

УДК 551.502.42

## ОЦЕНКА ОБЪЕМНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ВЛАГОЗАПАСОВ В РЕГИОНАХ ЕТР

*П.С. Кланг<sup>1</sup>, В.М. Хан<sup>1</sup>, Л.Л. Тарасова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, [ais@metcom.ru](mailto:ais@metcom.ru)

**Аннотация:** выполнен корреляционный анализ объемной влажности почвы реанализа ERA5-Land и запасов продуктивной влаги, измеренных на станциях сети Росгидромета, для различных типов почв европейской части России за вегетационные периоды 2011-2023 годов.

**Ключевые слова:** влажность почвы, ERA5-Land, запасы продуктивной влаги.

**Актуальность.** В целом за последние 50 лет аграрное производство и продуктивность сельскохозяйственных культур увеличилась [1]. По экспертным оценкам, приведенным в Третьем оценочном докладе Росгидромета, к середине XXI века при изменении погодно-климатических факторов в будущем возможно увеличение аридности климата в основных зернопроизводящих районах европейской территории России, причём наибольшие потери урожая ожидаются центрально-чернозёмных областях [2]. Снизить зависимость продуктивности растений от атмосферных явлений возможно только при своевременном проведении адаптационных мер с учётом оперативного агрометеорологического мониторинга, что позволит Российской Федерации продолжать обеспечивать собственную продовольственную безопасность.

**Обсуждение результатов.** Продуктивность сельскохозяйственных культур обуславливается двумя основными агрометеорологическими ресурсами: ФАР и почвенной влагой. Однако в формировании конечной продуктивности значительную роль играет культура земледелия. В компетенции аграрного метеоролога находится мониторинг за температурно-влажностным режимом воздуха и почвы, состоянием посевов и их продуктивностью, наличием и интенсивностью опасных явлений погоды.

Отдел агрометеорологических прогнозов ФГБУ «Гидрометцентр России» ежедекадно производит подобный мониторинг, а также формирование баз

данных. Так, был произведен анализ исторического архива средних за декаду запасов продуктивной влаги под яровыми зерновыми культурами по основным зернопроизводящим территориям Европейской части России в метровом слое почвы с 1958 по настоящее время. Анализ данных позволил сделать вывод, что в большинстве районов европейской части России влагообеспеченность сельскохозяйственных культур существенно повысилась, а аномалии влагозапасов имеют квазидвухлетнюю цикличность, объясняемую циклами Северо-Атлантического колебания [3].

Специфика архивных данных предполагает их использование лишь в исследованиях климата. Для продления ряда архивных данных и уточнения данных оперативного архива, а также расширения возможностей прогнозирования условий увлажнения почвы, авторами была предпринята попытка оценки объемной влажности почвы по набору данных ERA5-Land по данным стационарных наблюдений для различных типов почв европейской территории России.

ERA5-Land – расширенный набор данных реанализа для наземного компонента, представленный Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) совместно со службой изменения климата Коперникус (C3S). Набор данных ERA5-L охватывает период с 1950-ого года до настоящего времени, с задержкой поступления данных по времени от 2 до 3 месяцев по сравнению с реальным временем. Набор данных ERA5-L имеет улучшенное горизонтальное расширение, которое составляет около 9 км, или 0,1°. Среди многочисленных компонент реанализа интегрированная система прогнозирования ECMWF представляет данные о почвенной влаге. Почвенная влага представлена в объемном виде ( $\text{м}^3\text{м}^{-3}$ ) по трем слоям почвенного горизонта (0-7 см, 7-28 см, 28-100 см и 100-289 см). В модельных данных объем влаги в почве зависит от её структуры (классификации), глубины залегания и уровня грунтовых вод [4, 5]. Сам реанализ ERA5 основан на интегрированной системе прогнозирования, учитывающей ряд разработок в области моделей физики и ассимиляции данных [6].

Для проведения исследования были отобраны данные реанализа ERA5-Land по трем слоям почвы с апреля 2011 года по октябрь 2023 года подекадно (8, 18, 28 числа месяца, в дни, в которые наблюдатели на агрометеорологических станциях отбирают пробы на с.-х. полях [7]).

ГМС сети Росгидромета	Координаты		
	Широта	Долгота	

<b>Белогорка</b> Ленинградская обл.	59,350	30,133
<b>Плавск</b> Тульская обл.	53,650	37,233
<b>Каменная Степь</b> Воронежская обл.	51,050	40,700
<b>Гигант</b> Ростовская обл.	46,516	41,350
<b>Бугульма</b> Респ. Татарстан	54,583	52,800
<b>Сорочинск</b> Оренбургская обл.	52,433	53,133

Рис. 1. Географическое расположение агрометеорологических станций Росгидромета, рассматриваемых в исследовании

Для первичной оценки объемной влажности почвы были выбраны пять станций метеорологической сети Росгидромета (рисунок 1) с наиболее широкой географией и различными типами почв, ведущих ежедекадные наблюдения за влажностью почвы. Результаты этих наблюдений рассчитываются для слоев 0-10 см, 0-20 см, 0-50 см, 0-100 см и передаются в Гидрометцентр.

