

## **Аномалии увлажнения юга Европейской России по спутниковым и наземным данным**

**Е.А. Черенкова**

*Институт географии РАН  
119017 Москва, Старомонетный переулок, 29  
E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru*

В статье исследовано изменение влажности почв и атмосферного увлажнения ежемесячно с мая по сентябрь в период 1992-2006 гг. в степных и полупустынных ландшафтах юга Европейской России. Анализ изменения влажности почв проведен с использованием спутниковых данных индекса почвенной влаги SWI. Исследование динамики атмосферного увлажнения выполнено с помощью коэффициента увлажнения К. Торнтвейта, рассчитанного по данным наблюдений. Изучены периоды пониженного и повышенного влагосодержания относительно значения стандартного отклонения. Показано, что пространственное и временное распределение аномалий индекса почвенной влаги хорошо согласуется по знаку с аномалиями коэффициента увлажнения.

**Ключевые слова:** аномалия, индекс почвенной влаги, коэффициент увлажнения, спутниковые данные.

### **Введение**

Мониторинг почвенного и атмосферного влагосодержания в районах неустойчивого увлажнения представляет особый интерес для сельского хозяйства. Изучение их изменений приобрело особую актуальность в последние десятилетия XX века – в период наиболее активного потепления (IPCC, 2007). Повышение научного интереса к данному вопросу в России обусловлено также и тем, что «большая часть территории России находится в области максимального (как наблюдаемого, так и прогнозируемого) потепления» (Оценочный доклад, 2008).

В конце XX века появилась перспективная возможность анализировать архивы данных влажности почв, полученные с помощью методов дистанционного зондирования, например, со спутников AQUA AMSR-E, ERS, TRMM-TMI. По сравнению с наземными измерениями почвенной влаги спутниковые данные имеют очевидное преимущество в широте охвата территории наблюдениями, частоте, однородности и высоком пространственном разрешении измерений. Методологические аспекты применения таких данных обсуждаются во многих научных работах (Bartalis et al., 2006; Crow, Ryu, 2009; Kerr et al., 2001; Pinzon et al., 2005; Scipal et al., 2005; Wagner et al., 1999).

Целью статьи является исследование пространственного и временного распределения на юге Европейской России аномалий влажности почвы по спутниковым данным и аномалий атмосферного увлажнения на основе данных сети метеостанций.

### **Материалы и методы**

Исследование изменения влажности почв на равнинной территории юга Европейской России в засушливых степной и сухостепной зонах, а также в полупустынной ландшафтной зоне Прикаспийской низменности (Ландшафтная карта, 1988) в период с мая по сентябрь проведено на основе данных архива спутникового индекса почвенной вла-

ги SWI (Soil Water Index) Технологического Института Вены (Австрия), доступный через Интернет (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar>). Использована 2-х уровневая модель TU-Wien, где 1-й уровень представлен данными влажности почвы на поверхности, полученными на основе дистанционных измерений, содержащих информацию о коэффициентах обратного рассеяния радиометров, установленных на спутниках ERS-1 и ERS-2. Данные 2-го уровня (индекс почвенной влаги SWI) получены применением экспоненциальной функции к данным влажности почвы на поверхности и показывают содержание воды в процентах в почвенной толще глубиной до 1 м. Архивные данные имеют разрешение 12.5 x 12.5 км и представлены подекадными временными рядами за каждый месяц с 1992 по 2006 гг., исключая 2001-2003 гг., когда по причинам технической неисправности спутника измерения не проводились.

Анализ изменений атмосферного увлажнения выполнен с помощью коэффициента увлажнения К. Торнтвейта (КУТ), количественно характеризующего соотношение тепла и влаги. Выбор коэффициента увлажнения для территории исследования был обоснован ранее (Черенкова, Шумова, 2007). Коэффициент увлажнения К. Торнтвейта за каждый месяц с мая по сентябрь каждого года периода 1992-2006 гг. был рассчитан по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков 39-ти метеостанций, находящихся на территории исследования и на сопредельной территории (архив ежемесячных данных ВНИИГМИ-МЦД – <http://www.meteo.ru>) по формулам:

$$\text{КУТ}_i = P_i / E_{0i}, \quad (1)$$

где  $P_i$  – сумма осадков за  $i$ -й месяц года (мм),

$E_{0i}$  – суммарная потенциальная испаряемость за  $i$ -й месяц года (см мес-1), вычисленная по методу К. Торнтвейта (Thornthwaite, 1948):

$$E_{0i} = 1.6C(10T / I)^a, \quad (2)$$

где  $C$  – поправочный широтный коэффициент,

$T$  – средняя месячная температура воздуха, °С,

$I$  – тепловой индекс,  $I = \text{sum} ( T / 5 )^{1.51}$ ,

$a$  – функция теплового индекса,  $a = (67.5 \times 10^{-8} I^3) - (77.1 \times 10^{-6} I^2) + (0.0179 I) + (0.492)$ .

