

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ИНДЕКСА ОСАДКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ РАЙОНА

В. Ф. ПОПОВИЧ, старший научный сотрудник,
Е. А. ДУНАЕВА, кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма
(295453, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150; e-mail: water@crimea.com)

Ключевые слова: водообеспеченность, стандартизированный индекс осадков, мониторинг, картирование, засушливость, ГИС, ДЗЗ, Крым.

В статье изложены принципы и подходы мониторинга уровня водообеспеченности сельских территорий, находящихся в засушливой зоне и ориентированных на богарную систему земледелия, основанные на методологии использования стандартизированного индекса осадков (SPI), рассчитанного по данным наблюдений сети метеослужбы и спутниковой информации. Применение процедур нормализации оценочных параметров индекса делает их сопоставимыми как для различных территорий, так и во временном плане. Картирование с разным временным шагом текущей ситуации по индексу SPI приведено для территории Красногвардейского района на базе обработки многолетних рядов наблюдений за осадками и задействованием инструментария открытых ГИС (QGIS версия 2.18) для периода 2010–2018 гг. Несмотря на в целом влажный период 2014–2016 гг., в отдельные месяцы индекс SPI снижался до значений менее «-1» (засушливые условия), а февраль 2014 г. характеризовался как экстремально сухой (SPI = -2,14). Однако кратковременные периоды засушливых условий практически не оказывали влияния на осредненную водообеспеченность, характеризующуюся 12-месячным значением SPI, близким к «+1» (т. е. влажные годы). С июня 2017 г. величина годовых значений SPI становится устойчиво отрицательной (начало наступления засушливого периода) и, хотя в отдельные месяцы (август 2017 г. и январь-февраль 2018 г.) значения индекса были 0,67, 0,39 и 0,82 соответственно, с сентября 2017 г. 12-месячные значения SPI снизились до «-1» (засушливый период) с отдельными месячными значениями, характеризующимися как экстремально засушливые условия (сентябрь 2017 г., SPI = -2,66, апрель 2018 г., SPI = -2,36). Использование данных дистанционного зондирования Земли (миссия GPM) позволяет картировать внутрирайонное распределение осадков с пространственным разрешением 0,1°, вместе с тем апробация данной технологии для территории Крыма показала их сопоставимую точность только для засушливых периодов.

THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX APPLICATION FOR DISTRICT TERRITORY WATER AVAILABILITY ASSESSMENT

V. F. POPOVYCH, senior researcher,
Ye. A. DUNAIEVA, candidate of technical science, head of laboratory,
Research Institute of Agriculture of Crimea
(150 Kievskaya str., 295453, Simferopol; e-mail: water@crimea.com)

Keywords: water availability, standardized precipitation index, monitoring, mapping, aridity, GIS, RS, Crimea.

The article outlines the principles and approaches for monitoring the level of water availability in rural areas in the arid zone and oriented to rainfed farming, based on the methodology for the use of a standardized precipitation index (SPI) calculated from observations of the meteorological service network and satellite information. The application of procedures for normalization of the estimated parameters of this index makes them comparable for different territories as well as in time. Mapping, with different time steps, of the current situation on the SPI index is given for the territory of the Krasnogvardeysky district on the basis of processing of long-term series of observations of precipitation and using the tools of open geographic information systems (QGIS version 2.18) for the period 2010–2018. Despite the generally wet period of 2014–2016, in some months, the SPI index fell to less than «-1» (arid conditions), and in February 2014 was characterized as extremely dry (SPI = -2.14). However, short-term periods of arid conditions had practically no effect on the average water availability, characterized by a 12-month SPI value close to «+1» (i. e. wet years). Since June 2017, the value of annual SPI values has become steadily negative (the beginning of the onset of the dry period) and although in some months (August 2017 and January-February 2018) the index values were 0.67, 0.39 and 0.82 respectively, since September 2017, 12-month SPI values have fallen to «-1» (dry season) with individual monthly values, characterized as extremely dry conditions (September 2017, SPI = -2.66 and in April 2018 SPI = -2.36). The use of remote sensing data (GPM mission) allows mapping intra-district precipitation distribution with a spatial resolution of 0,1°, at the same time, the approbation of this technology for the territory of the Crimea showed their comparable accuracy only for the dry periods.

Положительная рецензия представлена А. Ю. Мельничуком, доктором технических наук,
заведующим кафедрой Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского.

