

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 63:551.5

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105

Сравнение многолетних метеорологических характеристик по данным реанализа и наземных наблюдений на территории Московской области

Евгений Эдуардович Головинов¹, Наталья Александровна Васильева²

^{1, 2}Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

¹Evgeny@Golovinov.info, <https://orcid.org/0000-0002-7035-8046>

²natali607@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8660-044X>

Аннотация. Цель: провести сравнительный анализ метеорологических характеристик (среднемесячных осадков и среднемесячной температуры воздуха) на территории Московской области по данным реанализа ERA5-Land Copernicus (C3S) и стационарных метеостанций. **Материалы и методы.** Использованы данные, полученные с 11 метеорологических станций, находящихся в разных районах Московской области, за период с апреля по сентябрь 2000–2020 гг., а также данные климатических архивов, которые основаны на регулярных метеорологических наблюдениях, аэрологической и спутниковой информации. Проведено сопоставление среднемесячных значений температуры воздуха и среднемесячных осадков за вегетационный период ведущих сельскохозяйственных культур, представлено отклонение данных по результатам реанализа от фактических данных, рассчитаны коэффициенты корреляции, также представлен результат расчета коэффициента корреляции Пирсона, показано преимущество данных реанализа. **Результаты:** проведенные расчеты показали, что распределение среднемесячной температуры и осадков отличается от данных наблюдений в незначительной степени, это можно объяснить особенностями определения координат метеостанции относительно узлов сетки реанализа. **Выводы.** Данные реанализа ERA5-Land пригодны для определения основных метеорологических характеристик в тех районах, где отсутствуют стационарные метеорологические станции либо доступ к их данным затруднен. Значения реанализа в целом достаточно хорошо отображают изменчивость температуры воздуха и осадков на исследуемой территории Московской области относительно показателей, полученных путем наземных наблюдений. Данные ERA5-Land могут быть дополнены и применены в различных областях исследований, таких как составление климатического прогноза, составление прогнозов урожайности с использованием агроклиматических показателей, планирование режимов орошения или осушения и пр.

Ключевые слова: агрометеорология, данные метеонаблюдений, реанализ метеорологических данных, информационные технологии, ГИС-технологии, мониторинг земель, землеустройство, аэрофотоснимки

Для цитирования: Головинов Е. Э., Васильева Н. А. Сравнение многолетних метеорологических характеристик по данным реанализа и наземных наблюдений на территории Московской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 3. С. 92–105. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Comparison of long-term meteorological characteristics based on reanalysis and ground observations data in Moscow region

Evgeniy E. Golovinov¹, Natalia A. Vasileva²

^{1, 2}All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

¹Evgeny@Golovinov.info, <https://orcid.org/0000-0002-7035-8046>

²natali607@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8660-044X>

Abstract. Purpose: to carry out a comparative analysis of meteorological characteristics (average monthly precipitation and average monthly air temperature) on Moscow region territory based on the ERA5-Land Copernicus (C3S) reanalysis data and stationary weather stations. **Materials and methods.** Data obtained from 11 weather stations located in different districts of Moscow region from April to September 2000–2020, as well as data from climate archives based on regular meteorological observations, aerologic and satellite information was used. A comparison of the average monthly air temperature and precipitation for the growing season of main agricultural crops was carried out, the data deviation based on the reanalysis results from the actual data was presented, the correlation coefficients were calculated, the result of calculating the Pearson correlation coefficient was presented, and the advantage of the reanalysis data was shown. **Results:** the calculations obtained showed that the distribution of average monthly temperature and precipitation differs slightly from the observation data, which can be explained by the peculiarities of determining the coordinates of the weather station relative to the reanalysis grid nodes. **Conclusions.** ERA5-Land reanalysis data are suitable for determining the main meteorological characteristics in those areas where there are no stationary weather stations or access to their data is difficult. The reanalysis values as a whole reflect the variability of air temperature and precipitation in the study area of Moscow region quite well relative to the indicators obtained by ground-based observations. ERA5-Land data can be supplemented and applied in various fields of research, such as climate forecasting, yield forecasting using agro-climatic indicators, irrigation or drainage planning, etc.

Keywords: agrometeorology, meteorological observation data, meteorological data reanalysis, information technology, GIS technology, land monitoring, land management, aerial photographs

For citation: Golovinov E. E., Vasileva N. A. Comparison of long-term meteorological characteristics based on reanalysis and ground observations data in Moscow region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(3):92–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105>.

Введение. Для оценки происходящих климатических изменений на обширной территории Московской области и использования этих данных с целью дополнения математических моделей прогнозирования урожайности требуется подробная климатическая информация. Однако из-за недостаточного количества метеорологических станций и закрытости информации возникают трудности с получением данных.