В статье анализируются результаты оценки отклонений от средних значений рассмотренных показателей почвенного и атмосферного увлажнения. Отклонение значений SWI и КУТ от средних многолетних в положительную сторону (положительная аномалия) трактуется в статье как повышенное почвенное и атмосферное увлажнение. Аналогичное отклонение в отрицательную сторону (отрицательная аномалия) означает пониженное почвенное и атмосферное увлажнение. Выход аномалии за величину стандартного отклонения рассматривается как наступление экстремального события и сигнализирует, что наблюдаются условия увлажнения, не характерные для этой зоны увлажнения. Проведен сравнительный анализ пространственного распределения отрицательных экстремумов спутникового индекса почвенной влаги SWI и коэффициента увлажнения КУТ с очагами возникновения опасной атмосферной засухи. Опасная атмосферная засуха (ОАЗ), согласно критерию, рекомендованному Гидрометцентром Росгидромета (Гречиха, 2004), возникает в сезон вегетации, когда в течение не менее 30 дней подряд при среднесуточной температуре возду-

ха выше 25°C осадки не превышают 5 мм в сутки. Динамика опасной атмосферной засухи была исследована ранее (Черенкова, 2007).

Для сравнения пространственного распределения аномалий SWI и КУТ были построены парные карты изолиний, характеризующих пространственное распределение аномалий рассмотренных показателей на юге Европейской России для каждого месяца вегетационного сезона каждого года периода с 1992 по 2006 гг. Карты построены в среде ГИС MapInfo.

### Обсуждение результатов

Анализ данных спутникового индекса почвенной влаги SWI и коэффициента увлажнения КУТ показал, что распределение их аномалий на юге Европейской России за каждый месяц с мая по сентябрь в течение периода 1992-2006 гг. имеет близкие тенденции. В мае группировка лет засушливого периода 1996-1999 гг. сменилась годами с влажными условиями (рис.1 а). Такое изменение условий увлажнения сказалось на уменьшении частоты майских засух на исследуемой территории в начале XXI века (Золотокрылин, Виноградова, 2010). Отрицательные аномалии индекса почвенной влаги и коэффициента увлажнения в июне, июле и августе преобладали на протяжении всего рассмотренного периода, во второй половине периода условия недостаточного почвенного и атмосферного увлажнения стали отмечаться чаще (рис.1 б, в). В сентябре положительные и отрицательные аномалии индекса почвенной влаги и коэффициента увлажнения равномерно чередовались на протяжении всего периода.

