2017 год по отношению к норме, период 1961–1990 годов. Показателен относительно узкий диапазон, в который попадают наблюдения на отдельных станциях ЮБК. Полученные результаты анализа свидетельствуют о наличии единых временных закономерностей формирования климата на территории ЮБК, что значительно упрощает задачу изучения, моделирования, реконструкции недостающих данных и прогнозирования климатических изменений. Таким образом, изучив временные закономерности формирования по одной из метеостанций ЮБК, можно предположить, что подобные изменения могут происходить по всей территории побережья от мыса Айя до Алушты.

При анализе климата, кроме районирования, не менее важную роль играет дискретизация во времени, под которой понимается определение границ климатических периодов, характеризуемых общностью статистических характеристик метеорядов (Анисимов и др. 2011). Сравнение трех типов моделей приземной температуры воздуха для регионов России (в виде стационарного временного ряда, линейного тренда и ступенчатых изменений) показало, что из трех этих моделей наилучшая для описания динамики температуры воздуха в современный период, охватывающий несколько последних десятилетий, – модель временного ряда в виде линейного тренда (Анисимов, Жильцова, 2012). Оценки нижней границы этого периода (рис. 1 и 2) показывают, что рост средней годовой температуры воздуха на ЮБК стал отчетливо проявляться с 1988 года (рис. 1).

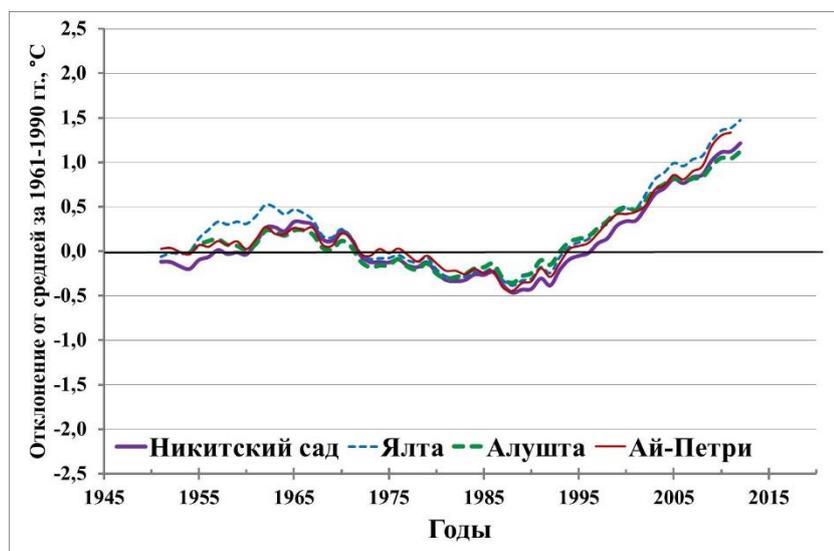


Рис. 1. Сглаженные (11-летнее скользящее осреднение) аномалии средней годовой температуры воздуха по метеостанциям Южного берега Крыма  
Аномалии рассчитаны как отклонения от нормы за 1961–1990 годы.

Однако проявление современного глобального потепления в отдельные сезоны года происходило неравномерно. Начало периода потепления на ЮБК охарактеризовалось повышением летних температур с 1982 года. Начало роста температур зимой и осенью наблюдается с 1988 года, только после 1991 года – весной (рис. 2). Наибольшие темпы роста температур отмечаются в летний сезон. После 2006 г. возросла скорость повышения

температур в весенний сезон и замедлилась – в осенний. С 2010 года наметилась стабилизация температур в зимний период.

