

---

---

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

---

---

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО  
ПОКРОВА ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ  
В КОНЦЕ XX–НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

© 2011 г. Е. А. Черенкова

*Учреждение Российской академии наук Институт географии РАН, Москва*

*E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru*

Поступила в редакцию 17.09.2010 г.

В статье исследовано изменение индекса почвенной влаги SWI и нормированного разностного вегетационного индекса NDVI по данным дистанционного зондирования (ДЗ) ежемесячно с мая по сентябрь в период 1992–2006 гг. в степных и полупустынных ландшафтах юга Европейской России. Определены и изучены периоды пониженного/повышенного влагосодержания почвы и состояния растительного покрова “ниже”/“выше” нормы относительно среднеголетних значений. Показано, что пространственное и временное распределение аномалий индекса почвенной влаги хорошо согласуется по знаку с аномалиями нормированного разностного вегетационного индекса. Проанализирована корреляционная взаимосвязь вегетационного индекса и индекса почвенной влаги для степной и полупустынной ландшафтной зоны.

**Ключевые слова:** аномалия, индекс почвенной влаги, нормированный разностный вегетационный индекс, спутниковые данные

## ВВЕДЕНИЕ

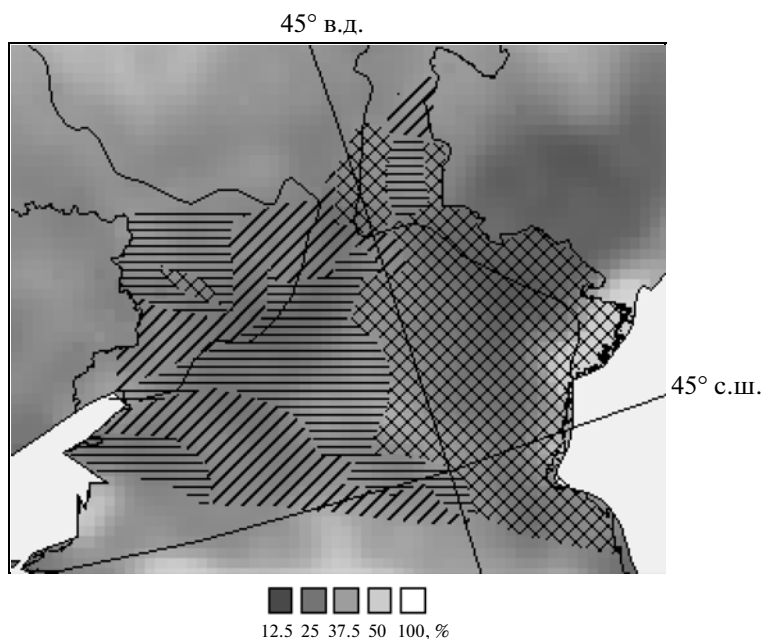
Основное влияние на состояние растительного покрова оказывают выпадающие осадки. Однако и влажность почвы вносит свой вклад в фотосинтез растений, влияет на интенсивность вегетационного процесса. Наблюдения за влажностью почв на территории России проводятся сетью агрометеорологических станций на локальных территориях. Проблема мониторинга содержания влаги в почве в районах неустойчивого увлажнения была и остается актуальной, особенно в современной ситуации изменяющегося климата, когда влажные годы чередуются с засушливыми периодами и участившимися на юге Европейской России засухами (Золотокрылин, Виноградова, 2010; Черенкова, Кононова, 2009).




С конца XX в., когда появились полученные с помощью методов дистанционного зондирования (ДЗ) архивы данных влажности почв и состояния растительного покрова, разрабатываются и дискутируются методологические аспекты применения таких данных (Барталев и др., 2004; Vartalis et al., 2006; Crow, Ryu, 2009; Kerr et al., 2001; Pinzon et al., 2005; Scipal et al., 2005; Tucker et al., 2005; Wagner et al., 1999). Использование спутниковых данных имеет очевидное достоинство, заключающееся в широте охвата территории наблюдениями, частоте, однородности и высоком пространственном разрешении измерений. Ши-

рокие возможности открывает спутниковый мониторинг с.-х. угодий (Барталев и др., 2005).