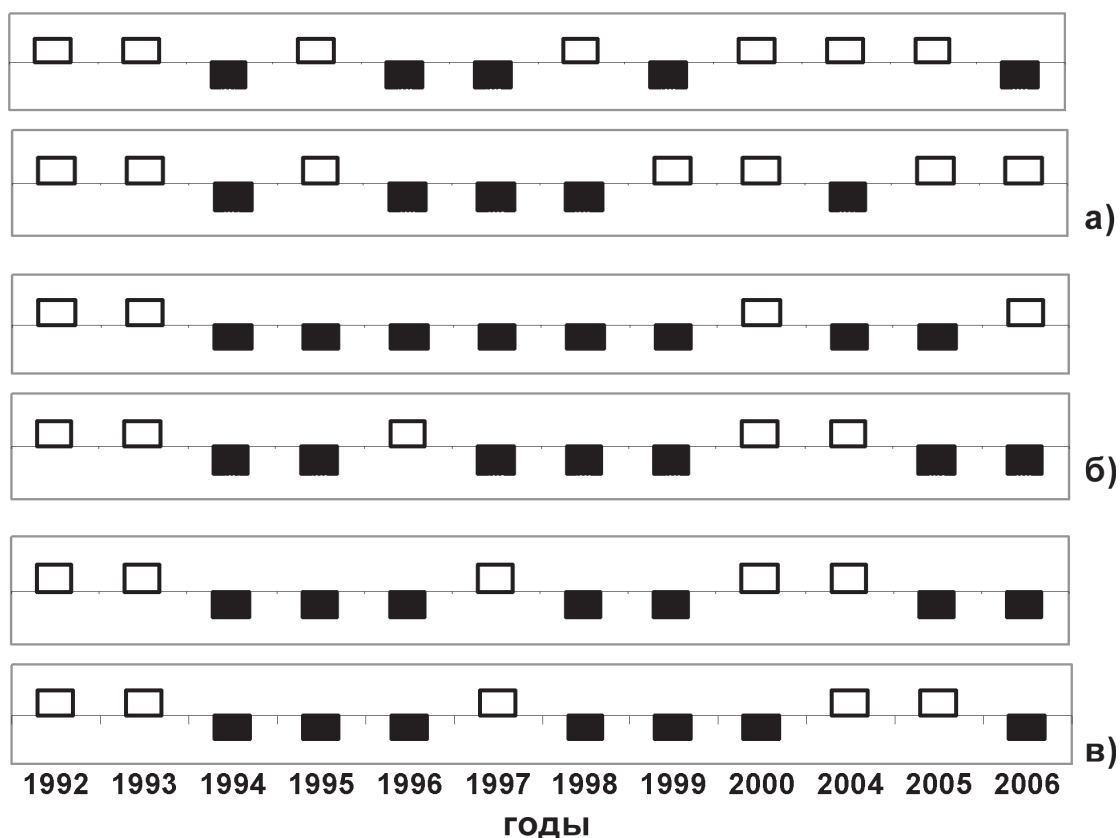


Рис. 1. Изменение аномалий SWI и КУТ в: а) мае, б) июне и в) июле на юге Европейской России в период 1992-2006 гг. Положительные аномалии показаны белым цветом, отрицательные – черным цветом

Атмосферное увлажнение «выше» нормы и условия повышенного почвенного влаго- содержания на юге Европейской России доминировали в 1992, 1993, 1997, 2000, 2004 годы. К годам с преобладающими условиями пониженного увлажнения почвы и атмосферным увлажнением «ниже» нормы можно отнести 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2005 и 2006 годы (Таблица). Таким образом, в период исследования группировки сухих и влажных лет чередовались. Можно сказать, что условия пониженного влагосодержания почвы и атмосферного увлажнения встречались чаще во второй половине рассмотренного периода с учетом того, что пропущенные 2001 и 2003 годы можно отнести к годам с засушливыми условиями на юге Европейской России (Глушко, Лобанова, 2010).

Таблица. Число положительных (i) и отрицательных (ii) аномалий SWI и КУТ

		годы											
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2004	2005	2006
SWI	i	5	5	0	1	1	3	1	0	5	3	1	1
	ii	0	0	5	4	4	2	4	5	0	2	4	4
КУТ	i	4	5	0	1	3	3	0	2	4	3	2	1
	ii	1	0	5	4	2	2	5	3	1	2	3	4

Сравнительный анализ карт изолиний, характеризующих пространственное распределение положительных и отрицательных аномалий SWI и КУТ с мая по сентябрь 1992-2006 гг., выявил хорошую согласованность в знаке аномалий обоих показателей в большинстве рассмотренных случаев. Выявлено, что пространственное и временное распределение отрицательных экстремумов почвенного и атмосферного увлажнения близко соотносится с периодами возникновения опасной атмосферной засухи, очаги которой наблюдаются на юге Европейской России, как правило, с июня по август. Анализ каждого эпизода такой засухи на юге Европейской России в период 1992-2006 гг. позволяет сделать вывод, что формирование такого катастрофического природного явления, как опасная атмосферная засуха, происходило на фоне длительного дефицита почвенного и атмосферного увлажнения. Например, со второй половины июня – до середины августа 1995 г. очаги опасной атмосферной засухи охватили юг Европейской России. Ситуация с такой длительной засухой сложилась в связи тем, что на всей территории с мая по сентябрь наблюдались отрицательные экстремумы значений SWI и КУТ. В засушливое лето 1998 г. и 1999 г. опасная атмосферная засуха развивалась на юге Европейской России в июле и августе. Развитие засухи также сопровождалось длительным по времени распространением отрицательных экстремумов SWI и КУТ с июня по сентябрь на территории исследования. В 2006 г. в течение всего августа на юге Астраханской области наблюдался очаг опасной атмосферной засухи. Засуха сформировалась на фоне экстремально низких для территории Северо-Западного Прикаспия значений индекса SWI с июля по сентябрь и значений КУТ с июня по сентябрь.