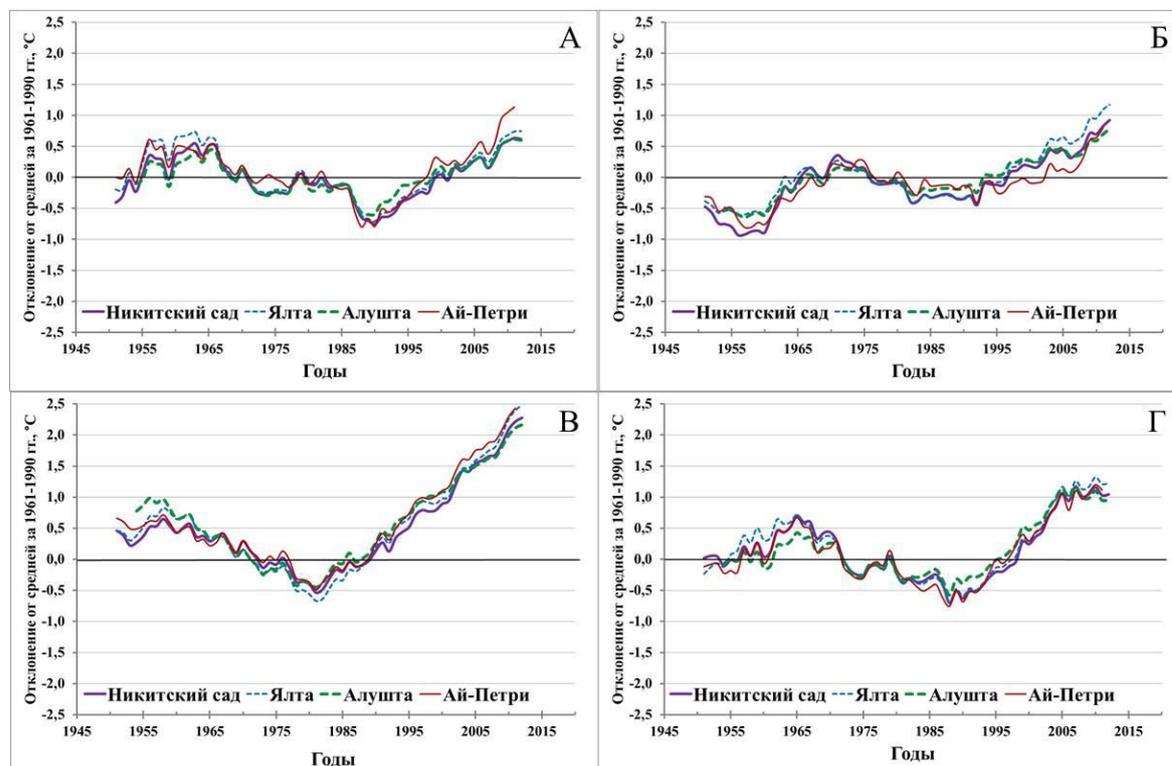


Рис. 2. Сглаженные (11-летнее скользящее осреднение) аномалии средней сезонной температуры воздуха по метеостанциям Южного берега Крыма  
А – зима; Б – весна; В – лето; Г – осень. Аномалии рассчитаны как отклонения от нормы за 1961–1990 годы.

**Проекция климатических изменений.** Тестирование моделей проекта СМIP5 согласно их способности воспроизводить данные наблюдений за совместный период по сценарию «Исторический эксперимент» проведено за период с 1980 по 2005 год. За верхнюю границу периода сравнения принят год окончания серии исторических расчетов СМIP5, одинаковый для всех моделей. В качестве меры сравнения применялось два показателя: отклонение между средними многолетними температурами по модели и по данным наблюдений ( $\Delta t$ ) и коэффициента парной корреляции Пирсона ( $r$ ) между ними. В качестве примера приведены результаты сравнения данных моделирования и наблюдений для агрометеостанции Никитский сад (табл. 6). Аналогичным образом было проведено сравнение смоделированных и фактических норм и для остальных трех метеостанций. Ярким цветом выделены случаи статистически значимых коэффициентов корреляции ( $p < 0,05$ ).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что средние значения, рассчитанные по моделям, систематически ниже, чем по данным наблюдений с отклонениями от  $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  в январе до  $4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  в апреле (табл. 6), а ансамбль из моделей в среднем дает более близкую к наблюдениям оценку, чем любая отдельно взятая модель. По результатам сравнения была выполнена коррекция данных моделирования с учетом систематической погрешности (ИКАРДА, 2015). Коэффициенты парной корреляции между наблюдаемой температурой и результатами моделирования по историческому эксперименту за совместный период с 1980 по 2005 год были низкими или – в единичных случаях – чуть более 0,5. Сходные результаты при оценке надежности моделей были получены и в недавних исследованиях (Кирилина и др., 2015; Лобанов и Тоцакова, 2016), причем при сравнении участков одного

временного ряда данных за различные совместные климатические периоды одни и те же модели имели разные коэффициенты корреляции, иногда противоположного знака. Низкие значения коэффициентов корреляции указывают на несовершенство климатических моделей, результаты которых заметно различаются. В связи с тем, что климатические модели недостаточно эффективно воспроизводят естественную межгодовую изменчивость, что может быть обусловлено спецификой локальных топографических, ландшафтных и иных условий ЮБК с его интенсивной естественной климатической изменчивостью, их пока можно использовать только для получения климатических средних за период (Лобанов, Тошачова, 2016).

