

DOI 10.5281/zenodo.10348790
EDN VOELUF
УДК 63:55; 631.15;551.502(47)

Дунаева Е. А., Бойко Н. Г.

**СРАВНЕНИЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ОЦЕНОК ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И
ОСАДКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ**

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

Реферат. В условиях богарного земледелия в аридных регионах одними из наиболее существенных факторов, которые необходимо учитывать при принятии управленческих решений в сельском хозяйстве, являются обеспеченность осадками и температурный режим. Цель исследования – анализ возможности задействования спутниковой информации, особенно осредненных данных об осадках и температуре воздуха, для оценки их пространственного варьирования в сравнении с данными наземных наблюдений стационарных метеорологических станций. Территория исследований – зона степного Крыма и прилегающих земледельческих регионов юга РФ. Объектом анализа являются ряды агроклиматической информации сервиса раннего предупреждения о возможности наступления чрезвычайных ситуаций FLDAS, в том числе включающие осредненные данные среднемесячных значений осадков и температуры воздуха с пространственным разрешением информации $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. В статье приведены материалы оценки сходимости данных спутниковых оценок осредненных за многолетний период (35 лет) значений сумм осадков и температуры воздуха по месяцам с данными стационарных метеорологических станций. Сравнительный анализ показал незначительные отклонения ($\pm 2\%$) для осадков (метеостанции Клепинино и Симферополь) и завышение данных ДЗЗ на 8 и 5% по температурам для этих же станций, при этом уровень связи данных ДЗЗ и метеостанций по температуре воздуха близок к функциональной с коэффициентами корреляции около 0,999 (для метеостанций Краснодар и Элиста уровень связи по данному параметру также близок к функциональной, а по осадкам составляет 0,74 и 0,84 соответственно). Высокий уровень связи значений осадков, полученных по данным ДЗЗ с материалами метеостанций, а также очень высокий уровень связи для среднемесячных температур воздуха говорит о возможности задействования данных проекта FLDAS для дополнения и реанализа данных локальных станций, а также при оценке уровня отклонения текущих параметров от многолетних пространственно распределенных значений при разработке возможных прогнозных сценариев развития сельскохозяйственных культур, в том числе с учетом водообеспеченности территории.

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, FLDAS, метеоданные, репрезентативность.

Для цитирования: Дунаева Е. А., Бойко Н. Г. Сравнение среднемесячных оценок температуры воздуха и осадков, полученных по данным дистанционного зондирования Земли и наземным наблюдениям // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4 (36). С. 90–101. EDN: VOELUF. DOI: 10.5281/zenodo.10348790.

For citation: Dunaieva Ie. A., Boiko N. G. Comparison of average monthly estimates of air temperature and precipitation obtained from remote sensing data and ground-based observations // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 4(36). P. 90–101. EDN: VOELUF. DOI: 10.5281/zenodo.10348790,

Введение

Уровень социально-экономического состояния степной части Крымского полуострова, как и ряда прилегающих регионов юга РФ, во многом определяется уровнем развития сельскохозяйственной отрасли. В последнее десятилетие в условиях богарного земледелия он в первую очередь зависит от обеспеченности территории осадками. При этом изменение климата также влияет на водообеспеченность и его учитывают как при определении приоритетов в стратегии развития сельских территорий, так и в расчетах уровня их поддержки [1, 2].

Вместе с тем, задачи адаптации территорий к засухе являются актуальными не только для рассматриваемого региона, но и для многих других территорий, а мониторинг данных процессов вынесен на международный уровень [3, 4].

Для мониторинга динамики развития, оценки состояния и прогноза развития посевов сельскохозяйственных культур широко используют спутниковые системы, позволяющие получать пространственно распределенные параметры состояния как растительности, так и агроэкосистемы в целом [5–7].

В рамках глобальной системы раннего предупреждения о возможности наступления чрезвычайных ситуаций, в том числе голода (The Famine Early Warning Systems Network, FEWS NET [8]), формируются глобальные и региональные потоки данных о параметрах состояния земной поверхности (Land Data Assimilation System, LDAS [9]), которые в первую очередь ориентированы на оценку агрогидрологического состояния территорий и мониторинг продовольственной безопасности. Данные находятся в открытом/бесплатном доступе (для доступа к части данных необходима регистрация) и используются для решения задач различного класса, требующих оценок водного и/или энергетического баланса.

Глобальные среднемесячные данные (GLDAS, [10]) доступны с 1982 г. по текущее время с задержкой (для последнего периода) около месяца. Данные считываются в формате NetCDF с размером грида от $0,25^\circ$ до $0,1^\circ$ (около 10 км). Учитывая достаточно продолжительный период накопленных данных и их постоянное дополнение, они могут быть использованы для получения среднемноголетних показателей, анализа аномалий, в том числе для расчета относительных показателей доступности водных ресурсов.

В большинстве случаев при использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) получаемые параметры, несмотря на их коррекцию с задействованием наземной информации, требуют региональной верификации [11–14], что позволяет получить оценки репрезентативности конкретных данных (температура и влажность воздуха, осадки, влагозапасы и ряд других параметров).