### Заключение

Сравнение аномалий спутникового индекса почвенной влаги (SWI) и коэффициента увлажнения (КУТ) выявило сходные тенденции их изменения с мая по сентябрь в период 1992 по 2006 гг. в степной, сухостепной и полупустынной зоне юга Европейской России. Проведенный анализ пространственного распределения аномалий индекса почвенной влаги и коэффициента увлажнения показал, что пространственное распределение знаков

аномалий (как положительного, так и отрицательного) обоих показателей на юге Европейской России хорошо согласовано. Установлено, что возникновение очагов опасной атмосферной засухи в период 1992 по 2006 гг. происходило на фоне отрицательных экстремумов почвенного и атмосферного увлажнения. В июне, июле и августе во второй половине периода 1992-2006 гг. условия пониженного влагосодержания почвы и атмосферного увлажнения «ниже» нормы стали отмечаться чаще.

Работа выполнена при поддержке Программы ОНЗ РАН №12 (проект №13).

## Литература

1. Глушко А.Я., Лобанова С.В. Опасные последствия засух для земель сельхозназначения юга России // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Естественнонаучная». 2010. Выпуск 6. С. 164-167.
2. Гречица А.П. Определение опасных гидрометеорологических явлений // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: III научно-практическая конференция. 22-23 октября 2003г. Доклады и выступления. – М., Едиториал УРСС, 2004. С.19-29.
3. Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В. Динамика засухи на Юго-востоке Европейской России в конце XX – начале XXI веков по спутниковым данным // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. С.-П.: Гидрометеоиздат, 2010, т. XXIII, С. 128-137.
4. Ландшафтная карта СССР. М. 1:4000000. Научн. ред., д.г.н. А.Г. Исаченко. ГУГК при СМ СССР. М.: 1988. 4л.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 2008. 227 с.
6. Черенкова Е.А. Динамика опасной атмосферной засухи в Европейской России // Метеорология и гидрология. 2007. №11. С.14-25.
7. Черенкова Е.А., Шумова Н.А. Испаряемость в количественных показателях климата // Аридные экосистемы, 2007. Том 13. №33-34. С.57-69.
8. Bartalis Z., Scipal K., Wagner W. Azimuthal anisotropy of scatterometer measurements over land // IEEE T. Geosci. Remote. 2006. V. 44(8). P. 2083–2092.
9. Crow W. T., Ryu D. A new data assimilation approach for improving runoff prediction using remotely-sensed soil moisture retrievals // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2009. V. 13. P 1-16.
10. IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds.: Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge, United Kingdom and N.Y., USA: Cambridge University Press, 2007. 996 p.
11. Kerr Y., Waldteufel P., Wigneron J.-P., Martinuzzi J.-M., Font J., Berger M. Soil moisture retrieval from space: The soil moisture and ocean salinity mission (SMOS) // IEEE T. Geosci. Remote. 2001. V. 39. P. 1729–1735.
12. Pinzon J., Brown, M.E. and Tucker, C.J. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: N. Huang (Editor), Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications. 2005. P. 167-186.
13. Scipal K., Scheffler C., Wagner W. Soil moisture-runoff relation at the catchment scale as observed with coarse resolution microwave remote sensing // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2005. V. 9. P. 173–183.
14. Thornthwaite C.W. An approach toward a rational classification of climate // Geog. Rev., 1948. Vol.38. No.1. P.55-94.
15. Wagner W., Lemoine G., Rott H. A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data // Remote Sens. Environ. 1999. V. 70. P. 191–207.

# Anomalies of moistening of the south of European Russia using satellite and observed data

**E.A. Cherenkova**

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences  
Russia, 119017 Moscow, Staromonetnyi per., 29  
E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru*

In paper a change of soil moisture and atmospheric moistening in steppe and semi-desert landscapes of the southern European Russia monthly from May to September in the period 1992-2006 was investigated. The analysis of soil moisture change has been done using satellite data of the Soil Moisture Index. The investigation of dynamics of atmospheric moistening was executed using Thornthwaite Moisture Index on base observed data. The periods of low/high values as «below»/»above» mean annual values were studied. It is shown that the spatial and temporal distribution of anomalies of the Soil Moisture Index is consistent in sign with the anomalies of moisture index.

**Key words:** anomaly, Soil Moisture Index, moisture index, satellite data.