Таблица 6

Результаты сравнения данных наблюдений и моделирования за совместный период по агрометеостанции Никитский сад

Месяцы	$\Delta t$	Модели					
		BCC- CSM1.1(m)	BCC- CSM1.1	IPSL- CM5A-LR	MIROC- ESM-CHEM	MPI-ESM- MR	Ансамбль моделей
Январь	-5,7	0,11	0,24	0,07	0,24	0,30	<b>0,44</b>
Февраль	-5,2	0,08	0,01	-0,19	0,12	0,13	0,14
Март	-4,5	0,02	0,22	-0,09	0,14	-0,12	-0,12
Апрель	-4,3	0,30	-0,12	<b>0,40</b>	0,33	0,27	<b>0,43</b>
Май	-4,6	<b>0,42</b>	0,26	-0,14	0,13	-0,36	0,13
Июнь	-4,7	-0,08	-0,32	-0,06	-0,02	-0,23	-0,16
Июль	-5,1	0,35	0,16	0,36	0,11	0,21	<b>0,44</b>
Август	-5,3	<b>0,47</b>	0,14	<b>0,49</b>	-0,11	0,03	<b>0,41</b>
Сентябрь	-5,1	0,02	-0,18	0,33	0,04	0,01	0,09
Октябрь	-5,1	-0,11	0,28	0,20	-0,26	-0,05	-0,10
Ноябрь	-5,2	0,37	0,32	<b>0,53</b>	0,02	-0,32	0,35
Декабрь	-5,5	-0,31	0,11	-0,27	-0,07	-0,23	-0,28

В результате проведенных исследований была дана оценка изменений будущего климата ЮБК. Для сопоставимости результатов расчетов с данными ГГО будущие значения температуры приземного воздуха для территории ЮБК, полученные по четырем метеостанциям и осредненные за 20-летние периоды до конца XXI века (2021–2040 гг., 2041–2060 гг., 2061–2080 гг. и 2081–2099 гг.), были оценены по отношению к базовому климатическому периоду с 1981 по 2000 год. Оценка производилась по трем основным сценариям: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 (табл. 7–10).

Уточненные оценки изменения температуры на территории Южного берега Крыма, полученные нами по 5 моделям, включенным в мультимодельный ансамбль, хорошо согласуются с сезонными тенденциями, выявленными ГГО для Крыма. По наиболее реалистичному сценарию – RCP4.5, для середины (2041–2060 гг.) XXI века относительно базового климатического периода с 1981 по 2000 год на ЮБК наибольший рост температур ожидается в июле – сентябре в западной и центральной частях – на 2,0–2,3 °С, на восточной границе – на 2,2–2,5 °С. Наименьший рост температур до середины XXI века предполагается в декабре и феврале – апреле – на 1,2–1,7 °С. Во второй половине XXI века наиболее интенсивно будут расти температуры в мае и в сентябре – на 0,8–1,1 °С к периоду с 2081 по 2099 год, а наименее – в зимние месяцы (примерно на 0,5 °С) в западной и в центральной частях ЮБК. На восточной границе в районе Алушты наименьший рост температур с 2041–2060 годов до 2081–2099 годов предполагается в мае и в сентябре – всего на 0,3–0,4 °С. В последнем 20-летии века, по сценарию RCP4.5, будет отмечена стабилизация температур практически во все месяцы, за исключением апреля и августа, где температура должна вырасти еще на 0,5–0,7 °С. По самому неблагоприятному сценарию – RCP8.5,

Таблица 7

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха (°С) на агрометеостанции Никитский сад до конца XXI века по отношению к норме за период с 1981–2000 год

Месяцы	Норма 1981–2000 гг.	2021–2040 гг.			2041–2060 гг.			2061–2080 гг.			2081–2099 гг.		
		Климатические сценарии											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	3,4	1,3	1,3	1,9	1,9	1,8	2,7	1,6	2,3	3,6	1,8	2,3	4,5
II	2,8	1,1	1,1	1,7	1,6	1,6	2,6	1,6	2,0	3,4	1,7	2,1	4,3
III	5,0	1,1	1,0	1,6	1,5	1,6	2,5	1,4	1,9	3,2	1,7	2,2	4,3
IV	10,3	1,1	1,0	1,3	1,4	1,5	2,1	1,5	1,7	3,1	1,2	2,4	4,0
V	15,3	1,3	1,4	1,2	1,7	1,9	2,3	1,6	2,2	3,2	1,7	2,5	4,1
VI	19,6	1,2	1,3	1,1	1,7	2,0	2,2	1,6	2,3	3,4	1,6	2,8	4,5
VII	23,1	1,7	1,7	1,7	2,1	2,3	2,8	2,1	2,8	4,3	2,0	3,0	5,3
VIII	23,0	1,7	1,5	1,8	1,9	2,0	2,9	1,9	2,5	4,5	2,0	3,1	5,5
IX	18,2	1,5	1,6	1,9	1,7	2,3	3,0	2,0	2,5	4,2	2,0	2,9	5,4
X	13,2	1,5	1,4	1,7	1,7	2,1	2,7	1,7	2,4	3,9	1,7	2,7	5,0
XI	7,9	1,3	1,2	1,8	1,5	1,7	2,6	1,5	2,1	3,5	1,7	2,4	4,6
XII	5,0	0,8	0,7	1,5	1,2	1,4	2,4	1,2	1,8	3,2	1,3	1,9	4,2