При оценке климатических условий интересующей местности можно использовать данные наземных пунктов наблюдения метеорологической сети. Однако если вблизи исследуемого района нет метеорологической станции или имеющиеся на ней данные недоступны для исследователей или неполны, то оценка климатических условий исследуемого района может быть затруднена или невозможна. Одним из вариантов решения проблемы получения данных об отдельных метеорологических характеристиках является использование данных атмосферного реанализа [1, 2].

Реанализ – это динамически разглаженные и согласованные данные определенного набора архивных наблюдений, полученные при помощи моделей с фиксированной конфигурацией.

Данные реанализа представляют собой результаты расчетов глобальных моделей циркуляции атмосферы при реальных начальных и граничных условиях, основанных на регулярных метеорологических наблюдениях, спутниковой и аэрологической информации [3, 4]. Чтобы оценить, насколько хорошо реанализ описывает изменчивость климата в течение длительного периода, необходимо сравнить его с данными, полученными на стационарных метеостанциях.

Цель работы – провести сравнительный анализ данных инструментальных наблюдений на метеостанциях, находящихся на территории Московской области, и данных реанализа ERA5-Land.

Материалы и методы. В работе были использованы среднемесячные значения температуры воздуха и осадков за вегетационный период ведущих сельскохозяйственных культур на 11 метеорологических станциях, находящихся в Московской области, полученные по данным наблюдений и литературным источникам. На основе этих данных были проанализированы среднемесячные температуры воздуха и осадков для каждой метеостанции за период с 1999 по 2020 г.

Данные реанализа метеорологических условий территории Москов-

ской области были получены из международного климатического проекта Copernicus.

Copernicus – это программа Европейского союза по наблюдению за Землей, направленная на изучение нашей планеты и ее окружающей среды в интересах всех граждан Европы. Он предлагает информационные услуги, основанные на данных спутникового наблюдения Земли и данных на месте (не из космоса) [5, 6].

Программой управляет Европейская комиссия. Она реализуется в партнерстве с государствами-членами, Европейским космическим агентством (ЕКА), Европейской организацией по эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT), Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), агентствами ЕС и Mercator Ocean.

Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), созданный в рамках службы Copernicus по изменению климата (C3S) Европейской комиссии, продолжает расширенный глобальный набор базы данных для наземного компонента пятого поколения европейского повторного анализа (ERA5), далее именуемого как ERA5-Land.

Огромные объемы глобальных данных со спутников и наземных, воздушных и морских измерительных систем предоставляют информацию, которая помогает поставщикам услуг, государственным органам и другим международным организациям улучшать качество жизни граждан Европы и за ее пределами. Предоставляемые информационные услуги являются бесплатными и открыто доступными для пользователей.

Система содержит множество баз данных, полученных по различным климатическим моделям. Для обозначенных задач была выбрана база данных ERA5-Land.

Результаты и обсуждение

Сравнение среднемесячных данных о температуре и осадках

Данные реанализа сопоставлялись с данными 11 метеорологических

станций (рисунок 1) в разных частях Московской области: ст. Дмитров (широта: $56^{\circ}35'$, долгота: $37^{\circ}57'$), ст. Коломна (широта: $55^{\circ}13'$, долгота: $38^{\circ}73'$), ст. Клин (широта: $56^{\circ}35'$, долгота: $36^{\circ}75'$), ст. Наро-Фоминск (широта: $55^{\circ}38'$, долгота: $36^{\circ}70'$), ст. Волоколамск (широта: $56^{\circ}02'$, долгота: $35^{\circ}93'$), ст. Черусти (широта: $55^{\circ}55'$, долгота: $40^{\circ}02'$), ст. Внуково (широта: $55^{\circ}60'$, долгота: $37^{\circ}29'$), ст. Ново-Иерусалим (широта: $55^{\circ}90'$, долгота: $36^{\circ}82'$), ст. Серпухов (широта: $54^{\circ}93'$, долгота: $37^{\circ}47'$), ст. Павловский Посад (широта: $55^{\circ}77'$, долгота: $38^{\circ}68'$), ст. Можайск (широта: $55^{\circ}52'$, долгота: $36^{\circ}00'$), ст. Домодедово (широта: $55^{\circ}40'$, долгота: $37^{\circ}90'$).