Таким образом, у нас было два источника информации: частые по пространству и времени данные моделирования объемной влажности почвы, но с неизвестным качеством, и редкие по пространству, ежедекадные, но с высоким качеством наблюдения запасов продуктивной влаги на станциях.

Основной задачей проведенного исследования была оценка качества воспроизведения условий увлажнения почвы по данным реанализа и возможность его дальнейшего использования для диагностирования почвенных засух и климатических исследований.

Т.к. на станциях влагозапасы в почве определяются в период активной вегетации культуры (от сева до молочной спелости), то для удлинения сезонного хода были выбраны значения запасов продуктивной влаги на участках с озимыми и ранними яровыми зерновыми культурами. В декады, когда наблюдения влагозапасов под этими культурами были параллельными, были рассчитаны средние значения для каждого из слоев почвы.

Таблица 1

Метеорологические станции сети Росгидромета

ГМС сети Росгидромета	Тип почвы* <sup>1</sup>	Количество наблюдений				
		ERA5-L		по станциям		
		0-7см, 7-28см, 28-100см 100-289 см	0-10см	0-20см	0-50см	0-100см
<b>Белогорка</b>	Дерново-среднеподзолистая	252	202	202	202	82

Ленинградская обл.						
<b>Плавск</b> Тульская обл.	Чернозем выщелоченный, тяжелосуглинистый	252	148	148	148	148
<b>Каменная Степь</b> Воронежская обл.	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	252	191	191	184	184
<b>Гигант</b> Ростовская обл.	Чернозем предкавказский	252	191	191	184	184
<b>Бугульма</b> Респ. Татарстан	Чернозем типичный тяжелоглинистый	252	177	177	177	177
<b>Сорочинск</b> Оренбургская обл.	Чернозем южный супесчаный	252	79	79	79	79

В таблице 1 представлены типы почвы и количество наблюдений, взятых на различных почвенных слоях. Тип почвы в таблице 1 определен по таблицам ТСХ-5, включающих в себя все значения агрогидрологических свойств почвы, необходимых при проведении контроля влажности почвы в соответствии с РД 52.33.219–2002 [7].

Далее был произведен корреляционный анализ значений запасов продуктивной влаги и объёмной влажности почвы по данным реанализа ERA5-Land и оценена значимость коэффициентов корреляции по методу Пирсона (таблица 2). Умеренная и значительная теснота связи выявлена между запасами продуктивной влаги во всех слоях почвы и первыми тремя слоями ERA5-L. Тесная связь отмечается между значениями реанализа в слое почвы 0-7 см и влагозапасами в слоях 0-10 и 0-20 см. Коэффициенты корреляции в этом случае составляли от 0,59 до 0,82, за исключением АМП «Сорочинск» (количество фактических наблюдений в котором оказалось самым низким).

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции, между запасами продуктивной влаги и значениями реанализа

		Запасы продуктивной влаги в слоях почвы, мм								
		0-10	0-20	0-50	0-100	0-10	0-20	0-50	0-100	
<b>ERA5-L, m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup></b>	<b>Белогорка</b>				<b>Бугульма</b>					
	0-7	<b>0,62</b>	<b>0,59</b>	0,56	0,53	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	0,50	0,32	0-7
	7-28	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	0,66	0,70	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	0,61	0,46	7-28
	28-100	0,62	<b>0,61</b>	<b>0,60</b>	<b>0,65</b>	0,50	<b>0,55</b>	<b>0,61</b>	<b>0,61</b>	28-100
	<b>Плавск</b>				<b>Гигант</b>					
	0-7	<b>0,62</b>	<b>0,63</b>	0,61	0,67	<b>0,82</b>	<b>0,75</b>	0,61	0,54	0-7
	7-28	<b>0,56</b>	<b>0,58</b>	0,58	0,62	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	0,75	0,68	7-28
	28-100	0,24	<b>0,25</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	0,56	<b>0,63</b>	<b>0,71</b>	<b>0,75</b>	28-100
	<b>Каменная Степь</b>				<b>Сорочинск</b>					
	0-7	<b>0,75</b>	<b>0,68</b>	0,54	0,45	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>	0,45	0,36	0-7
	7-28	<b>0,51</b>	<b>0,47</b>	0,36	0,28	<b>0,51</b>	<b>0,52</b>	0,51	0,43	7-28
	28-100	0,51	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>	<b>0,49</b>	0,43	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	28-100
	<b>0-10</b>	<b>0-20</b>	<b>0-50</b>	<b>0-100</b>	<b>0-10</b>	<b>0-20</b>	<b>0-50</b>	<b>0-100</b>		