Примечание к таблице. Климатические сценарии: 1 – RCP2.6; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5.

Таблица 8

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха (°С) на гидрометеостанции Ялта до конца XXI по отношению к норме 1981–2000 годов

Месяцы	Норма 1981–2000 гг.	2021–2040 гг.			2041–2060 гг.			2061–2080 гг.			2081–2099 гг.		
		Климатические сценарии											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	4,3	1,1	1,1	1,7	1,7	1,6	2,4	1,4	2,0	3,4	1,6	2,1	4,3
II	3,6	1,2	1,2	1,8	1,7	1,7	2,6	1,6	2,0	3,5	1,7	2,2	4,4
III	5,7	1,2	1,1	1,7	1,6	1,7	2,6	1,5	2,0	3,3	1,8	2,3	4,4
IV	10,6	1,1	1,0	1,2	1,4	1,4	2,0	1,4	1,7	3,0	1,2	2,3	3,9
V	15,5	1,2	1,4	1,2	1,7	1,9	2,2	1,5	2,1	3,1	1,6	2,5	4,1
VI	20,2	1,2	1,4	1,2	1,8	2,1	2,2	1,6	2,4	3,5	1,7	2,8	4,6
VII	23,6	1,8	1,8	1,7	2,1	2,3	2,8	2,2	2,8	4,4	2,0	3,0	5,4
VIII	23,5	1,6	1,5	1,7	1,9	2,0	2,9	1,8	2,5	4,4	1,9	3,0	5,4
IX	18,8	1,5	1,6	1,9	1,7	2,3	3,0	2,0	2,5	4,2	2,0	2,9	5,3
X	13,8	1,5	1,4	1,6	1,6	2,1	2,6	1,6	2,4	3,9	1,7	2,7	4,9
XI	8,6	1,3	1,2	1,8	1,6	1,7	2,6	1,5	2,1	3,6	1,7	2,4	4,7
XII	5,8	0,9	0,7	1,5	1,3	1,4	2,4	1,2	1,8	3,2	1,3	2,0	4,2

Примечание к таблице. Климатические сценарии: 1 – RCP2.6; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5.

климатические нормы для середины XXI века в июле – сентябре увеличатся на 2,8–3,2 °С, а к концу века – почти на 5,3–5,7 °С. Наиболее интенсивный рост температур в эти месяцы

предполагается в 2061–2080 годы. Для остальных месяцев во второй половине XXI века отмечается равномерная тенденция роста температур в среднем на 0,9–1,1 °С за 20 лет.

Таблица 9

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха (°С) на метеостанции Алушта до конца XXI по отношению к норме 1981–2000 годов

Месяцы	Норма 1981–2000 гг.	2021–2040 гг.			2041–2060 гг.			2061–2080 гг.			2081–2099 гг.		
		Климатические сценарии											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	3,5	1,2	1,1	1,8	1,8	1,6	2,4	1,6	2,2	3,7	1,7	2,2	4,6
II	2,9	1,3	1,2	1,9	1,8	1,7	2,9	1,6	2,0	3,6	1,9	2,3	4,7
III	5,1	1,8	1,6	2,3	2,2	2,2	3,2	2,1	2,6	4,0	2,3	2,8	5,1
IV	10,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	2,1	1,4	1,7	3,2	1,1	2,4	4,0
V	15,0	1,2	1,4	1,2	1,7	1,9	2,3	1,6	2,2	3,2	1,6	2,3	4,1
VI	19,5	1,5	1,6	1,3	2,0	2,3	2,5	1,6	2,6	3,7	1,8	3,1	4,9
VII	23,1	1,9	1,9	1,7	2,1	2,4	2,9	2,1	2,8	4,5	1,9	3,0	5,6
VIII	22,8	1,8	1,7	1,8	2,0	2,2	3,1	1,9	2,6	4,7	2,0	3,2	5,7
IX	18,0	1,5	1,7	2,0	1,9	2,5	3,2	2,0	2,5	4,2	1,9	2,8	5,4
X	12,8	1,5	1,4	1,5	1,6	2,1	2,5	1,4	2,4	3,8	1,6	2,7	5,1
XI	7,5	1,3	1,3	1,8	1,7	1,8	2,8	1,7	2,4	3,7	1,8	2,5	4,7
XII	4,9	0,7	0,4	1,3	1,1	1,3	2,3	1,0	1,7	3,2	1,1	2,0	4,2

Примечание к таблице. Климатические сценарии: 1 – RCP2.6; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5.