Использование стандартизированного индекса осадков (Standardized Precipitation Index, SPI) становится все более распространенной методологией мониторинга водообеспеченности территории в сравнении со средними, характерными для данного региона условиями [1, 2, 3]. Обычно для получения комплексных показателей оценки водообеспеченности, кроме геофизических и агрометеорологических параметров, используются показатели состояния водохозяйственной инфраструктуры, зависящие от местных условий, влияние этих параметров ограничивает возможности их сравнения для различных регионов. Наличие данных ограничений и необходимость получения значительного количества дополнительных параметров сужают область применения более сложных оценок, во многих случаях специалисты вынуждены возвращаться к некоторым упрощенным показателям, привнося в их использование новое понимание, новые возможности визуализации, пространственного и временного анализа. Ярким примером этого является использование SPI, разработанного немногим более двух десятилетий назад, но получившего новое восприятие благодаря современным технологиям его использования не только для мониторинга уровня текущей засушливости (водообеспеченности) территории, но и для визуализации этих процессов для проведения сравнительного анализа на уровне сельских поселений, районов и регионов в целом. Применение SPI совместно с пространственно-распределенной спутниковой информацией о состоянии растительного покрова позволяет существенно повысить точность прогнозирования уровня урожайности сельскохозяйственных культур [4].

Особенностью нормализованных значений величин осадков за периоды различной продолжительности (один месяц и более) является сопоставимость уровня отклонения индекса SPI от нулевого значения при соответствующем анализе ситуации независимо от локальных условий. Так, сопоставим уровень отклонения осадков для степной, предгорной и горной частей Крыма, для которых норма осадков может отличаться в 2–2,5 раза. Вместе с тем задействование дополнительных возможностей привлечения спутниковой информации (например, данных миссии глобального измерения осадков – Global Precipitation Measurement, GPM [5]) может повысить уровень детализации анализа с учетом пространственного решения данных ($0,1^\circ$ для материалов GPM).

SPI представляет собой безразмерное центральное отклонение, выраженное числом среднеквадратических отклонений. В отношении к осадкам анализ проводится по отклонению месячных сумм осадков от их среднего значения за расчетный интервал, отнесенного к стандартному отклонению.

Опыт картирования SPI для территории Крыма с использованием данных стационарной сети метеорологических станций и спутниковой информации [6, 7] показал необходимость более детальной оценки точности используемых спутниковых данных, особенно на локальном уровне.

Цель и методика исследований. Целью работы является отработка методологии оценки степени водообеспеченности территории на уровне района с задействованием индекса SPI в водноограниченных условиях степной части Крымского полуострова с использованием данных наземных и спутниковых наблюдений.

Задачи исследований включали сбор и анализ данных гидрометеорологической службы, а также данных ДЗЗ о распределении осадков по пилот-территории, проведение расчетов динамики SPI с различным временным трендом, сравнение уровня варьирования индекса по территории, особенно в острозасушливые периоды.

Территория исследований – пилот-территория Красногвардейского муниципального района. Район расположен в центральной части Крыма и является типичным для степной части полуострова. Территория района составляет 1765,8 тыс. га. По состоянию на начало 2018 г. в его состав входят 20 сельских поселений, при этом на территории одного из них находится стационарная метеорологическая станция (Клепинино), данные которой считаются репрезентативными для территории района.

Апробированные ранее [8, 9, 10] процедуры картирования уровня обеспеченности осадками территории Крыма, юга Украины и Российской Федерации, основанные на данных стационарных метеорологических станций, показали возможности применения этой методологии для мониторинга текущей ситуации на уровне от зоны репрезентативности метеорологической станции (в Крыму в среднем одна метеостанция на район) до региона в целом. Вместе с тем развитие спутниковых технологий, повышение качества и уровня доступности данных ДЗЗ, в том числе данных о пространственном и временном распределении осадков, создает предпосылки для более детального пространственного анализа, что может повысить достоверность оценки водообеспеченности, особенно в периоды выпадения ливневых осадков (весенне-летний период).

Методология расчета и предложения по применению SPI были разработаны более 20 лет назад (МакКее и др. [11]). В качестве базовой в первичном алгоритме расчета индекса использована гамма функция распределения вероятности выпадения осадков, в более поздних исследованиях предложены варианты реализации и других функций (в зависимости от локальных особенностей региона) [3].