Но есть и недостатки, которые ограничивают применение архивов: небольшой временной интервал наблюдения, проблематичность корректного сопоставления абсолютных значений спутниковых и наземных данных по причине несовпадения методов, единиц измерения и ограниченности территории наземных измерений. Многие авторы отмечают, что спутниковые данные влажности почв, демонстрируя хорошую пространственную корреляцию с наземными данными, в большинстве случаев имеют тенденцию завышать значения по сравнению с измерениями на поверхности (Albergel et al., 2009; Gruhier et al., 2010; Naeimi et al., 2009; Njoku et al., 2003; Sinclair, Pegram, 2010; Vischel et al., 2008; Wagner et al., 2008; Zhao et al., 2008). Дополнительную проблему создает нелинейность разности значений спутниковых и наземных данных в разных точках земного шара. Отмечается сложность задачи точной интерпретации изменчивости наблюдаемых данных и спутниковых индексов NDVI и SWI из-за невозможности разграничить все особенности взаимодействия между растительностью, климатом и гидрологическими свойствами почвы, присутствующими в спутниковых измерениях (Adegoke, Carleton, 2001).

Цель статьи – исследование изменения влажности почвы и состояния растительного покрова



**Рис. 1.** Агрогидрологические районы юга Европейской России: почвы  – умеренного,  – слабого и  – очень слабого весеннего промачивания. Пространственное распределение в мае средних многолетних значений индекса почвенной влаги SWI (%) показано градациями серого цвета.

на основании данных, полученных со спутников, а также определение и анализ тесноты связи изменения почвенной влажности и состояния растительного покрова.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на равнинной территории юга Европейской России, где преобладают сухие степи на каштановых почвах, опустыненные степи на светло-каштановых почвах, северные пустыни на бурых почвах и с.-х. земли на их месте (Сафронова, 2002). В соответствии с картами наземных экосистем Северной Евразии и растительности России, разработанными в Институте космических исследований РАН (ИКИ) ([http://smisw-ww.iki.rssi.ru/files/presentations/iki\\_2010/bartalev\\_s\\_ik\\_i\\_2010.pdf](http://smisw-ww.iki.rssi.ru/files/presentations/iki_2010/bartalev_s_ik_i_2010.pdf)), на этой территории доминируют засухоустойчивые многолетние дерновинные злаки (ковыль, типчак, полынь, житняк и др.), встречаются разнообразные виды степных кустарников, полукустарников и короткоцветущих эфемероидов и эфемеров (Барталев и др., 2010).

Согласно агрогидрологическому районированию почв Европейской части СССР, учитывающему зональность почв и растительности, а также характеристики почвы, на юге Европейской России присутствуют типы режима влажности почв, для которых характерно очень слабое, слабое и умеренное весеннее промачивание. Максимальные запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы наблюдаются весной и варьируются в зависимости от типа

режима влажности: для почв очень слабого весеннего промачивания (ОСВП) – 110–120 мм, слабого весеннего промачивания (СВП) – 130–145 мм и умеренного весеннего промачивания (УВП) – 150 мм (рис. 1). Минимальные запасы продуктивной влаги присущи летнему сезону и изменяются в интервале 10–30 мм, 25–50 мм и 50–60 мм для почв ОСВП, СВП и УВП соответственно (Кельчевская, 1983).

В данной статье изменения влажности почв на юге Европейской России в период с мая по сентябрь анализировались с помощью архива значений SWI (Soil Water Index) (спутникового индекса почвенной влаги) Технологического института Вены (Австрия), доступного через Интернет (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar>). Использована двухслойная модель TU-Wien, где первый слой (слой 1) представлен данными влажности почвы на поверхности, полученными на основе дистанционных материалов, содержащих информацию о коэффициентах обратного рассеяния радиометров, установленных на спутниках ERS-1 и ERS-2. Данные слоя 1 были приведены к единому углу наклона 40° и пересчитаны в относительные единицы (%) с учетом зависимости особенностей условий увлажнения почвы от географического местоположения. Данные слоя 2, представленные индексом почвенной влаги SWI, получены с применением экспоненциальной функции к данным влажности почвы на поверхности и показывают содержание воды в процентах в почвенной толще глубиной до 1 м. Архивные данные индекса имеют пространствен-

ное разрешение  $12.5 \times 12.5$  км с временным шагом в декаду с 1992 по 2006 гг., исключая 2001–2003 гг., когда по причинам технической неисправности спутника измерения не проводились. Методология подготовки данных Технологическим институтом Вены более подробно описана в документе [http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar/ascats/product\\_sheets/TUW\\_ESCAT\\_SSM\\_W50\\_product\\_sheet.pdf](http://www.ipf.tuwien.ac.at/radar/ascats/product_sheets/TUW_ESCAT_SSM_W50_product_sheet.pdf).