Таблица 10

Сценарные оценки изменения норм температур воздуха (°С) на метеостанции Ай-Петри до конца XXI по отношению к норме 1981–2000 годов

Месяцы	Норма 1981–2000 гг.	2021–2040 гг.			2041–2060 гг.			2061–2080 гг.			2081–2099 гг.		
		Климатические сценарии											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	-3,3	1,1	1,1	1,7	1,7	1,6	2,4	1,4	2,0	3,4	1,6	2,1	4,3
II	-3,9	1,2	1,2	1,8	1,7	1,7	2,7	1,7	2,1	3,5	1,8	2,2	4,4
III	-1,0	1,1	1,0	1,6	1,5	1,6	2,4	1,4	1,8	3,2	1,7	2,1	4,2
IV	4,9	0,9	0,8	1,0	1,2	1,2	1,9	1,2	1,5	2,9	1,0	2,2	3,7
V	9,3	1,2	1,3	1,2	1,6	1,8	2,2	1,5	2,1	3,1	1,6	2,4	4,0
VI	13,0	1,1	1,3	1,0	1,7	2,0	2,1	1,5	2,3	3,4	1,6	2,7	4,5
VII	15,5	1,9	1,9	1,8	2,2	2,4	2,9	2,3	2,9	4,5	2,1	3,1	5,5
VIII	15,1	1,7	1,5	1,8	1,9	2,0	2,9	1,9	2,5	4,5	2,0	3,1	5,5
IX	10,8	1,4	1,5	1,8	1,6	2,2	2,9	1,9	2,4	4,1	1,9	2,8	5,3
X	6,8	1,4	1,4	1,6	1,6	2,1	2,6	1,6	2,3	3,9	1,6	2,6	4,9
XI	1,7	1,3	1,2	1,8	1,6	1,8	2,7	1,5	2,2	3,6	1,7	2,5	4,7
XII	-1,6	0,9	0,7	1,5	1,3	1,5	2,4	1,2	1,8	3,2	1,3	2,0	4,2

Примечание к таблице. Климатические сценарии: 1 – RCP2.6; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5.

Для наглядного сопоставления исторических и ожидаемых по различным сценариям климатических изменений в XXI веке для ЮБК была дополнительно проведена оценка этих

изменений по отношению к климатической норме 1961–1990 годов. Учитывая наличие единых временных закономерностей формирования климата на территории ЮБК, результаты приведены только по агрометеостанции Никитский сад (рис. 3).