Цель исследований – анализ возможности задействования спутниковой информации, особенно осредненных данных об осадках и температуре воздуха, для дальнейшего использования при оценке уровня отклонения текущего состояния агрометеоусловий от многолетней нормы при формировании сценариев развития сельскохозяйственных культур и прогноза их урожайности.

Новизна исследования заключается в установлении новых и уточнении существующих региональных параметров связи, измеренных метеопараметров и данных ДЗЗ, характеризующих водный и тепловой баланс территории в богарных и водно-ограниченных условиях, для дальнейшего использования при оценке уровня отклонения текущего состояния агрометеоусловий от многолетней нормы при формировании сценариев развития сельскохозяйственных культур и прогноза их урожайности.

Материалы и методы исследований

При проведении исследований использованы материалы суточных данных метеорологических параметров стационарных метеорологических станций Клепинино и

Симферополь (данные Украинского архива Гидрометслужбы, материалы Крымского Гидрометцентра, с 2014 г. – ФГБУ “Крымское УГМИЦ”, открытые суточные данные архива NCDC [15], данные архива погодного сервиса Rp5.ru [16]) и материалы справочных изданий по территории Крыма и юга РФ [17–20]. Для получения сопоставимых с системой FLDAS [21] среднемесячных данных температуры воздуха и осадков по метеостанциям Симферополь и Клепинино (период 35 лет (1982–2016 гг.), использованный в FLDAS для получения осредненных за многолетний период оценок) проведена обработка суточных рядов архивов метеоданных, хранимых в формате реляционной базы данных *.DBF, и получены значения сумм температур и осадков за каждый месяц с последующим расчетом для осадков среднемесячной суммы. Для температур было получено среднесуточное значение для каждого из месяцев путем деления суммы температур на количество дней в месяце (для февраля значение получали делением средней суммы температур за месяц на 28,25).

Расположение метеостанций, использованных для проведения анализа уровня связи среднемесячных данных по осадкам и температуре, приведено на рисунке 1.

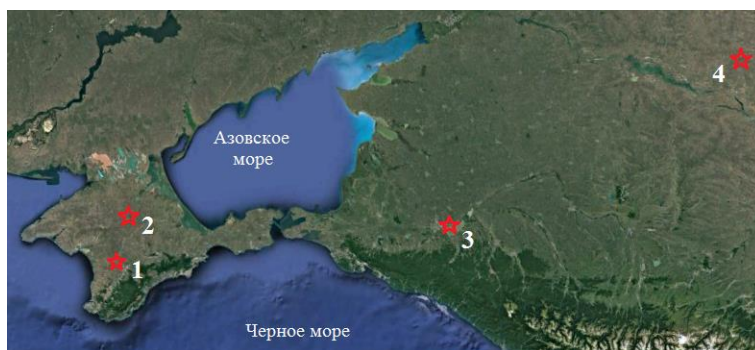


Рисунок 1 – Расположение анализируемых метеорологических станций на территории степной части Крыма и прилегающих регионов РФ

Примечание. 1 – Симферополь, 2 – Клепинино, 3 – Краснодар, 4 – Элиста.

Для обработки данных, хранимых в таблицах реляционных баз данных (*.DBF), использованы возможности Visual FoxPro (версия 7.0), а для обработки пространственно распределенной информации – открытой ГИС (QGIS, версия 3.18). Для визуализации мест расположения стационарных метеостанций применен метод картографирования с задействованием возможностей программного комплекса Google Earth (информация о координатах их расположения считывалась из архива NCDC [15]).

Растровые изображения полей распределения осадков и температур для Крымского полуострова, Краснодарского края и Республики Калмыкия, соответствующие продукту «FLDAS_NOAH01_C_GL_MC» [21] (далее в статье – FLDAS), были считаны в формате NetCDF. Затем числовые значения этих параметров были считаны из гридов, соответствующих местоположению метеостанций, и записаны в базу данных векторного слоя станций (используя point sampling плагин QGIS).

Результаты и их обсуждение

Для оценки уровня связи между значениями осадков и температуры воздуха, полученных по данным дистанционного зондирования (продукт FLDAS, маска земной поверхности NOAH, пространственное разрешение для месячных данных $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, покрытие – глобальное) и измеренных по наземным наблюдениям сети стационарных метеорологических станций, выполнено сравнение соответствующих среднемесячных температур и сумм осадков за период с января 1982 г. по декабрь 2016 г. (при наличии соответствующих данных, находящихся в открытом доступе, или в сравнении со справочными данными по этим станциям).

Пример уровня варьирования осредненных месячных сумм осадков по данным FLDAS приведен на рисунке 2.