Для анализа состояния растительного покрова на засушливых землях (ниже нормы, выше нормы) в работе использовались двухкомпонентный набор данных GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) интегрированного индикатора активности растений – нормированного разностного вегетационного индекса (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), характеризующего плотность и запасы зеленой фитомассы (<http://gis-lab.info/qa/gimms.html>). Во многих работах (Золотокрылин и др., 2000; Kogan, 1987; Kogan, 1997; Tucker et al., 1985; Tucker, Sellers, 1986) отмечено, что NDVI имеет высокую чувствительность к осадкам и коррелирует с запасами наземной фитомассы.

Вычисление NDVI основано на различном отражении радиационных потоков растительным покровом в видимом (канал K1, 0.58–0.68 мкм) и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах (канал K2, 0.72–1.1 мкм). Образование хлорофилла вызывает поглощение радиации листьями в диапазоне K1 и отражения в диапазоне K2. Для вычисления NDVI используется комбинация обоих диапазонов:

$$NDVI = (K2 - K1)/(K2 + K1). \quad (1)$$

Данные получены с помощью радиометра высокого разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), имеют пространственное разрешение  $0.07^\circ \times 0.07^\circ$  и представлены наборами двух композитов: первый – с 1-го по 15-е числа месяца, второй – с 16-го – по конец месяца (Tucker et al., 2004).

В статье анализируются отклонения от средних значений измеренных данных. Среднегодовые значения индексов SWI и NDVI для каждого месяца (с мая по сентябрь) каждого года за период 1992–2006 гг. получены осреднением исходных данных архивов. Отклонение значений SWI и NDVI от средних многолетних в положительную сторону (положительная аномалия) трактуется в статье как повышенное почвенное увлажнение (по данным SWI) и состояние растительного покрова “выше” нормы (по данным NDVI). Аналогичное отклонение в отрицательную сторону (отрицательная аномалия) означает пониженное почвенное увлажнение (по данным SWI) и ситуацию для фитомассы “ниже” нормы (по данным NDVI). Выход аномалии за величину стандартного отклонения рассматривается как наступление экстремального события. Было про-

ведено сопоставление периодов экстремальных условий почвенного увлажнения с официальной статистикой урожайности зерновых и зернобобовых культур (<http://www.gks.ru>).

Определение периодов с условиями повышенного/пониженного почвенного увлажнения на юге Европейской России осуществлялось по следующей схеме. Каждый месяц с мая по сентябрь каждого года периода 1992–2006 гг. по знаку преобладающей на территории аномалии индекса SWI был охарактеризован либо как месяц с условиями повышенного, либо как месяц с условиями пониженного влагосодержания почвы. Каждый год периода 1992–2006 гг. был отнесен в группу лет с условиями повышенного почвенного увлажнения, если с мая по сентябрь преобладали положительные аномалии индекса, и в группу с условиями пониженного почвенного увлажнения, если с мая по сентябрь доминировали отрицательные аномалии SWI. В процессе формирования и роста растения определяющую роль играют условия увлажнения в начале вегетации. Устойчивый переход среднесуточной температуры через  $10^\circ\text{C}$  в сторону ее повышения считается в агроклиматологии началом сезона активной вегетации. Обычно рассчитывается среднемноголетняя дата этого перехода. По данным климатологических справочников, устойчивый переход температуры через  $10^\circ\text{C}$  происходит в последнюю декаду апреля в Калмыкии, Астраханской обл., в Ставропольском и Краснодарском краях, в южной части Волгоградской обл. Севернее этих территорий переход сдвигается на даты первой-второй декад мая. Начальная фаза сезона активной вегетации в самых южных районах исследуемой территории – это май и в первая декада июня, а в более северных – вторая половина мая и июнь. Поэтому в случае, если в мае и июне на юге Европейской России наблюдалось пониженное влагосодержание почвы, а с июля по сентябрь – повышенное, то год был определен в группу лет с условиями пониженного почвенного увлажнения. Аналогичная процедура на основе оценки знака аномалий вегетационного индекса NDVI была проделана для определения периодов с состоянием растительного покрова выше/ниже нормы.