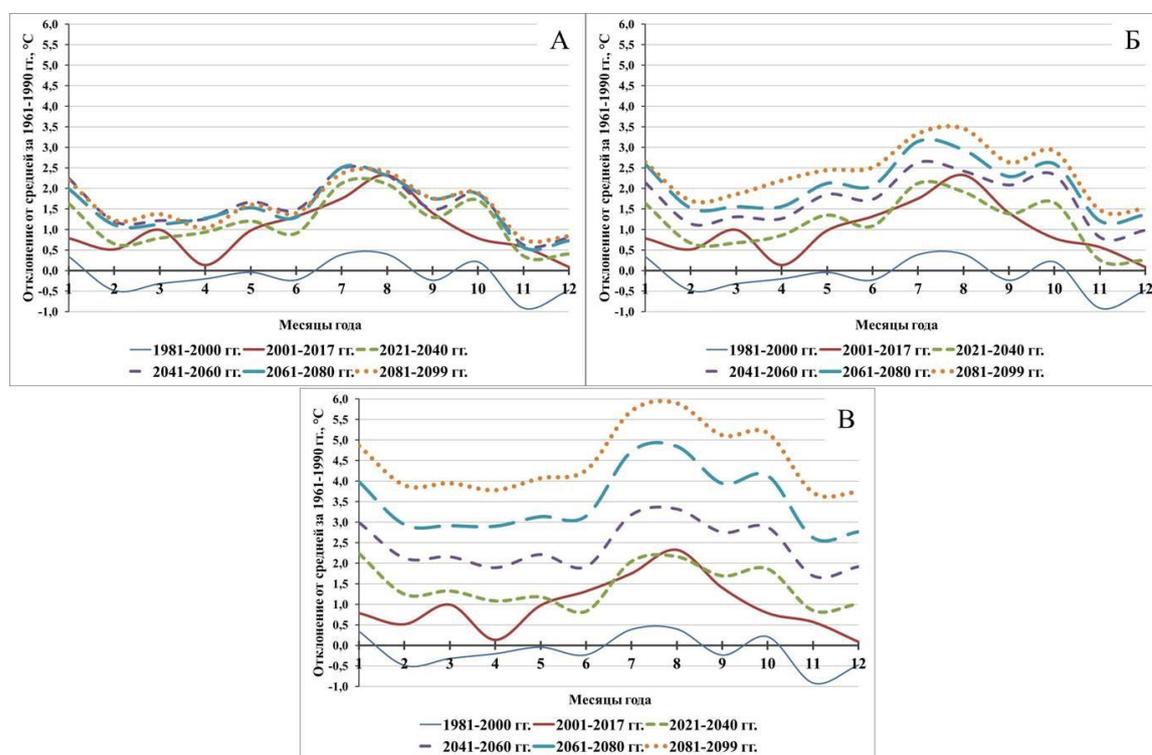


Рис. 3. Расчетные аномалии средней месячной температуры воздуха для Южного берега Крыма (по агрометеостанции Никитский сад) по сценарию RCP2.6 (А), RCP4.5 (Б), RCP8.5 (В) до конца XXI века по сравнению с нормой за 1961–1990 годы

Если вместо климатической нормы 1961–1990 годов рассматривать период за последние 17 лет с 2001 по 2017 год (табл. 2), то последующие нормы отдельных 20-леток XXI века мало будут от него отличаться. При этом по всем RCP сценариям уже в 2021–2040 годы должна вырасти температура воздуха в январе, апреле и октябре. Для наиболее оптимистичного сценария – RCP2.6 предполагается фактический рост температур только в отдельные месяцы (январь, апрель, октябрь) и в только первый период (с 2021 по 2040 год) (на 0,8–0,9 °С), а для марта, июня, августа и ноября ожидается даже небольшое снижение (примерно на 0,2–0,4 °С). В дальнейшем ожидается некоторая стабилизация климатических норм температур до конца века. По наиболее реалистичному сценарию – RCP4.5, в 2021–2040 годы также предполагается аналогичный рост температур в январе, апреле и в октябре (на 0,8–0,9 °С), и снижение их в марте, июне, августе и в ноябре (на 0,2–0,4 °С). В середине XXI века (2041–2060 гг.) ожидается относительно равномерный небольшой рост температур во все месяцы года в пределах 0,4–0,7 °С. В последующем двадцатилетии темпы потепления заметно снижаются и не превышают 0,2–0,5 °С. В конце XXI века предполагается возобновление роста температур, но преимущественно только в теплый период – с апреля по октябрь. Климатическая норма зимних температур в последнем двадцатилетии практически не изменится. По жесткому сценарию – RCP8.5 в период с 2021 по 2040 год норма температур должна вырасти в декабре и в апреле на 0,9 °С, октябрь – на 1,1 °С, а в январе – на 1,4 °С и немного снизиться в июне (на 0,5 °С). В дальнейшем ожидается стабильный рост температур во все месяцы года. К концу XXI века в сравнении с нормой 1961–1990 годов максимальное повышение температур будет наблюдаться в июле –

октябре и достигнет 5,1–5,9 °С. Наименьший рост температур ожидается в ноябре, декабре и апреле (на 3,7–3,8 °С). В сравнении с периодом 2001–2017 годов к концу XXI века максимально вырастут температуры в октябре (на 4,4 °С) и в январе (на 4,1 °С), а минимально – в июне (на 2,9 °С) и марте (на 3,0 °С).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам климатических исследований проведен анализ данных о прошлых, современных и ожидаемых в будущем изменениях температуры воздуха на территории Южного берега Крыма. На основании ансамблевой климатической проекции и наиболее реалистического климатического сценария – RCP4.5 получены численные оценки изменения температуры до конца XXI века. С 2021 по 2040 год на ЮБК ожидается сохранение температур в отдельные месяцы на уровне 2001–2017 годов. При этом предполагаются рост температур в январе, апреле и в октябре (примерно на 1 °С) и небольшое снижение их в марте, июне, августе и в ноябре (менее 0,5 °С). В середине столетия следует ожидать равномерного небольшого роста температур во все месяцы года (в пределах 0,5–1 °С). В конце столетия ожидается незначительное повышение температур только в теплый период года при стабилизации в холодный период. Наибольший прирост температур по отношению к климатической норме 1961–1990 годов при наиболее неблагоприятном сценарии RCP8.5 следует ожидать в июле – октябре – до 5–6 °С, наименьший – в ноябре, декабре и апреле (на 3,5–4 °С).