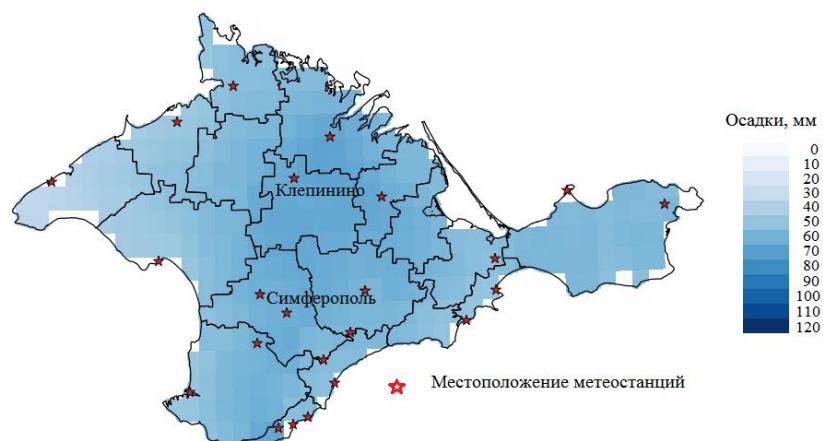


Рисунок 2 – Пример геопривязанных данных ДЗЗ о среднемесячных значениях сумм осадков за июнь месяц для территории Крымского полуострова (проект FLDAS)

Обработанные данные сравнительного анализа уровня связи значений осредненных сумм осадков и средних температур по месяцам, полученных по данным ДЗЗ и измеренных на метеостанциях степной части Крыма (Симферополь и Клепинино) для 35-летнего периода (1982–2016 гг.), приведены в таблицах 1 и 2 соответственно. Кроме того, в таблицах приведено сравнение этих данных с опубликованными справочными материалами [17, 18].

Таблица 1 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений осадков, измеренных на метеостанциях, с данными системы FLDAS (осадки, мм/мес.)

Месяц	Метеостанция Симферополь				Метеостанция Клепинино			
	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	41	39	41,6	44,1	24	30	32,7	45,2
Февраль	35	34	33,7	33,1	26	29	29,5	31,1
Март	32	39	36,4	36,2	19	34	32,6	30,9
Апрель	34	39	33,9	30,0	27	32	30,8	31,4
Май	41	35	36,9	38,9	38	35	43,9	42,9
Июнь	68	62	60,8	61,0	61	62	66,3	63,4
Июль	63	38	44,2	44,6	48	45	41,2	38,1
Август	35	66	47,0	41,1	39	45	37,7	34,3
Сентябрь	35	46	39,2	37,6	22	30	34,2	31,6
Октябрь	38	43	42,8	37,4	37	28	32,1	33,6
Ноябрь	43	47	43,0	47,3	30	38	34,5	39,5
Декабрь	44	48	43,0	43,0	32	40	36,4	37,3
Сумма за год, мм	509,0	536,0	502,5	494,3	403,0	448,0	451,9	459,3
Коэффициент корреляции*	0,82	0,59	0,92	-	0,73	0,75	0,89	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	0,97	0,92	0,98	-	1,14	1,03	1,02	-

*Примечание. Здесь и далее. * – Коэффициент корреляции между данными, измеренными на метеостанциях и ДЗЗ (rs).*

В соответствии с данными таблицы 1, годовая сумма осредненных по месяцам осадков по данным ДЗЗ для метеостанции Клепинино несколько превышает данные справочников и наиболее близка к измеренным на метеостанции данным (биас равен 1,02), при этом для метеостанции Симферополь сумма осадков по данным ДЗЗ несколько ниже как многолетних измеренных (биас равен 0,98), так и данных справочников за отдельные периоды.

Для обеих крымских метеостанций наиболее высокий уровень связи с данными ДЗЗ («высокий» для Клепинино и «очень высокий» для станции Симферополь) в соответствии со значением коэффициента корреляции k отмечается для одинакового по продолжительности и годам периода сравнения (период 35 лет, с 1982 по 2016 гг.), с $k = 0,89$ и $0,92$ для метеостанций Клепинино и Симферополь соответственно. При этом минимальный уровень связи ($k = 0,89$) отмечен для среднемесячных сумм осадков по метеостанции Симферополь по данным Справочника за период 1986–2005 гг. [18].

Таблица 2 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений температуры воздуха, измеренной на метеостанциях, с данными системы FLDAS (температура воздуха, °С)

Месяц	Метеостанция Симферополь				Метеостанция Клепинино			
	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1959 г. [17]	справочник, 2011 г. [18]	метеостанция, 1982–2016 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	-2,4	0,0	0,3	1,2	-2,1	0,0	-0,1	0,8
Февраль	-2,4	0,4	0,5	1,1	-2,4	0,4	0,0	1,0
Март	2,2	3,7	4,1	4,0	2,2	3,7	3,9	4,3
Апрель	9,1	10,0	10,1	9,8	9,1	10,0	10,2	10,4
Май	14,4	15,5	15,4	15,6	15,8	15,5	16,0	16,7
Июнь	20,2	20,1	19,6	20,0	20,2	20,1	20,4	21,2
Июль	23,4	23,3	22,6	23,1	23,4	23,3	23,3	24,2
Август	22,4	22,3	22,3	23,0	22,4	22,3	22,7	23,9
Сентябрь	16,7	16,8	17,1	18,0	16,7	16,8	17,2	18,5
Октябрь	10,7	10,9	11,2	12,1	10,7	10,9	11,0	12,3
Ноябрь	5,7	5,2	5,9	6,8	5,7	5,2	5,6	6,5
Декабрь	0,5	1,1	1,9	2,7	0,5	1,1	1,5	2,3
Среднее, (Trs, Tm) °С	10,1	10,6	10,9	11,4	10,2	10,8	11,0	11,8
Коэффициент корреляции*	0,997	0,998	0,999	-	0,998	0,999	0,999	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	1,14	1,08	1,05	-	1,16	1,10	1,08	-