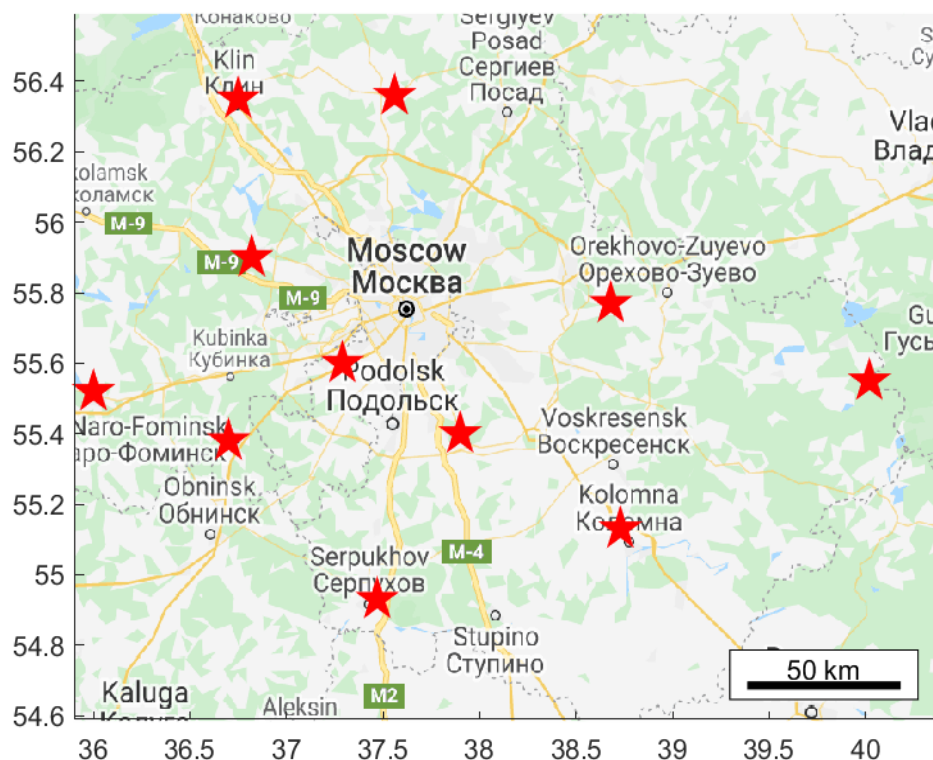


Рисунок 1 – Расположение метеостанций в районе исследования
Figure 1 – Location of weather stations in the study area

Для примера (таблицы 1–6) представлены среднемесячные температуры воздуха и количество осадков по ст. Коломна в сравнении с данными реанализа за период 2000–2020 гг.

Оценка точности проводилась путем сравнения результатов наземных наблюдений с данными, полученными в узлах сетки реанализа, находящихся наиболее близко к соответствующим метеостанциям [7].

Таблица 1 – Среднемесячная температура воздуха по ст. Коломна, данные наземных наблюдений

Table 1 – Average monthly air temperature at Kolomna station, ground-based observation data

Год	Данные метеостанции. Температура, °С					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2000	9,79	11,27	16,18	19,86	16,85	9,68
2001	10,46	10,89	17,00	22,22	16,23	12,28
2002	7,53	12,25	16,92	22,29	16,60	10,85
2003	4,92	14,78	13,26	20,54	16,61	11,08
2004	4,09	11,75	15,30	19,23	18,40	11,71
2005	6,73	15,32	16,26	19,42	16,82	12,44
2006	5,76	12,74	18,14	17,78	17,68	12,89
2007	5,29	16,27	16,95	19,09	20,08	11,75
2008	9,52	10,90	15,73	19,10	17,59	10,77
2009	4,66	14,63	17,61	19,16	15,87	13,27
2010	8,44	16,83	19,06	26,30	20,98	11,46
2011	6,27	15,23	18,67	22,52	18,82	11,39
2012	7,57	15,01	17,29	20,84	16,99	12,68
2013	5,81	17,09	19,46	18,84	17,90	9,80
2014	6,85	15,83	15,90	20,35	18,14	11,76
2015	5,94	14,56	17,72	17,86	16,97	13,54
2016	7,63	14,63	17,75	20,96	19,11	10,73
2017	6,09	9,80	14,83	18,26	18,26	12,21
2018	7,74	15,28	17,50	20,57	19,02	13,51
2019	7,53	16,43	18,75	16,19	16,37	11,32
2020	4,20	11,57	18,66	19,00	17,38	13,03