Таблица 1

Оценка водообеспеченности периода в зависимости от значения стандартизированного индекса осадков

Table 1

Water availability of the period assessment depending on the Standardized Precipitation Index value

Значение SPI <i>SPI value</i>	Характеристика периода <i>Period characteristic</i>	Вероятность, % <i>Probability, %</i>	
		превышения <i>exceeding</i>	меньшего значения <i>less value</i>
> 3,00	чрезвычайно влажный <i>extrimally wet</i>	< 0,13	> 99,87
2,00	экстремально влажный <i>extrimally wet</i>	2,28	97,72
1,50	очень влажный <i>severe wet</i>	6,68	93,32
1,00	влажный <i>wet</i>	15,87	84,13
0,00	средний <i>average</i>	50,00	50,00
- 1,00	засушливый <i>dry</i>	84,13	15,87
- 1,50	очень засушливый <i>severe dry</i>	93,32	6,68
- 2,00	экстремально засушливый <i>extrimally dry</i>	97,72	2,28
< - 3,00	чрезвычайно засушливый <i>extrimally dry</i>	> 99,87	< 0,13

Таблица 2

Обеспеченность осадков по годам для периода 2010–2017 гг., метеостанция Клепинино

Table 2

Annual precipitation probability for the period 2010–2017, weather station Klepinino

Год <i>Year</i>	Сумма осадков за год, мм <i>Annual precipitation, mm</i>	Обеспеченность, % <i>Probability, %</i>
2010	590,9	11,8
2011	331,3	80,0
2012	251,3	96,5
2013	418,9	53,0
2014	619,4	9,7
2015	567,7	18,0
2016	646,9	5,6
2017	287,5	90,3

Существенный недостаток влаги и засушливые явления начинаются при значении индекса SPI ниже «-1». Границы зон засушливости или переувлажненности и их характеристика приводятся исходя из вероятности наступления событий, учитывая приведение закона распределения осадков к нормальному закону распределения вероятности (см. табл. 1, она расширена и видоизменена по сравнению с базовой [11]).

Для расчета SPI используются многолетние данные об осадках (месячные суммы), рекомендуемый ряд наблюдений – не менее 30 лет. В зависимости от целей анализа расчетный интервал может составлять от одного до 48 месяцев, при этом более короткие интервалы (один – три месяца) используются для мониторинга возникновения метеорологической и сельскохозяйственной засух.

Для определения параметров формы и масштаба кривой вероятности гамма распределения осадков используются метод моментов или метод наибольшего правдоподобия. Гамма функция не определена при нулевых значениях аргумента (т. е. при нулевых суммах осадков за месяц), поэтому в таких случаях накопленное значение определяется суммированием вероятности наступления периодов без осадков и значения интеграла вероятности плотности гамма распределения. Для перехода от гамма распределения к нормальному распределению вероятностей можно использовать уравнения аппроксимации (см., например, [9]).

В работе рассмотрен пример оценки уровня обеспеченности осадками территории Красногвардейского района с использованием стандартизированного индекса осадков и применением для анализа не