Уровень связи среднемесячных значений температуры воздуха, полученный по данным FLDAS, с наземными данными очень высокий (связь близка к функциональной, $k = 0,999$) для данных обеих метеостанций, при этом для метеостанции Симферополь это касается не только уровня связи для сопоставимых временных периодов с данными ДЗЗ, но и для справочных данных, полученных за различные временные отрезки – для Симферополя это периоды 1901–1912 и 1916–1955 гг., а также 1986–2005 гг. соответственно, а для Клепинино – 1925–1941 и 1943–1955 гг., а также 1986–2005 гг.

Как видно из таблицы 2, многолетнее значение среднемесячной температуры воздуха по данным ДЗЗ завышено по сравнению с измеряемой на обеих метеостанциях

– для метеостанции Симферополь на 5 % (биас равен 1,05), а для Клепинино – на 8 % (биас равен 1,08).

Графическое сравнение динамики среднемесячных сумм осадков по данным метеостанций и их спутниковых оценок по сведениям проекта FLDAS приведено на рисунке 3.

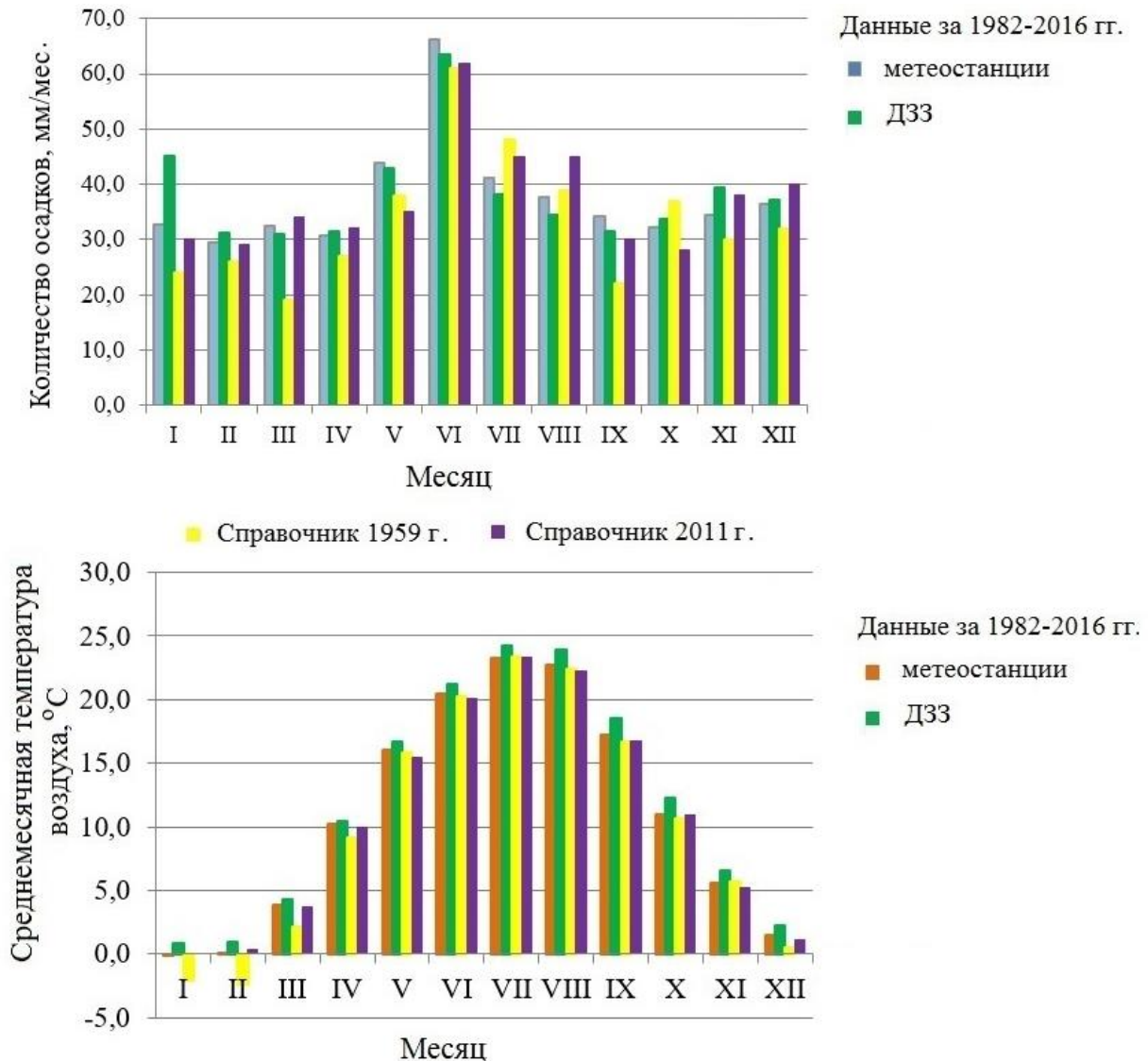


Рисунок 3 – Пример варьирования сумм среднемесячных осадков (А) и температуры воздуха (Б) по данным Д33 и метеостанции Клепинино

Высокий и очень высокий уровень связи осредненных по месяцам сумм осадков, полученных по данным проекта FLDAS, с данными наземной информации стационарных метеорологических станций позволяют использовать линейные уравнения связи между данными Д33 и измеренными значениями. То же касается связи многолетних осредненных данных температур воздуха, при этом коэффициент детерминации для связи данных Д33 и измеренных для осадков по метеостанции Симферополь составляет 0,82, а для температур – 0,99 (рисунок 4).