На основании рассчитанных значений аномалий в узлах сетки были построены парные карты изолиний, характеризующих пространственное распределение значений выше и ниже нормы индекса почвенной влаги и индекса вегетации на исследуемой территории для каждого месяца вегетационного сезона каждого года периода с 1992 по 2006 гг. Карты построены в среде ГИС MapInfo.

Ранее было установлено, что более тесная корреляционная зависимость NDVI и наблюдений метеостанций за влажностью почвы получается, если вегетационный индекс отстает на срок до

Знаки аномалий NDVI и SWI на юге Европейской России с мая по сентябрь в период 1992–2006 гг.: 1 – полностью совпадают; 2 – совпадают в большинстве узлов сетки; 3 – не совпадают в большинстве узлов сетки; 4 – полностью не совпадают

Знаки аномалий	Степная зона		Полупустынная зона	
	севернее 47.5° с.ш.	южнее 47.5° с.ш.	севернее 47.5° с.ш.	южнее 47.5° с.ш.
	число случаев			
1	19	25	27	23
2	25	29	23	30
3	13	6	7	7
4	3	–	3	–

восемью неделям по отношению к наземным данным почвенной влажности (Adegoke, Carleton, 2001). Для проверки этой гипотезы на данных спутниковых индексов для территории юга Европейской России была вычислена корреляция между временными рядами вегетационного индекса в июне–сентябре и взятыми с задержкой в один месяц данными индекса почвенной влаги.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование аномалий индекса почвенной влаги SWI и вегетационного индекса NDVI позволило выявить следующее. В вегетационный период с 1992 по 2006 гг. (за исключением 2001–2003 гг.) условия повышенного почвенного увлажнения на юге Европейской России наблюдались в 1992, 1993, 1997, 2000, 2004 гг. К годам с преобладающими в сезон вегетации условиями пониженного увлажнения почвы можно отнести 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2005 и 2006 гг. Эти периоды соответствуют периодам, когда состояние растительного покрова оценивалось по отклонениям значений NDVI как выше и ниже нормы. Как видим, в рассмотренный период чередовались группировки сухих и влажных лет, а условия пониженного влаго содержания почвы и состояния растительного покрова ниже нормы встречались чаще во второй половине рассмотренного периода с учетом того, что пропущенные 2001 и 2003 г. можно отнести к годам с засушливыми условиями на юге Европейской России (Глушко, Лобанова, 2010).

Динамика аномалий индексов почвенной влаги и вегетации за каждый месяц в течение рассматриваемого периода также имеет близкие тенденции. В мае группировка лет засушливого периода 1996–1999 гг. сменилась годами с влажными условиями (рис. 2а). Такое изменение условий увлажнения сказалось на уменьшении частоты майских засух на исследуемой территории в начале XXI в. (Золотокрылин, Виноградова, 2010). В

июне, июле и августе на протяжении всего рассмотренного периода преобладали отрицательные аномалии индекса почвенной влаги и вегетационного индекса, причем во второй половине периода условия недостаточного почвенного увлажнения и состояния зеленой фитомассы “ниже” нормы стали отмечаться чаще (рис. 2б, 2в). Эти периоды хорошо согласуются с периодами возникновения опасной атмосферной засухи, очаги которой наблюдаются на территории юга Европейской России, как правило, с конца июня по первую половину августа (Черенкова, 2007). В сентябре положительные и отрицательные аномалии индексов почвенной влаги и вегетации равномерно чередовались на протяжении всего периода. Небольшие отличия в знаке аномалий индексов в мае, июне и сентябре можно объяснить тем, что динамика зеленой фитомассы зависит не только от условий влажности почвы, но и от других факторов, таких как изменения осадков, температуры, атмосферной влажности, радиационного баланса и других климатических показателей, оценка влияния которых требует отдельного исследования.