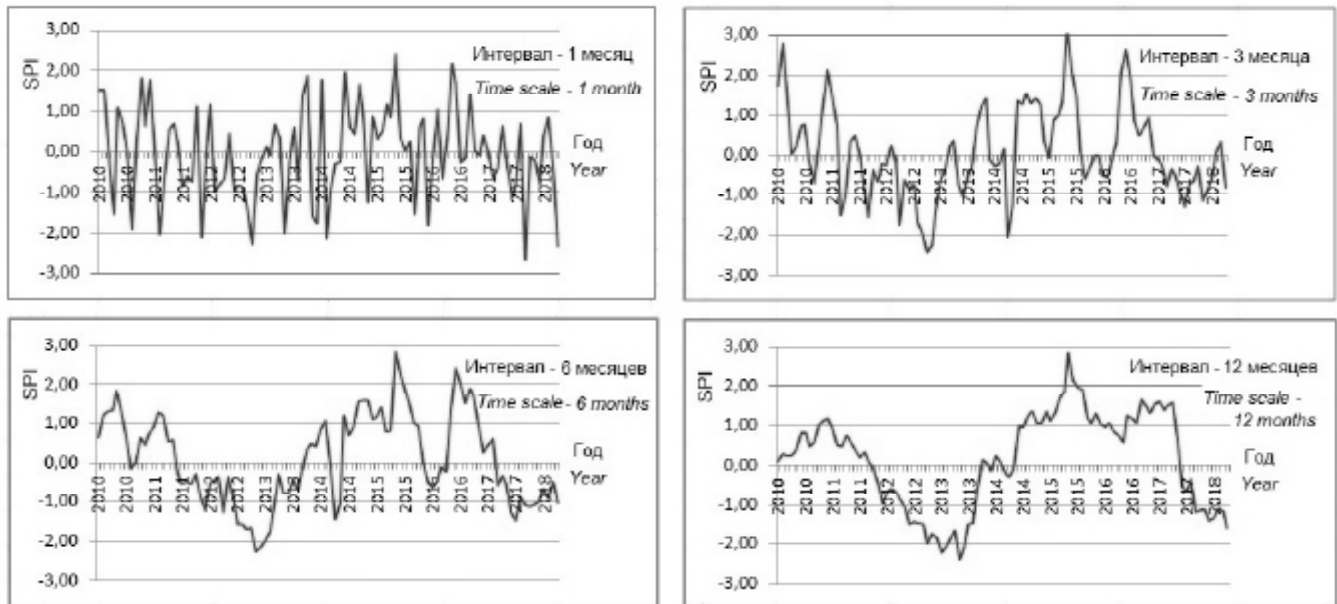


Рис. 1. Динамика SPI для Красногвардейского района (метеостанция Клепино) за период 2010 г. – начало 2018 г. с расчетными интервалами 1, 3, 6 и 12 месяцев
 Fig. 1. SPI dynamics for Krasnogvardeysky district (Klepino weather station) for the period of 2010 – beginning of 2018 with estimated time scales of 1, 3, 6 and 12 months

только материалов сети стационарных метеорологических станций Крыма (в расчетах использованы архивные данные гидрометслужбы Украины, данные погодного информера Rp5 [12], баз данных с открытым доступом NASA [13] и ЕС [14], материалы метеостанции Клепино), а также данные о пространственном и временном распределении осадков миссии (проекта) глобального измерения осадков GPM [5].

Результаты исследований. Оценка варьирования водообеспеченности в условиях богарного земледелия в засушливой зоне при отсутствии дополнительных внешних водных ресурсов в первую очередь определяется динамикой выпадения осадков, их объемом и распределением по территории.

Степная часть Крыма относится к территории рискованного земледелия с большой вероятностью возникновения засух различной продолжительности и интенсивности. Норма осадков колеблется от 360–370 мм в западной и северо-западной частях до 450–480 мм в центральной и восточной частях степной зоны полуострова [15] с существенной вариацией осадков по годам. Переориентация сельскохозяйственного комплекса Крыма с 2014 г. на технологии богарного земледелия предъявляет повышенные требования к системе мониторинга засушливости его территории.

Характеристика обеспеченности осадками текущего десятилетия по данным метеостанции Клепино приведена в табл. 2 (расчетный ряд – 1970–2017 гг.).

Анализ приведенных метеоданных показывает, что за последние восемь лет обеспеченность осадками за год в зоне репрезентативности метеостанции Клепино (Красногвардейский район) была близкой к средней: три засушливых (2011, 2012, 2017),

четыре влажных года (2010, 2014–2016) и один близкий к среднему (2013).

Естественная водообеспеченность определяется в первую очередь имеющимися местными водными ресурсами и может характеризоваться соотношением осадков и суммарного испарения, густотой речной сети или модулем стока с территории. При этом поступление энергетических ресурсов на территорию, определяющее уровень потенциального суммарного испарения, является величиной более постоянной, поэтому текущее состояние обеспеченности водными ресурсами (без учета изменения почвенных влагозапасов) в первую очередь определяется количеством осадков за определенный период (как в краткосрочном, так и в среднесрочном плане, что особенно важно для территорий сельскохозяйственного использования). Используемый в расчете SPI переменный интервал расчетов позволяет одновременно проводить мониторинг различных процессов, в том числе оценивать доступность водных ресурсов или почвенной влаги для сельскохозяйственных культур (или уровень их дефицита), что в аридных условиях является основным фактором, определяющим уровень возможной потенциальной урожайности.