Таблица 2 – Среднемесячная температура воздуха по ст. Коломна, данные ERA5-Land

Table 2 – Average monthly air temperature at Kolomna station, ERA5-Land data

Год	ERA5-Land. Температура, °С					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2000	10,80	10,90	16,00	19,10	17,00	10,10
2001	10,10	11,80	16,80	23,10	17,20	12,00
2002	6,70	13,00	17,70	22,80	17,10	11,90
2003	4,40	15,50	13,20	20,40	17,20	11,50
2004	4,60	11,90	15,70	19,10	18,60	12,60
2005	6,40	15,90	16,70	19,10	17,50	13,10
2006	5,50	12,50	18,60	18,10	17,60	13,20
2007	6,00	16,20	17,40	19,40	20,50	11,90
2008	9,70	11,70	16,00	19,50	18,50	11,10
2009	4,80	14,00	18,00	19,40	16,10	14,20
2010	7,80	17,00	19,10	25,40	21,70	11,70
2011	5,50	14,80	19,10	23,00	19,10	12,20
2012	7,70	15,60	17,50	20,90	17,90	12,60

Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5	6	7
2013	5,80	17,20	19,50	19,10	18,20	10,40
2014	6,70	15,80	16,00	20,30	18,90	12,00
2015	5,90	14,70	18,10	18,40	17,20	14,00
2016	8,20	14,50	18,20	20,90	19,60	11,20
2017	5,80	10,90	14,80	17,90	18,50	12,70
2018	7,30	16,10	17,10	20,40	19,20	14,20
2019	7,40	16,20	19,50	16,90	16,30	12,10
2020	4,80	11,80	18,40	19,40	17,10	13,50

Таблица 3 – Отклонение данных о температуре приземного слоя атмосферы на высоте 2 м по метеостанции г. Коломна и коэффициент корреляции Пирсона

Table 3 – Data deviation on the temperature of the ground layer at a height of 2 m at Kolomna weather station and Pearson's correlation coefficient

Год	Отклонение. Температура, °С						Коэффициент корреляции Пирсона (r)
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
2000	1,01	0,37	0,18	0,76	0,15	0,42	0,99340
2001	0,36	0,91	0,20	0,88	0,97	0,28	0,99218
2002	0,83	0,75	0,78	0,51	0,50	1,05	0,99412
2003	0,52	0,72	0,06	0,14	0,59	0,42	0,99683
2004	0,51	0,15	0,40	0,13	0,20	0,89	0,99857
2005	0,33	0,58	0,44	0,32	0,68	0,66	0,99472
2006	0,26	0,24	0,46	0,32	0,08	0,31	0,99883
2007	0,71	0,07	0,45	0,31	0,42	0,15	0,99899
2008	0,18	0,80	0,27	0,40	0,91	0,33	0,99754
2009	0,14	0,63	0,39	0,24	0,23	0,93	0,99521
2010	0,64	0,17	0,04	0,90	0,72	0,24	0,99574
2011	0,77	0,43	0,43	0,48	0,28	0,81	0,99668
2012	0,13	0,59	0,21	0,06	0,91	0,08	0,99689
2013	0,01	0,11	0,04	0,26	0,30	0,60	0,99921
2014	0,15	0,03	0,10	0,05	0,76	0,24	0,99806
2015	0,04	0,14	0,38	0,54	0,23	0,46	0,99951
2016	0,57	0,13	0,45	0,06	0,49	0,47	0,99848
2017	0,29	1,10	0,03	0,36	0,24	0,49	0,99368
2018	0,44	0,82	0,40	0,17	0,18	0,69	0,99320
2019	0,13	0,23	0,75	0,71	0,07	0,78	0,99388
2020	0,60	0,23	0,26	0,40	0,28	0,47	0,99861

**Таблица 4 – Среднемесячное количество осадков по ст. Коломна,
данные наземных наблюдений**

**Table 4 – Average monthly precipitation at Kolomna station,
ground-based observation data**

Год	Данные метеостанции. Осадки, мм					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2000	33,64	37,31	83,13	109,80	94,05	54,77
2001	32,01	132,02	94,18	74,38	54,53	48,96
2002	28,16	20,43	68,41	50,89	16,26	106,67
2003	57,27	54,42	98,80	62,27	136,23	67,71
2004	48,63	60,33	117,81	125,57	56,14	45,26
2005	69,19	86,40	140,20	81,35	44,64	23,15
2006	48,67	77,66	55,83	64,44	146,06	38,57
2007	32,63	42,24	39,69	92,27	89,77	71,24
2008	54,95	84,14	77,44	139,99	91,40	48,19
2009	25,78	48,02	49,74	108,57	83,21	36,33
2010	26,52	77,61	55,93	14,85	72,28	49,44
2011	55,47	31,07	61,74	83,45	51,12	77,53
2012	69,42	46,74	86,72	55,21	124,16	63,22
2013	41,14	75,33	47,04	98,53	95,98	166,83
2014	28,91	71,46	91,76	12,26	54,76	34,21
2015	78,91	82,58	94,21	58,08	18,12	56,17
2016	44,44	45,18	96,68	65,71	134,19	60,03
2017	62,79	75,90	97,34	87,64	44,24	31,88
2018	51,65	22,59	48,42	69,56	26,66	53,94
2019	30,77	48,65	67,53	81,71	93,21	36,29
2020	42,57	110,65	79,98	104,99	32,44	49,35