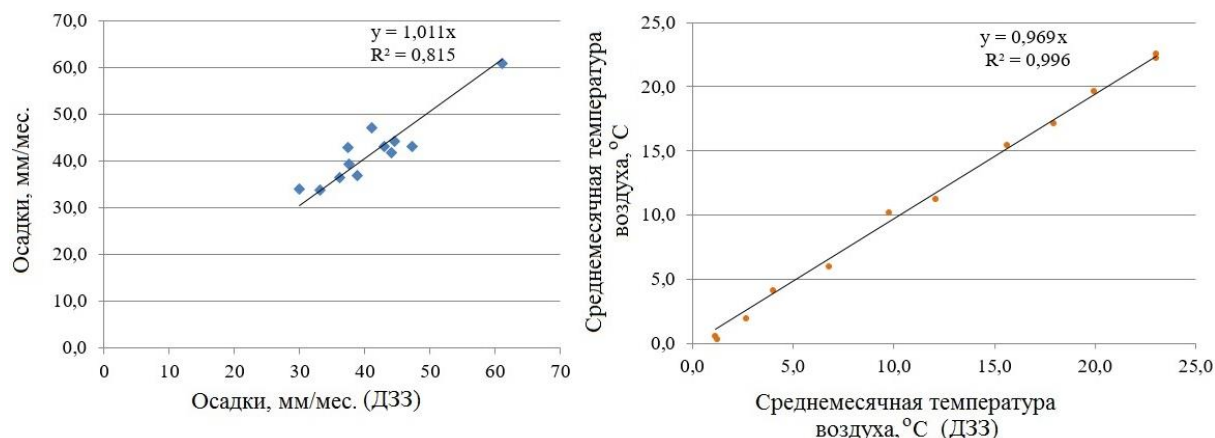


Рисунок 4 – Пример уровня связи осредненных месячных сумм осадков (А) и температуры воздуха (Б) по данным ДЗЗ и данным метеостанции Симферополь для сопоставимого периода (1982–2016 гг.)

Обработанные материалы анализа уровня связи значений осредненных сумм осадков и средних температур по месяцам по метеорологической станции Краснодар, полученные по данным ДЗЗ и измеренные на станции, приведены в таблицах 3 и 4 соответственно. Кроме того, в таблицах приведено сравнение этих данных с опубликованными материалами [19, 20]. По метеорологической станции Элиста (Республика Калмыкия) использованы только данные справочников (так как открытые данные по этой станции в архиве NCDC [15] очень изрежены для всего периода наблюдений (1959–2023 гг.)).

Таблица 3 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений осадков, измеренных на метеостанциях Краснодар и Элиста, с данными системы FLDAS (осадки, мм/мес.)

Месяц	Метеостанция Краснодар			Метеостанция Элиста	
	справочник, 1990 г. [19]	метеостанция, 1982–1999 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1990 г. [19]	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	53	65,7	61,7	29	22,4
Февраль	50	38,9	44,7	19	17,8
Март	54	37,1	51,3	22	19,3
Апрель	53	50,2	57,2	24	23,4
Май	61	102,4	65,1	35	44,5
Июнь	71	88,4	86,5	45	53,3
Июль	61	68,3	50,5	39	36,3
Август	52	56,6	50,9	32	26,6
Сентябрь	40	43,5	38,4	26	35,0
Октябрь	55	53,4	54,9	28	28,0
Ноябрь	64	60,7	64,3	28	30,3
Декабрь	72	73,9	63,2	34	28,4
Сумма за год, мм	686	739,0	688,7	361	365,3
Коэффициент корреляции*	0,81	0,74	-	0,84	-
Биас, $\sum Prs / \sum Pm$	1,00	0,93	-	1,01	-

При проведении анализа сходимости данных по осадкам, приведенным в таблице 3 для метеостанции Краснодар, необходимо учитывать, что ряд непрерывных архивных

данных по станции ([15]) почти в два раза короче (18 лет), чем использованный при получении осредненных данных в проекте FLDAS (35 лет). Вместе с тем, значения коэффициентов связи данных метеостанций и данных ДЗЗ показывают высокий уровень связи $k = 0,74$ и выше, как для метеостанции Краснодар, так и для метеостанции Элиста. При этом, отношение осредненных годовых сумм осадков для данных ДЗЗ и справочных значений [19] (биас) практически равно единице (1,00 и 0,99 для Краснодара и Элисты соответственно).