Вариация нормализованных отклонений осадков – стандартизированный индекс осадков, рассчитанный по многолетним данным месячных сумм осадков метеостанции Клепино за январь 1970 г. – апрель 2018 г. с различными временными интервалами показывает, что в период 2010–2018 гг. (рис. 1) максимальные отклонения в сторону увлажнения территории наблюдались для всех расчетных интервалов в мае 2015 г. (SPI = 2,41; 3,14; 2,85; 2,84 – для одно-, трех-, шести- и 12-месячных интервалов со-

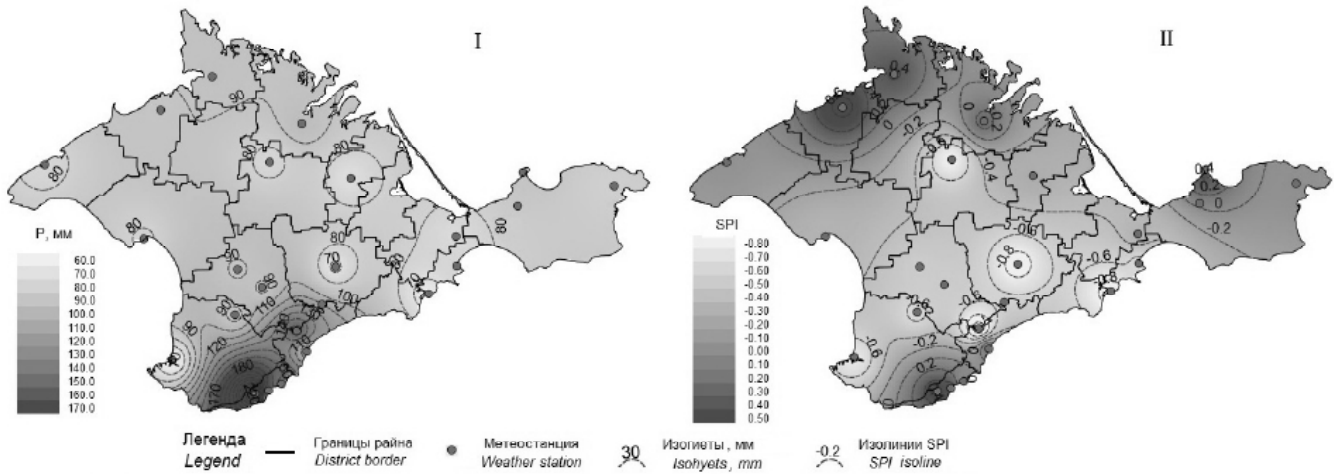


Рис. 2. Варьирование осадков (I) и индекса SPI (II)

при картировании водообеспеченности за февраль – апрель 2018 г. на уровне районов

Fig. 2. Variation of precipitation (I) and SPI (II) index for mapping of water availability for February – April 2018 at the district level