**Таблица 5 – Среднемесячное количество осадков по ст. Коломна,
данные ERA5-Land**

**Table 5 – Average monthly precipitation at Kolomna station,
ERA5-Land data**

Год	ERA5-Land. Осадки, мм					
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
1	2	3	4	5	6	7
2000	29,00	12,00	111,00	106,00	38,00	53,00
2001	22,00	82,00	39,00	54,00	50,00	44,00
2002	47,00	22,00	34,00	18,00	13,00	145,00
2003	43,00	38,00	82,00	48,00	140,00	74,00
2004	46,00	63,00	63,00	127,00	18,00	28,00
2005	63,00	48,00	135,00	59,00	38,00	4,00
2006	36,00	61,00	70,00	27,00	155,00	31,00
2007	15,00	25,00	41,00	70,00	60,00	88,00
2008	23,00	75,00	94,00	180,00	79,00	38,00
2009	17,00	44,00	42,00	60,00	85,00	32,00
2010	20,00	33,00	46,00	16,00	77,00	49,00
2011	46,00	40,00	21,00	42,00	48,00	64,00

Продолжение таблицы 5

Table 5 continued

1	2	3	4	5	6	7
2012	95,00	24,00	206,00	20,00	63,00	60,00
2013	43,00	78,00	30,00	128,00	90,00	195,00
2014	14,00	63,00	98,00	2,00	27,00	19,00
2015	59,00	95,00	106,00	65,00	19,00	30,00
2016	35,00	72,00	48,00	67,00	198,00	44,00
2017	30,00	63,00	67,00	85,00	68,00	27,00
2018	55,00	49,00	30,00	91,00	21,00	34,00
2019	37,00	54,00	58,00	56,00	73,00	16,00
2020	25,00	90,00	122,00	109,00	40,00	36,00

Таблица 6 – Отклонение данных о величине осадков по метеостанции г. Коломна и коэффициент корреляции Пирсона

Table 6 – Data deviation of precipitation amount at Kolomna weather station and Pearson's correlation coefficient

Год	Отклонение. Осадки, мм						Коэффициент корреляции Пирсона (r)
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	
2000	4,64	25,31	27,87	3,80	56,05	1,77	0,73
2001	10,01	50,02	55,18	20,38	4,53	4,96	0,82
2002	18,84	1,57	34,41	32,89	3,26	38,33	0,83
2003	14,27	16,42	16,80	14,27	3,77	6,29	0,97
2004	2,63	2,67	54,81	1,43	38,14	17,26	0,80
2005	6,19	38,40	5,20	22,35	6,64	19,15	0,95
2006	12,67	16,66	14,17	37,44	8,94	7,57	0,93
2007	17,63	17,24	1,31	22,27	29,77	16,76	0,80
2008	31,95	9,14	16,56	40,01	12,40	10,19	0,96
2009	8,78	4,02	7,74	48,57	1,79	4,33	0,81
2010	6,52	44,61	9,93	1,15	4,72	0,44	0,71
2011	9,47	8,93	40,74	41,45	3,12	13,53	0,25
2012	25,58	22,74	119,28	35,21	61,16	3,22	0,37
2013	1,86	2,67	17,04	29,47	5,98	28,17	0,98
2014	14,91	8,46	6,24	10,26	27,76	15,21	0,96

Для примера приводятся данные за апрель 2000–2020 гг. (рисунки 2 и 3). По результатам можно сделать вывод о том, что распределение средне-месячной температуры и осадков незначительно отличается от данных наблюдений, это, возможно, объясняется некоторой удаленностью исследуемой метеостанции от узла сетки реанализа.