В настоящее время ведется тестирование доступа к данным новых усовершенствованных результатов моделирования, представленных в проекте CMIP6. В данной фазе проекта реализованы некоторые конфигурации моделей с глобальным разрешением 25 км, что лучше региональных разрешений, используемых лишь несколько лет назад (Eyring et al., 2015), и вероятно, позволит снизить систематические погрешности моделей, а также уменьшить неопределенность, обусловленную климатическими проекциями.

Представленные в работе результаты и подходы к многомерной обработке метеорологических данных можно использовать для изучения и сценарных оценок будущего состояния окружающей среды в условиях глобального изменения климата, а также для разработки мероприятий по адаптивному пространственно-временному природопользованию.

**Благодарности.** Автор выражает признательность П. Б. Корсакову (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», начальник агрометеорологической станции Никитский сад) за помощь при обработке климатических данных моделирования CMIP5.

## Список литературы

- Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 6. – С. 95–107.
- Анисимов О. А., Жильцова Е. Л., Кокорев В. А. Пространственные и временные закономерности динамики температуры воздуха на территории России в 20 – начале 21 века // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2011. – Т. 24. – С. 83–98.
- Анисимов О. А., Кокорев В. А. Об оптимальном выборе гидродинамических моделей для оценки влияния изменений климата на криосферу // Лед и снег. – 2013. – Т. 121. – № 1. – С. 83–92.
- Башарин Д. В., Полонский А. Б., Станкунавичус Г. Вероятные изменения в поле температуры и осадков в Европе к концу текущего столетия // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2013. – № 27. – С. 174–178.
- Гаркуша Л. Я., Багрова Л. А., Позаченюк Е. А. Разнообразие ландшафтов Крыма со средиземноморскими элементами флоры // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География». – 2012. – Т. 25 (64), № 2. – С. 36–47.
- Дидух Я. П. Растительный покров Горного Крыма. – К.: Наукова думка, 1992. – 294 с.

- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – М.: Росгидромет, 2017. – 70 с.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / [ред. В. М. Катцов]. – СПб.: Росгидромет, 2017. – 106 с.
- Дымников В. П., Лыкосов В. Н., Володин Е. М. Моделирование климата и его изменений: Современные проблемы // Вестник РАН. – 2012. – Т. 82, № 3. – С. 227–236.
- Ефимов В. В., Володин Е. М., Анисимов А. Е. Моделирование изменений климата в Черноморском регионе в XXI столетии // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 2 (182). – С. 3–14.
- Земельный фонд АРК [Электронный ресурс]. – 2010. Режим доступа: <http://kadastrua.ru/zemelnyj-kadastr/563-zemelnyj-fond-ark.html>.
- ИКАРДА. Загрузка прогностических метеорологических данных с сайтов Earth System Grid Federation (ESGF) [Электронный ресурс] // ИКАРДА (Международный центр по сельскохозяйственным исследованиям в засушливых зонах). 2015. 24 с. Режим доступа: [http://cac-program.org/files/Manual\\_on\\_CC\\_data\\_downloading\\_and\\_processing\\_ru.pdf](http://cac-program.org/files/Manual_on_CC_data_downloading_and_processing_ru.pdf)
- Кириллина К. С., Лобанов В. А., Сердитова Н. Е. Оценка будущего климата республики Саха (Якутия) // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2015. – № 40. – С. 113–126.
- Коба В. П., Жигалова Т. П. Климатические факторы и динамика пожаров в лесах Горного Крыма // Лесоведение. – 2014. – № 2. – С. 52–58.
- Лобанов В. А., Тошачева Г. Г. Методика оценки будущих региональных температурных условий (на примере Костромской области) // Географический вестник Пермского ГНИУ. – 2016. – Т. 1 (36). – С. 58–69.
- Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.
- Официальный сайт ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». Раздел «Изменения климата в России в 21 веке (модели CMIP 5)» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>.
- Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России / [В. А. Говоркова, В. М. Катцов, В. П. Мелешко и др.] // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 8. – С. 5–20.
- Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tp5.ru> (дата обращения: 14.02.2018).
- Проскуряков М. А. Проблема хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 71–84.
- An emission pathway for stabilization at 6 Wm<sup>-2</sup> radiative forcing / [T. Masui, K. Matsumoto, I. Hijioka et al.] // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109, N 1–2. – P. 59–76.
- An Overview of BCC Climate System Model Development and Application for Climate Change Studies / [T. Wu, L. Song, W. Li et al.] // J. Meteorol. Res. – 2014. – Vol. 28, N 1. – P. 34–56. DOI: 10.1007/s13351-014-3041-7
- Araújo M. B., New M. Ensemble forecasting of species distributions // Trends in Ecology and Evolution. – 2007. – Vol. 22, Iss. 1. – P. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>
- Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5 / [M. A. Giorgetta, J. Jungclaus, C. H. Reick et al.] // J. Adv. Model. Earth Syst. – 2014. – Vol. 5, N 3. – P. 572–597.
- Climate change projections over East Asia with BCC CSM1.1 climate model under RCP scenarios / [X. Xin, L. Zhang, J. Zhang et al.] // J. Meteorol. Soc. Jpn.. – 2013. – Vol 91, N 4. – P. 413–429.
- Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5 / [J.-L. Dufresne, M.-A. Foujols S. Denvil et al.] // Clim. Dyn. – 2012. – Vol 40, N 9–10. – P. 2123–2165.
- Convective control of ENSO simulated in MIROC / [M. Watanabe, M. Chikira, Y. Imada, M. Kimoto] // J. Clim. – 2011. – Vol 24, N 2. – P. 543–562.
- Evaluation of Climate Models / [G. Flato, J. Marotzke, B. Abiodun et al.] In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / [Eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al.]. – Cambridge, UK and NY, USA: Cambridge University Press, 2013. – Chapter 9. – P. 741–866.
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / [Eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al.]. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.
- Marmion M., Parviainen M., Luoto M., Heikkinen R. K., Thuiller W. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling // Diversity and Distributions. – 2009. – Vol. 15. P. 59–69. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x>
- Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization / [V. Eyring, S. Bony, G. A. Meehl et al.] // Geosci. Model Dev. Discuss. – 2015. – Vol. 8. – P. 10539–10583. DOI: 10.5194/gmdd-8-10539-2015.
- Ramirez J., Jarvis A. Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. International Center for Tropical Agriculture (CIAT). – Cali: CO, 2010. – 18 p.