Таблица 4 – Сравнение уровня связи среднемесячных значений температуры воздуха, измеренной на метеостанциях Краснодар и Элиста, с данными системы FLDAS (°C)

Месяц	Метеостанция Краснодар				Метеостанция Элиста		
	справочник, 1990 г. [19]	СП [20], 2020 г.	метеостанция, 1982–1999 гг.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.	справочник, 1990 г. [19]	СП [20], 2020 г.	ДЗЗ (rs), 1982–2016 гг.
Январь	-1,6	0,0	-0,2	0,6	-6,8	-5,0	-4,4
Февраль	-0,6	1,1	-0,5	0,9	-6,2	-4,5	-4,2
Март	4,3	5,6	4,6	4,7	-0,3	1,4	1,3
Апрель	11,3	12,3	11,9	11,2	9,5	10,4	9,6
Май	17,0	17,6	16,8	16,7	16,9	17,1	16,4
Июнь	20,7	21,4	20,7	21,2	21,5	21,9	21,6
Июль	23,3	24,1	23,3	24,5	24,4	24,9	24,7
Август	22,7	23,7	22,7	24,6	23,2	23,8	23,9
Сентябрь	17,6	18,6	17,6	19,2	16,8	17,3	17,4
Октябрь	11,4	12,0	11,3	12,6	8,9	9,5	9,6
Ноябрь	5,6	6,4	4,7	6,3	2,1	2,6	2,0
Декабрь	1,1	2,3	0,8	2,0	-2,9	-2,3	-2,7
Среднее, (Trs, Tm) °C	11,1	12,1	11,1	12,0	8,9	9,8	9,6
Коэффициент корреляции*	0,996	0,997	0,996	-	0,998	0,999	-
Биас, Trs/Tm	1,08	1,00	1,08	-	1,08	0,99	-

Также как и для метеостанций степного Крыма, уровень связи среднемесячных значений температуры воздуха, полученный по данным FLDAS, с наземными данными станций Краснодар и Элиста очень высокий. При этом, для Элисты связь близка к функциональной, $k = 0,999$ (для связи данных по Своду Правил [20]) и данных ДЗЗ, а для станции Краснодар несколько ниже, $k = 0,997$ (для данных этого же документа).

Значения параметра биас для отношения данных оценок температуры воздуха по материалам ДЗЗ к измеренным и осредненным среднемесячным справочным данным [20] очень близки и составляют 1,00 и 0,99 для станций Краснодар и Элиста, что говорит о возможности дополнения имеющихся рядов открытых метеорологических данных по данным проекта FLDAS.

Выводы

На основе сравнительного анализа осредненных месячных сумм осадков и среднемесячных температур воздуха, полученных по данным спутниковых оценок проекта FLDAS (продукт FLDAS_NOAH01_C_GL_MC) для периода 1982–2016 гг., с данными наземных наблюдений метеостанций степной части Крыма и прилегающих регионов РФ сделаны следующие выводы.

Осредненные за многолетний период данные ДЗЗ показали в среднем близкие, но разнонаправленные отклонения годовых сумм осадков от измеренных на метеостанциях

– для степной зоны Крыма завышение на 8,4 мм по сравнению с данными метеостанции Клепинино и небольшое занижение на 8,2 мм по метеостанции Симферополь или на 2 % в обоих случаях. При этом, несмотря на более существенное отклонение осредненных по году среднемесячных температур воздуха (завышение по сравнению с данными метеостанций на 5 и 8 % для станций Симферополь и Клепинино соответственно), уровень связи данных ДЗЗ и измеренных очень высокий (близкий к функциональной) с коэффициентами корреляции равными 0,999 для обеих станций.

Уровень связи данных ДЗЗ и измеренных на метеостанциях данных для метеостанций Краснодар и Элиста для среднемесячных температур также очень высокий (0,996 и 0,999), при этом для осадков уровень связи несколько ниже, чем для станций степного Крыма, и составляет 0,74 и 0,84 соответственно, что может быть связано с отсутствием для этих станций доступности (в открытом доступе) к сопоставимым по продолжительности рядов метеонаблюдений.

Высокий и очень высокий уровень связи среднемесячных величин осадков, полученных по данным ДЗЗ и стационарных метеостанций, а также очень высокий (близкий к функциональной) уровень связи среднемесячных температур воздуха позволяет сделать вывод о возможности использования данных проекта FLDAS для дополнения и реанализа данных локальных метеорологических станций, в том числе для оценки уровня отклонения текущей погоды от многолетних пространственно распределенных значений данных параметров при разработке возможных прогнозных сценариев развития сельскохозяйственных культур с учетом оценки водообеспеченности территории.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской тематики ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (госзадание № 122101300031-4), а также при поддержке Фонда содействия инноваций (конкурс «Умник»).