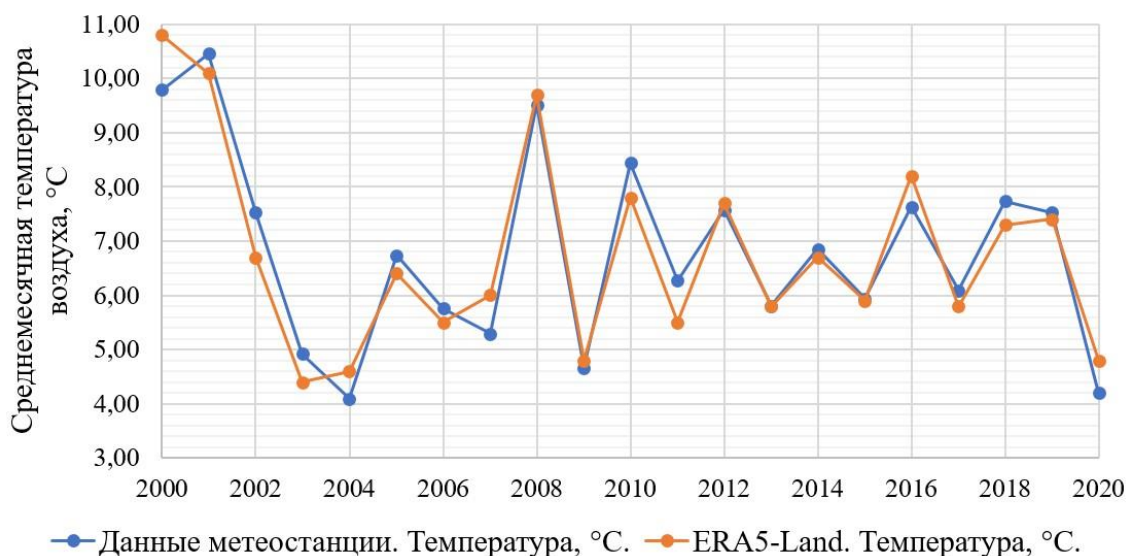


Рисунок 2 – Сравнение данных наблюдений за среднемесячной температурой воздуха на метеорологической станции Коломна и данных реанализа ERA5-Land за апрель 2000–2020 гг.

Figure 2 – Comparison of observation data on the average monthly air temperature at Kolomna meteorological station and ERA5-Land reanalysis data for April 2000–2020

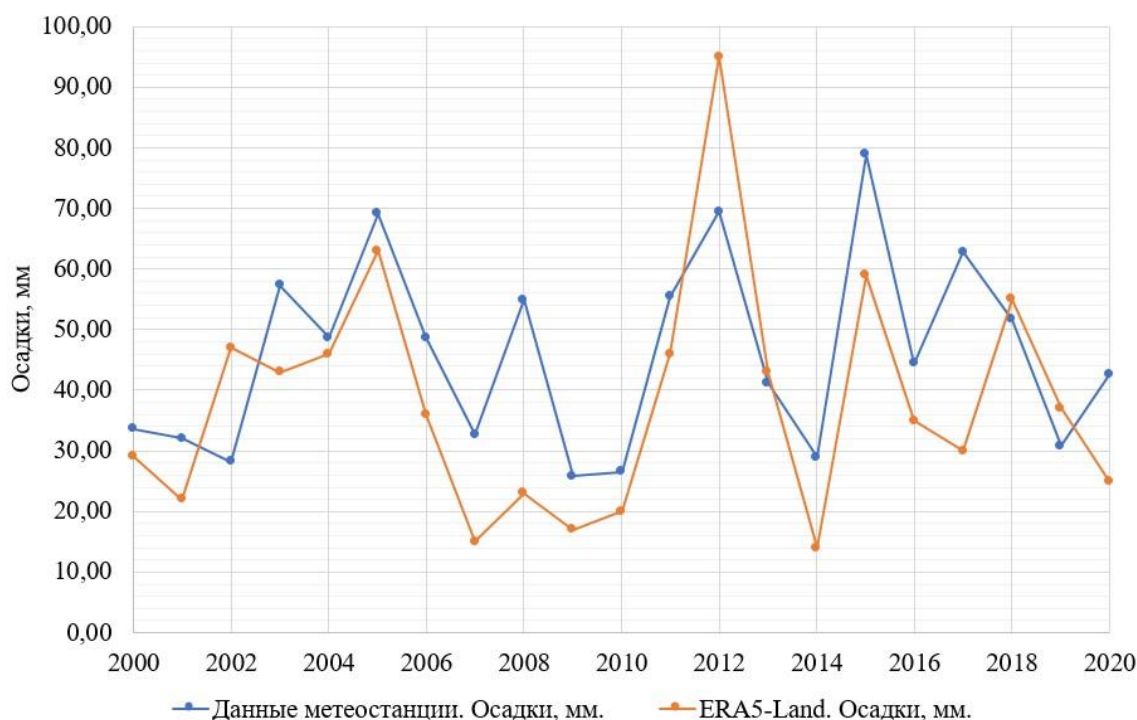


Рисунок 3 – Сравнение данных наблюдений за среднемесячным количеством осадков на метеорологической станции Коломна и данных реанализа ERA5-Land за апрель 2000–2020 гг.