Столь высокие коэффициенты корреляции влажности почвы приземных и неглубоких слоев могут объясняться использованием разработчиков ERA5-L данных дистанционного зондирования, таких как ветер и влажность почвы, получаемых с приборов ASCAT спутников MetOp-B [6]. Значимые коэффициенты так же были получены между третьим почвенным слоем реанализа и слоями 0-50 и 0-100 см (0,50-0,70, за исключением АМП «Плавск»).

Значительная корреляционная связь между всеми слоями почвы и данными реанализа отмечается между всеми станциями. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции получены по станциям Гигант, Белогорка и Каменная Степь. Вероятно, такое распределение связано с механическим составом почв: в более тяжелых почвах с большим содержанием глины (дерново-среднеподзолистая почва, черноземы обыкновенный тяжелоглинистый или тяжелосуглинистый и предкавказский) происходит более равномерное распределение влаги по почвенному профилю, чем в более легких почвах (чернозем южный супесчаный) [8].

Стоит отметить, что значение коэффициентов корреляции достаточно логично и наблюдается уменьшение тесноты связи при рассмотрении приземных и более глубоких слоев почвы (например, коэффициент корреляции первого объемного слоя почвы с контрольным слоем 0-100 см не превышает 0,53)

**Заключение.** В работе был произведен корреляционный анализ между значениями объёмной влажности почвы по данным ERA5-Land и запасами продуктивной влаги по данным пяти контрольных станций наблюдательной сети Росгидромета. На всех станциях получены значимые коэффициенты корреляции. Таким образом, данные реанализа ERA5-Land можно использовать для изучения особенностей увлажнения почвы.

### **Библиографический список**

1. Shukla P.R., Skea J., Slade R., Khourdajie A. Al, van Diemen R., McCollum D., Pathak M., Some S., Vyas P., Fradera R., Belkacemi M., Hasija A., Lisboa G., Luz S., Malley J. IPCC, 2022: Summary for Policymakers [Текст] / Shukla P.R., Skea J., Slade R., Khourdajie A. Al, van Diemen R., McCollum D., Pathak M., Some S., Vyas P., Fradera R., Belkacemi M., Hasija A., Lisboa G., Luz S., Malley J. — 2022 — 63 p.

2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме [Текст] / — Том 3. — СПб.: Наукоемкие технологии, 2022 — 124 с.

3. Тарасова, Л. Л., Кланг, П. С. Режим влажности почвы в сельскохозяйственных районах европейской территории России, как результат региональных проявлений изменения климата / Л. Л. Тарасова, П. С. Кланг [Текст] // Материалы IV Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» ФГБНУ АФИ. — Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2023 — С. 721 с.

4. Parameter detail / [Электронный ресурс] // European Centre for Medium-Range Weather Forecasts : [сайт]. — URL: <https://codes.ecmwf.int/grib/param-db/40> (дата обращения: 22.02.2024).

5. ERA5-Land hourly data from 1950 to present / [Электронный ресурс] // The Climate Data Store | Copernicus : [сайт]. — URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview> (дата обращения: 22.02.2024).

6. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. The ERA5 global reanalysis [Текст] / Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N. // Q J R Meteorol Soc. . — 2020. — № 146:.. — С. 1999–2049.

7. РД 52.33.217-99. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч.1. Основные агрометеорологические наблюдения.— М.: Росгидромет. 2000 — С 374.

8. [Шейн Е.В., Судницын И.И. Уточненный метод определения коэффициента влагопроводности // Биологические науки, — М.: издательство \[Высш. шк.\]\(#\) 1975, № 6, с. 136-144](#)

**ESTIMATION OF VOLUMETRIC SOIL MOISTURE OF THE ECMWF  
REANALYSIS V5 - LAND (ERA5-LAND) BASED ON OBSERVATIONS OF  
MOISTURE RESERVES IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

P.S. Klang, V.M. Khan, L.L. Tarasova

Hydrometeorological Reserch Center of Russian Federation, Moscow,

[ais@mecom.ru](mailto:ais@mecom.ru)

*Abstract: The article presents a performed correlation analysis of the volumetric soil moisture from the ERA 5-Land reanalysis and productive moisture reserves measured at the stations of the Roshydromet network for various types of soils in the European part of Russia for the growing seasons 2011-2023.*

*Keywords: soil moisture, ERA5-Land, reserves of productive moisture.*