Ramirez J., Jarvis A. High resolution statistically downscaled future climate surfaces. International Center for Tropical Agriculture (CIAT); CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) [Электронный ресурс]. – 2008. Режим доступа: <http://ccafs-climate.org/data/>. (дата обращения: 7.02.2018, 4.07.2018)

RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C / [D. P. van Vuuren, E. Stehfest, M. G. J. den Elzen et al. // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109, N 1–2. – P. 95–116.

RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100 / [A. M. Thomson, K. V. Calvin, S. J. Smith et al. // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109, N 1–2. – P. 77–94.

RCP 8.5 – A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions / [K. Riahi, S. Rao, V. Krey, et al.] // Climatic Change. – 2011. – Vol. 109, N 1–2. – P. 33–57.

Ruane A. C., Goldberg R., Chryssanthacopoulos J. Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation // Agricultural and Forest Meteorology. – 2015. – Vol. 200. P. 233–248.

The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / [D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons et al.] // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2011. – Vol. 137. – N. 656. – P. 553–597.

Wolkovich E. M., Cleland E. E. Phenological niches and the future of invaded ecosystems with climate change // AoB PLANTS 6. – 2014. – plu013; doi:10.1093/aobpla/plu013.

**Korsakova S. P. The evaluation of future climate change in the Southern coast of the Crimea // Ekosistemy. 2018. Iss. 15 (45). P. 151–165.**

The probable climate changes the temperature regime in the future in the Southern coast of the Crimea according to the predictive calculations in the framework of the CMIP5 models project for the three main climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5) up to 2100 were analyzed in this paper. For the most dramatic climate scenario RCP8.5 the highest temperature increase, relative to the mean for the 1961–1990 period should be expected in July – October – up to 5–6 °C, the lowest – in November, December and April (up to 3.5–4 °C). For the most realistic climate scenario RCP4.5 compared with the first decades of the XXI century in 2021–2040, it is assumed that temperatures will increase in January, April and October (about 1 °C) and a slight decrease in March, June, August and November (less than 0.5 °C). In the middle of the century, we should expect further uniform temperature increases in all months of the year (within 0.5–1 °C). In the last twenty years of the XXI century, temperatures are expected to stabilize during the cold period of the year while maintaining a small increase in the warm period (about 0.5 °C) of the year.

*Key words:* Climate change, ensemble climatic projections, air temperature, modeling, Southern coast of the Crimea.

*Поступила в редакцию 23.06.18*