Figure 3 – Comparison of observation data on the average monthly precipitation at Kolomna meteorological station and ERA5-Land reanalysis data for April 2000–2020

Корреляционный анализ среднемесячных значений температуры воздуха и количества осадков

За исследуемый период нами были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона для среднемесячных значений температуры воздуха и осадков между данными реанализа и наземных наблюдений с высоким уровнем значимости при $r_{\text{крит}} = 0,80$.

Расчет корреляции Пирсона между двумя массивами данных осуществлялся при помощи функции PEARSON в MS Excel. Первый массив представляет собой значения температур или осадков по фактическим данным наблюдений на метеостанциях, второй – температура или осадки, полученные по данным реанализа [8, 9].

В таблицах 3 и 6 представлено отклонение данных по результатам реанализа от фактических данных, а также результат расчета коэффициента корреляции Пирсона. Цветом выделены наиболее сильные отклонения.

Также произведен расчет коэффициента корреляции Пирсона для всего массива данных (таблица 7), что позволяет оценить адекватность данных реанализа и их пригодность для использования в расчетах [10].

Таблица 7 – Коэффициент корреляции Пирсона (r) для всего массива данных по каждой метеостанции

Table 7 – Pearson's correlation coefficient (r) for the entire dataset for each weather station

Метеостанция	Показатель	Коэффициент корреляции Пирсона (r)
1	2	3
1 Дмитров	Осадки	0,67
	Температура	0,99
2 Коломна	Осадки	0,80
	Температура	0,99
3 Клин	Осадки	0,66
	Температура	0,99
4 Наро-Фоминск	Осадки	0,80
	Температура	0,99
6 Внуково	Осадки	0,79
	Температура	0,99
7 Ново-Иерусалим	Осадки	0,72
	Температура	0,99

Продолжение таблицы 7

Table 7 continued

1	2	3
8 Серпухов	Осадки	0,75
	Температура	0,99
9 Павловский Посад	Осадки	0,76
	Температура	0,99
10 Можайск	Осадки	0,83
	Температура	0,99
11 Домодедово	Осадки	0,80
	Температура	0,99

Выводы. Результаты исследований, проведенных в данной работе, показывают, что данные архивов климата ERA5-Land за период 2000–2020 гг. по показателям среднемесячной температуры воздуха и количества осадков соотносятся с данными наземных наблюдений. При этом небольшое расхождение данных по некоторым метеостанциям наблюдается по количеству осадков в отдельные месяцы исследуемого периода.

Диапазон значений коэффициента корреляции данных, полученных с метеостанций, и данных реанализа составляет 0,66–0,83 для среднемесячного количества осадков и 0,99 для среднемесячной температуры. Это свидетельствует о том, что данные наблюдений на метеостанциях Московской области и реанализа ERA5-Land согласуются в достаточной степени.

Реанализ ERA5-Land возможен для восстановления отсутствующей информации архивов наземных наблюдений.

Список источников

1. Фомин В. В., Ундерских М. Г. Использование реанализов для оценки пространственно-временной динамики температуры воздуха на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI веков // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 3(74). С. 4–11.

2. Фомин В. В., Ундерских М. Г., Михайлович А. П. Пространственные закономерности изменения температуры и осадков на Урале и в Западной Сибири во второй половине XX – начале XXI веков // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Тюмень, 28–30 нояб. 2019 г. Тюмень: Вектор Бук, 2020. С. 296–301.

3. Гавриков А. Атмосферные реанализы. URL: https://ocean.ru/phocadownload/pl_univer/pl_univer_2019_01.pdf (дата обращения: 20.03.2022).

4. Васильев М. С., Николашкин С. В., Каримов Р. Р. Сравнение приземной тем-

пературы воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. 2014. Т. 11, № 5. С. 82–88.

5. Alghamdi A. S. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia // *Atmosphere*. 2020. 11(4). 402. <https://doi.org/10.3390/atmos11040402>.

6. Integration of Sentinel-3 and MODIS Vegetation Indices with ERA-5 agrometeorological indicators for operational crop yield forecasting / J. S. Bojanowski, S. Sikora, J. P. Musiał, E. Woźniak, K. Dąbrowska-Zielińska, P. Slesiński, T. Milewski, A. Łaczyński // *Remote Sensing*. 2022. 14(5). 1238. <https://doi.org/10.3390/rs14051238>.