Литература

1. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада) // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. 2011. № 563. С. 7–59.
2. Svetlov N. M., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30. No. 4. P. 406–418. DOI: 10.1134/S1075700719040154.
3. Мамедов А. С., Гасанова Н. И., Алиева Н. Б., Бабаева Г. Т. Оценка доли риска засухи, влияющая на урожайность // Sciences of Europe. 2019. No. 45 (3). С. 46–50.
4. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // Social Indicators Research. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: 10.1007/s11205-019-02162-4.
5. Трошко К. А., Денисов П. В., Дунаева Е. А., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Толпин В. А. Особенности развития озимых сельскохозяйственных культур на юге европейской части России весной 2022 г. по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 261–267. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-261-267.
6. Bojanowski J. S., Sikora S., Musiał J. P., Woźniak E., Dąbrowska-Zielińska K., Slesiński P., Milewski T., Łaczyński A. Integration of Sentinel-3 and MODIS vegetation indices with ERA-5 agro-meteorological indicators for operational crop yield forecasting // Remote Sensing. 2022. No. 14(5). Art. No. 1238. DOI: 10.3390/rs14051238.
7. Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
8. Funk C., Shukla S., Thiaw W. M. [et al.]. Recognizing the famine early warning systems network: over 30 years of drought early warning science advances and partnerships promoting global food security // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2019. No. 100. P. 1011–1027. DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0233.1.

9. McNally A., Arsenault K., Kumar S., Shukla S., Peterson P., Wang S., Funk C., Peters-Lidard C., Verdin J. P. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications // *Sci. Data*. 2017. Vol. 4. Art. No. 170012. DOI: 10.1038/sdata.2017.12.
10. Rodell M., Houser P. R., Jambor U. [et al.]. The global land data assimilation system // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2004. No. 85(3). P. 381–394. DOI: 10.1175/BAMS-85-3-381.
11. Popovych V. F., Dunaieva I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe part of the Crimea // *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2021. Vol. 9. P. 1–13. DOI: 10.26491/mhwm/133088.
12. 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. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105.
13. Alghamdi A. S. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia // *Atmosphere*. 2020. No. 11(4). Art. No. 402. DOI: 10.3390/atmos11040402.
14. Дунаева Е. А., Максимов С. А., Попович В. Ф. Оценка точности глобальных данных метеорологических параметров Европейского проекта ERA5 с данными локальных станций (на примере метеостанции Клепичино) // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции*. Симферополь: Ариал, 2023. С. 222. DOI: 10.5281/zenodo.8268016.
15. Архив национального центра данных о климате NCDC. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/gso/d/> (дата обращения: 04.09.2023).
16. Архив сервиса ООО «Расписание Погоды», Rp5.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rp5.ru/> (дата обращения: 04.09.2023).
17. Агроклиматический справочник по Крымской области. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1959. 133 с.
18. Агрокліматичний довідник по Автономній республіці Крим (1986–2005 рр.) // За ред. Прудко О. І., Адаменко Т. І. Симферополь: ЦГМ в АРК., Таврида, 2011. 344 с.
19. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, СевероОсетинская АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 725 с.
20. Свод правил СП 131.13330.2020 «СНИП 23-01-99. Строительная климатология» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24.12.2020 № 859/пр). 145 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sniprf.ru/sp131-13330-2020> (дата обращения 18.09.2023)
21. McNally A. FLDAS Noah Land Surface Model L4 global monthly 0.1 × 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) // *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)*. 2018. USA: NASA/GSFC/HSL. DOI: 10.5067/5NHC22T9375G.

References

1. Kattsov V. M., Porfiriyev B. N. Assessment of macroeconomic impacts of climate change over the territory of Russian Federation until 2030 and beyond (summary) // *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2011. No. 563. P. 7–59.
2. Svetlov N. M., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The effect of climate change on the location of branches of agriculture in Russia // *Studies on Russian Economic Development*. 2019. Vol. 30. No. 4. P. 406–418. DOI: 10.1134/S1075700719040154.
3. Mamedov A. S., Hasanova N. I., Aliyeva N. B., Babayeva G. T. The assessment of the share of drought risk affecting crops yield // *Sciences of Europe*. 2019. No. 45 (3). P. 46–50.
4. Alaimo L. S., Maggino F. Sustainable development goals indicators at territorial level: conceptual and methodological issues – the Italian perspective // *Social Indicators Research*. 2020. Vol. 147. P. 383–419. DOI: **10.1007/s11205-019-02162-4**.
5. Troshko K. A., Denisov P. V., Dunaeva E. A., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Tolpin V. A. Development of winter crops in the south of European part of Russia in spring 2022 based on remote sensing data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa (Current problems in remote sensing of the Earth from space)*. 2022. Vol. 19. No. 2. P. 261–267. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-261-267.
6. Bojanowski J. S., Sikora S., Musiał J. P., Woźniak E., Dąbrowska-Zielińska K., Slesiński P., Milewski T., Łączyński A. Integration of Sentinel-3 and MODIS vegetation indices with ERA-5 agrometeorological indicators for operational crop yield forecasting // *Remote Sensing*. 2022. No. 14(5). Art. No. 1238. DOI: 10.3390/rs14051238.

7. Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. Vol. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
8. Funk C., Shukla S., Thiaw W. M. [et al.]. Recognizing the famine early warning systems network: over 30 years of drought early warning science advances and partnerships promoting global food security // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2019. No. 100. P. 1011–1027. DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0233.1.
9. McNally A., Arsenault K., Kumar S., Shukla S., Peterson P., Wang S., Funk C., Peters-Lidard C., Verdin J. P. A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications // Sci. Data. 2017. Vol. 4. Art. No. 170012. DOI: 10.1038/sdata.2017.12.
10. Rodell M., Houser P. R., Jambor U. [et al.]. The global land data assimilation system // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2004. No. 85(3). P. 381–394. DOI: 10.1175/BAMS-85-3-381.
11. Popovych V. F., Dunaieva I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe part of the Crimea // Meteorology Hydrology and Water Management. 2021. Vol. 9. P. 1–13. DOI: 10.26491/mhwm/133088.
12. 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. No. 12(3). P. 92–105. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-92-105.
13. Alghamdi A. S. Evaluation of four reanalysis datasets against radiosonde over Southwest Asia // Atmosphere. 2020. No. 11(4). Art. No. 402. DOI: 10.3390/atmos11040402.
14. Dunaieva Ie. A., Maksimov S. A., Popovych V. F. Accuracy estimation of global level dataset of meteorological parameters of the European project ERA5 compared with data from the local stations (on the example of the Klepinino station) // Proceedings of VIII international scientific conference “Current State, Problems and Prospects of the Development of Agrarian Science”. Simferopol: Arial, 2023. P. 222. DOI: 10.5281/zenodo.8268016.
15. National Climate Data Center Archive, NCDC. [Electronic resource]. Access point: <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsoad/> (reference’s date 04.09.2023).
16. Archive of the LLC “Weather Forecast” service, Rp5.ru. [Electronic resource]. Access point: <http://rp5.ru/> (reference’s date 04.09.2023).
17. Agroclimatic reference book for the Crimean region. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1959. 133 p.
18. Agroclimatic reference book on the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005) // Ed. by Prudko O. I., Adamenko T. I. Simferopol: Regional Meteorological Center in the ARC, Tavrida, 2011. 344 p.
19. Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Issue 13. Volgograd, Rostov, Astrakhan regions, Krasnodar, Stavropol territories, Kalmyk, Kabardino-Balkarian, Checheno-Ingush, North Ossetian Autonomous Soviet Socialist Republics. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 725 p.
20. Set of rules SP 131.13330.2020 “SNIP 23-01-99. Construction climatology” (approved by order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 24.12.2020 No. 859/np). 145 p. [Electronic resource]. Access point: <http://sniprf.ru/sp131-13330-2020> (reference’s date 18.09.2023).
21. McNally A. FLDAS Noah Land Surface Model L4 global monthly 0.1 × 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS) // Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). 2018. USA: NASA/GSFC/HSL. DOI: 10.5067/5NHC22T9375G.

UDC 63:55; 631.15;551.502(47)

Dunaieva Ie. A., Boiko N. G.

COMPARISON OF AVERAGE MONTHLY ESTIMATES OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION OBTAINED FROM REMOTE SENSING DATA AND GROUND-BASED OBSERVATIONS

Summary. Under rainfed farming conditions in arid areas, the most significant factors that must be taken into account when making management decisions in agriculture are precipitation availability and temperature regime. The purpose of this study was to analyze the possibility of using satellite information, particularly averaged data on precipitation and air temperature, to assess their spatial variation in comparison with ground-based observations obtained from the weather stations. The research area is the steppe zone of the Crimea and the nearest agricultural regions on the south of the Russian Federation. The analysis object is the

dataset of agroclimatic information from the FLDAS Early Warning Systems Network, which includes averaged data on monthly precipitation and air temperature with a spatial resolution of $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. The article presents material for assessing the convergence of satellite estimates of averaged over a long-term period (35 years) values of precipitation amounts and air temperature by months with data from stationary meteorological stations. A comparative analysis showed insignificant deviations of $\pm 2\%$ for precipitation (weather stations Klepinino and Simferopol) and an overestimation of remote sensing (RS) data by 8 and 5 % for temperatures for the same stations, while the level of correlation between RS and weather stations for air temperature is close to functional with correlation coefficients of about 0.999 (for the Krasnodar and Elista weather stations, the level of correlation for this parameter is also close to functional, but for precipitation it is 0.74 and 0.84, respectively). The high level of correlation between precipitation values obtained from RS and weather stations, as well as a very high level of correlation for average monthly air temperatures, indicates the possibility of using FLDAS project data to supplement and reanalyze data from local stations, as well as when assessing the level of deviation of current parameters from long-term spatial distributed values during developing possible forecast scenarios for the agricultural crops growing period, including water availability of the territory.

Keywords: *air temperature, precipitation, FLDAS, meteorological data, representativeness.*

Дунаева Елизавета Андреевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: water_crimea@hotmail.com.

Бойко Наталья Геннадьевна, младший научный сотрудник отдела цифрового мониторинга и моделирования агроэкосистем ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail:

Dunaieva Ielizaveta Andreevna, Cand. Sc. (Techn.), leading researcher of digital monitoring and agroecosystems modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: water_crimea@hotmail.com.

Boyko Natalya Gennad’evna, junior researcher of digital monitoring and agroecosystems modeling Department, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: mrs.filina@gmail.com.

Дата поступления в редакцию – 28.10.2023

Дата принятия к печати – 20.11.2023