Сравнительный анализ карт изолиний, иллюстрирующих пространственное распределение положительных и отрицательных аномалий SWI и NDVI, выявил хорошую согласованность в знаке аномалий обоих индексов в большинстве рассмотренных случаев. Как видно из таблицы, в степной и полупустынной зоне юга Европейской России преобладали ситуации полного совпадения и совпадения в большинстве узлов сетки знаков аномалий индексов SWI и NDVI. Заметим, что если в течение месяца в период 1992 по 2006 г. на юге Европейской России одновременно соседствовали аномалии разного знака, то, как правило, аномалии одного знака располагались на территории южнее 47.5° с.ш., а другого знака – севернее 47.5° с.ш. (например, как на рис. 3).

В процессе исследования было установлено, что динамика числа положительных экстремумов ин-

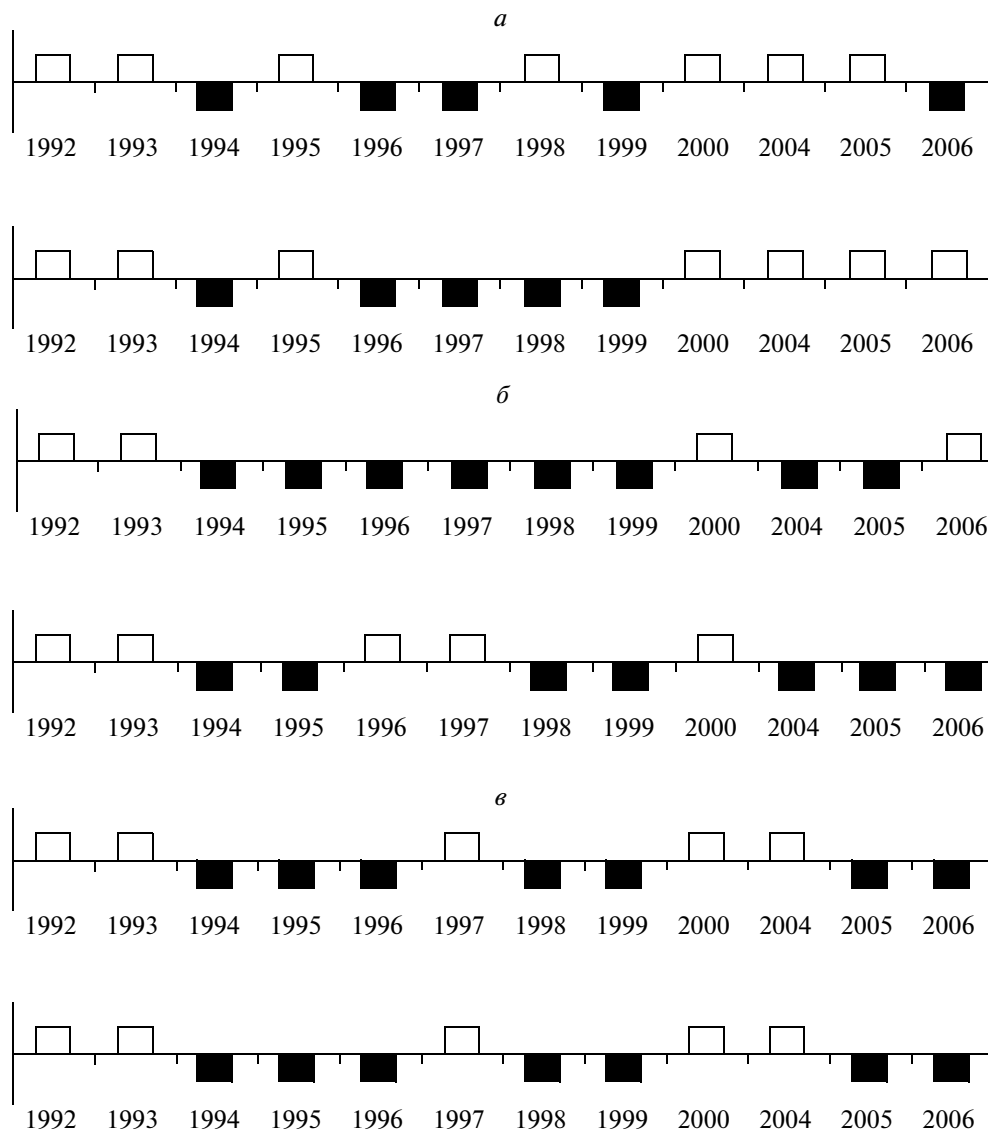


Рис. 2. Изменение аномалий индексов SWI и NDVI: *a* – в мае, *б* – июне и *в* – июле на юге Европейской России в период 1992–2006 гг. Положительные аномалии показаны белым цветом, отрицательные – черным цветом.

декса почвенной влаги и урожайности зерновых и зернобобовых культур (в центнерах с гектара) в Ростовской, Волгоградской, Астраханской обл. и республике Калмыкия имеет схожую структуру: урожайность повышается в годы экстремального переувлажнения почвы в сезон