7. Изучение поведения температуры на территории Сибири по данным наблюдений и реанализа / Т. М. Шульгина, В. Ю. Богомолов, Е. Ю. Генина, Е. П. Гордов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Отд. вып. 17. С. 275–279.

8. Жильцова Е. Л., Анисимов О. А. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 10. С. 79–89.

9. 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. С. 934–939.

10. Бокучава Д. Д., Семенов В. А. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. № 1. С. 28–51. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-28-51.

References

1. Fomin V.V., Underskikh M.G., 2020. *Ispol'zovanie reanalizov dlya otsenki prostranstvenno-vremennoy dinamiki temperatury vozdukh na Urale i v Zapadnoy Sibiri vo vtoroy polovine XX – nachale XXI vekov* [The assessment of the spatial and temporal dynamics of air temperature in the Urals and Western Siberia in the second half of the 20th – early 21st centuries with the use of reanalysis]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and Economy in Them], no. 3(74), pp. 4-11. (In Russian).

2. Fomin V.V., Underskikh M.G., Mikhailovich A.P., 2020. *Prostranstvennye zakonornosti izmeneniya temperatury i osadkov na Urale i v Zapadnoy Sibiri vo vtoroy polovine XX – nachale XXI vekov* [Spatial patterns of temperature and precipitation changes in the Urals and Western Siberia in the second half of the 20th – early 21st centuries]. *Ekosistemnye uslugi i menedzhment prirodnikh resursov: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecosystem Services and Natural Resources Management: Proc. of International Scientific-Practical Conference]. Tyumen, Vector Book Publ., pp. 296-301. (In Russian).

3. Gavrikov A., 2019. *Atmosfernye reanalizy* [Atmospheric reanalysis], available: https://ocean.ru/phocadownload/pl_univer/pl_univer_2019_01.pdf [accessed 20.03.2022]. (In Russian).

4. Vasiliev M.S., Nikolashkin S.V., Karimov R.R., 2014. *Sravnenie prizemnoy temperatury vozdukh v Yakutii po dannym reanaliza i nazemnykh nablyudeniym* [Comparison of surface air temperature in Yakutia derived from reanalysis and ground-based measurements]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov], vol. 11, no. 5, pp. 82-88. (In Russian).

5. Alghamdi A.S., 2020. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia. *Atmosphere*, 11(4), 402, <https://doi.org/10.3390/atmos11040402>.

6. Bojanowski J.S., Sikora S., Musiał J.P., Woźniak E., Dąbrowska-Zielińska K.,

Slesiński P., Milewski T., Łaczyński A., 2022. Integration of Sentinel-3 and MODIS Vegetation Indices with ERA-5 agro-meteorological indicators for operational crop yield forecasting. *Remote Sensing*, 14(5), 1238, <https://doi.org/10.3390/rs14051238>.

7. Shulgina T.M., Bogomolov V.Yu., Genina E.Yu., Gordov E.P., 2009. *Izuchenie povedeniya temperatury na territorii Sibiri po dannym nablyudeniya i reanaliza* [Studying the temperature behavior on Siberia territory based on observation and reanalysis data]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], no. 17, pp. 275-279. (In Russian).

8. Zhiltsova E.L., Anisimov O.A., 2009. *O tochnosti vosproizvedeniya temperatury i osadkov na territorii Rossii global'nymi klimaticheskimi arkhivami* [Accuracy of temperature and precipitation reproduction in Russia with global climate archives]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 10, pp. 79-89. (In Russian).

9. Dyukarev E.A., Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Loginov S.V., 2006. *Izmenenie klimata na aziatskoy territorii Rossii vo vtoroy polovine XX stoletiya: sravneniye dannykh nablyudeniya i reanaliza* [Climate changes on the Asian territory of Russia in the second half of XX century: comparison between observation and reanalysis data]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], vol. 19, pp. 934-939. (In Russian).

10. Bokuchava D.D., Semenov V.A., 2018. *Analiz anomaliiy prizemnoy temperatury vozdukha v Severnom polusharii v techenie 20 veka po dannym nablyudeniya i reanalizov* [Analysis of surface air temperature anomalies in the Northern Hemisphere in the 20th century based on observational and reanalysis data]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and Applied Climatology], no. 1, pp. 28-51, DOI: 10.21513/2410-8758-2018-1-28-51. (In Russian).

Информация об авторах

Е. Э. Головинов – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

Н. А. Васильева – научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

E. E. Golovinov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

N. A. Vasileva – Researcher, Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.04.2022; одобрена после рецензирования 02.08.2022; принята к публикации 09.08.2022.

The article was submitted 13.04.2022; approved after reviewing 02.08.2022; accepted for publication 09.08.2022.