вегетации. Увеличение урожайности зерновых и зернобобовых культур и числа положительных экстремумов SWI наблюдалось в 1993, 1997, 2004 и 2005 гг. Максимальные коэффициенты корреляции выявлены при сравнении урожайности и числа положительных экстремумов SWI с мая по июль: 0.81 – на территории Калмыкии, 0.88 – в Астраханской обл., 0.55 – в Ростовской обл. и 0.61 – в Волгоградской обл.

Наибольшая теснота связи между временными рядами индексов SWI и NDVI в период 1992–2006 гг.

на юге Европейской России отмечалась в зоне степей в августе и сентябре, а в зоне полупустынь – в июне и сентябре. В мае корреляция рядов SWI и NDVI была незначимой практически во всей степной зоне, а в полупустынных ландшафтах значимые коэффициенты корреляции (от 0.53 до 0.7) между индексами наблюдалась в центре зоны (в полосе, ограниченной 46°–48° с.ш.). В июне значения корреляционной зависимости между SWI и NDVI возросли до статистически значимых на юге степной зоны (0.51–0.71) и почти на всей территории полупустынной зоны (0.61–0.81). В июле в степях территория, где имели место значимые коэффициенты корреляции (0.53–0.82 на северо-востоке зоны и 0.53–0.73 на юге и западе зоны), увеличилась, в полупустыне территория значимых коэф-

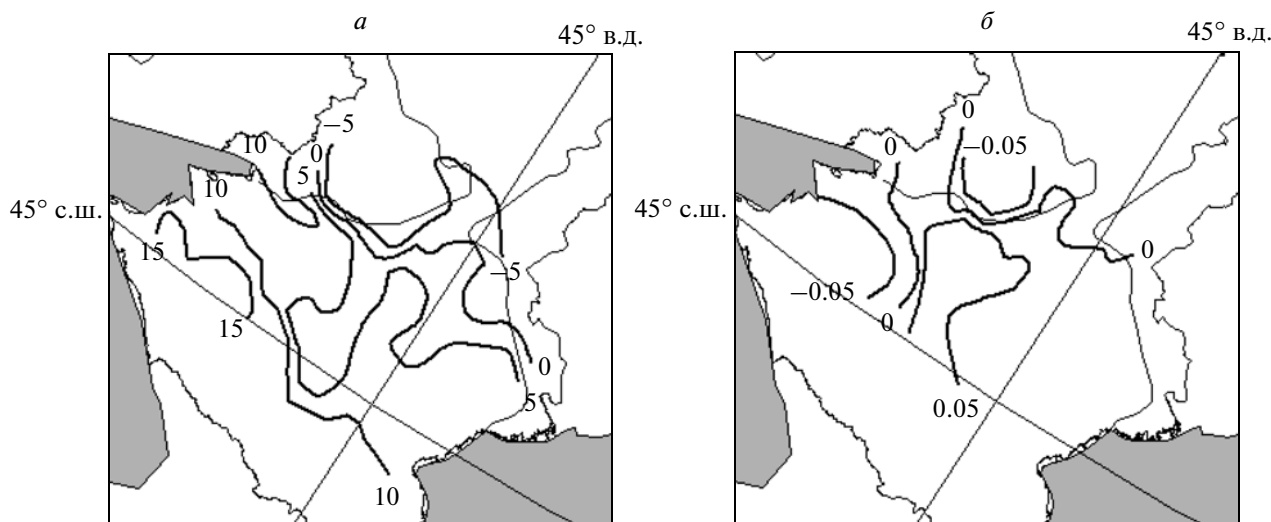


Рис. 3. Аномалии индексов: а – SWI и б – NDVI в июле 1992 г.

коэффициентов корреляции между индексами (0.52–0.86) осталась прежней, но сами значения немного уменьшились. В августе значимые коэффициенты корреляции отмечены практически на всей территории степной (0.5–0.85) и полупустынной (0.54–0.91) зоны, средний по зоне коэффициент корреляции в полупустыне было наибольшим. В сентябре в степях район и величины коэффициентов значимой корреляции (0.54–0.83) уменьшились, а значения корреляционной зависимости в полупустынных ландшафтах по-прежнему были статистически значимыми почти на всей территории зоны. При рассмотрении рядов индекса почвенной влаги и взятого с задержкой в один месяц вегетационного индекса оказалось, что теснота связи между индексами увеличивается только июне и июле для территории степной зоны и уменьшается в полупустыне во все рассмотренные месяцы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ аномалий спутниковых индексов: индекса почвенной влаги (SWI) и индикатора активности растений – нормированного разностного вегетационного индекса (NDVI) на юге Европейской России с мая по сентябрь в период 1992 по 2006 гг. позволил сделать следующие выводы:

- пространственное распределение знаков аномалий (как положительного, так и отрицательного) обоих спутниковых индексов хорошо согласовано;

- изменения аномалий индексов почвенной влаги SWI и индекса вегетации NDVI имеют сходные тенденции;

- во второй половине периода 1992–2006 гг. условия пониженного влагосодержания почвы и состояние зеленой фитомассы ниже нормы наблюдались чаще;

- установлено, что в мае–июне теснота связи между индексами была больше в полупустыне, чем в степной зоне;

- в степной зоне территория со значимыми коэффициентами корреляции рядов вегетационного индекса и индекса почвенной влаги увеличивалась от мая к сентябрю.

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

Автор выражает признательность проф. А.Н. Золотокрылину за консультативную помощь и Т.Б. Титковой за предоставленные данные.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Новая карта растительного покрова России // Восьмая всерос. откр. ежегод. конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. Москва. 15–19 ноября 2010. М.: ИКИ РАН, 2010. С. 7–8.

Барталев С.А., Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А. Синтез улучшенных сезонных изображений Северной Евразии для картографирования и мониторинга динамики растительности по данным SPOT-Vegetation // Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2004. Вып. 5. С. 12–14.

Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю. Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистан-

- ционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН, 2005. С. 228–236.
- Глушко А.Я., Лобанова С.В. Опасные последствия засух для земель сельхозназначения юга России // Сб. научн. тр. СевКавГТУ. Серия естественнонаучная. 2010. Вып. 6. С. 164–167.
- 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.: Гидрометеиздат, 2010. Т. XXIII. С. 128–137.
- Золотокрылин А.Н., Коняев К.В., Титкова Т.Б. Зависимость между аномалиями индекса вегетации и аномалиями месячных сумм осадков в зоне умеренного и недостаточного увлажнения // Исслед. Земли из космоса. 2000. № 6. С. 74–78.
- Кельчевская Л.С. Влажность почв Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 183 с.
- Сафронова И.Н. Фитоэкологическое картографирование Северного Прикаспия. Геоботаническое картографирование 2001–2002. СПб, 2002. С. 44–65.
- Черенкова Е.А. Динамика опасной атмосферной засухи в Европейской России // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 14–25.
- Черенкова Е.А., Кононова Н.К. Связь опасных атмосферных засух в Европейской России в XX веке с макроциркуляционными процессами // Изв. РАН. Серия географическая. 2009. № 1. С. 73–82.
- Adegoke J.O., Carleton A.M. Relations between soil moisture and satellite vegetation indices in the U.S. Corn Belt // J. Hydrometeorol. 2002. V. 8. P. 395–405.
- Albergel C., Roudiger C., Carrer D., Calvet J.-C., Fritz N., Naeimi V., Bartalis Z., Hasenauer S. An evaluation of ASCAT surface soil moisture products with in-situ observations in Southwestern France // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2009. V. 13. P. 115–124.
- Bartalis Z., Scipal K., Wagner W. Azimuthal anisotropy of scatterometer measurements over land // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 2006. V. 44. № 8. P. 2083–2092.
- 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.
- Gruhier C., de Rosnay P., Hasenauer S., Holmes T., de Jeu R., Kerr Y., Mougin E., Njoku E., Timouk F., Wagner W., Zribi M. Soil moisture active and passive microwave products: intercomparison and evaluation over a Sahelian site // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2010. V. 14. P. 141–156.
- Kogan F.N. Vegetation index for areal analysis of crop conditions // Proc. 18th Conf. on Agricult. and Forest Meteorol. 1987. Amer. Meteorol. Soc. West Lafayette (IN). P. 103–106.
- Kogan F.N. Global Drought Watch from Space // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1997. V. 78. P. 621–636.
- 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 Trans. Geosci. Rem. Sens. 2001. V. 39. P. 1729–1735.
- Naeimi V., Bartalis Z., Wagner W. ASCAT soil moisture: An assessment of the data quality and consistency with the ERS scatterometer heritage // J. Hydrometeorol. 2009. V. 10. P. 555–563.
- Njoku E., Jackson T., Lakshmi V., Chan T., Nghiem S. Soil moisture retrieval from AMSR-E // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 2003. V. 41. P. 215–229.
- Pinzon J., Brown, M.E., Tucker C.J. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition / Eds: N. Huang // Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications. 2005. P. 167–186.
- 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.
- Sinclair S., Pegram G.G.S. A comparison of ASCAT and modelled soil moisture over South Africa, using TOPKAPI in land surface mode // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2010. V. 14. P. 613–626.
- Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E. Global Inventory Modeling and Mapping Studies, NA94apr15b.n11-VIg, 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, 04/15/1994. 2004.
- Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous N. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data // Int. J. Rem. Sens. 2005. V. 26. P. 4485–4498.
- Tucker C.G., Sellers P.G. Satellite remote sensing of primary production // Int. J. Rem. Sens. 1986. V. 7. P. 1395–1416.
- Tucker C.G., Vanpraet C.L., Sharman M.J., Van Ittersum G. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalise Sahel: 1980–1984 // Rem. Sens. Env. 1985. V. 17. P. 233–249.
- Vischel T., Pegram G.G.S., Sinclair S., Wagner W., Bartsch A. Comparison of soil moisture fields estimated by catchment modelling and remote sensing: a case study in South Africa // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2008. V. 12. P. 751–767.
- Wagner W., Lemoine G., Rott H. A Method for Estimating Soil Moisture from ERS Scatterometer and Soil Data // Rem. Sens. Env. 1999. V. 70. P. 191–207.
- Wagner W., Pathe C., Doubkova M., Sabel D., Bartsch A., Hasenauer S., Bloschl G., Scipal K., Martinez-Fernandez J., Low A. Temporal stability of soil moisture and radar backscatter observed by the Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) // Sensors. 2008. V. 8. № 2. P. 1174–1197.
- Zhao D., Kuenzer C., Fu C., Wagner W. Evaluation of the ERS Scatterometer-Derived Soil Water Index to Monitor Water Availability and Precipitation Distribution at Three Different Scales in China // J. Hydrometeorol. 2008. V. 9. P. 549–562.

## Using of Satellite Observations for Analysis of Change of Soil Moisture and Vegetation of the Southern European Russia in the End of XX–Beginning of XXI Century

E. A. Cherenkova

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow*

In paper a change of Soil Moisture Index (SWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was investigated using satellite observations in steppe and semi-desert landscapes of the southern European Russia every month from May to September in the period 1992–2006. The periods of low/high soil moistening and a condition of a vegetative cover as “below”/“above” mean annual values were identified and studied. It is shown that the spatial and temporal distribution of deviations of the SWI is consistent in sign with the deviations of NDVI. Correlation between a NDVI and SWI for a steppe and semidesert landscape zone were analyzed.

**Keywords:** anomaly, SMI, NDVI, satellite observations