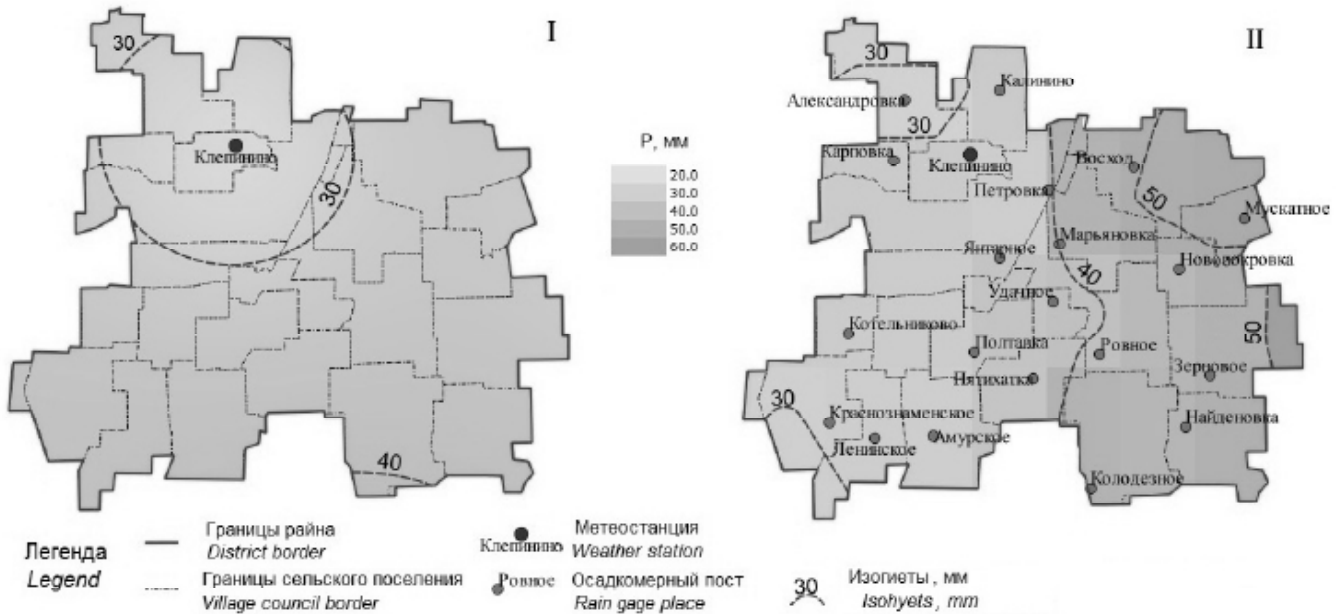


Рис. 3. Оценка варьирования осадков по территории Красногвардейского района (март 2018) по данным метеостанций (I) и GPM (II)

Fig. 3. Evaluation of precipitation variation at Krasnodar deysky (March 2018) district by the meteorological stations data (I) and GPM (II)

ответственно), а максимально засушливыми были сентябрь 2017 г. (SPI = -2,66 – для одномесячного интервала) и конец 2012 г. – начало 2013 г. (SPI = -2,46; -2,23; -2,39 для одно-, шести- и 12-месячных интервалов). Небольшие интервалы расчетов (1–3 месяца) позволяют анализировать временное снижение доступности влаги растениям. Периоды 6–12 месяцев сопоставимы с периодом онтогенеза сельскохозяйственных культур и дают возможность, по сравнению с укрупненной оценкой отдельных лет (см. табл. 2), анализировать динамику длительных влажных и засушливых периодов, которые в богарных условиях оказывают существенное влияние на продуктивность растений. В годовом цикле в рассматриваемый период наблюдалось два более засушливых (октябрь 2011 г. – сентябрь 2013 г., июнь 2017 г. – апрель 2018 г. и далее) по сравнению со средними

условиями периода и два влажных (январь 2010 г. – сентябрь 2011 г., июнь 2014 г. – май 2017 г.), при этом минимального и максимального значения индекс SPI достигал в мае 2013 г. (экстремально засушливые условия) и в мае 2015 г. (экстремальное увлажнение).

Отдельные периоды краткосрочной засушливости, даже при низких значениях SPI, могут не оказывать резко негативного влияния на развитие растений (при наличии достаточных влагозапасов в почве). Однако при совпадении краткосрочных периодов экстремальной засухи с длительным засушливым периодом он однозначно характеризуется как период сельскохозяйственной засухи с существенным снижением биологической продуктивности растений.

Результаты картирования варьирования пространственной увлажненности территории Крыма по сумме осадков (февраль – апрель 2018 г.) и по SPI (на

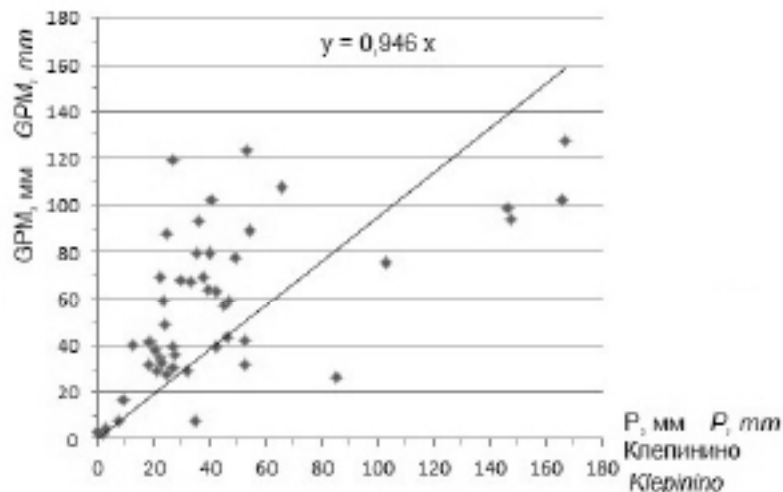


Рис. 4. Соотношение месячных сумм осадков, измеренных на метеостанции Клепинино, и данных GPM (апрель 2014 г. – апрель 2018 г.)
 Fig. 4. The ratio of monthly precipitation amounts measured at the Klepinino weather station and GPM data (April 2014 – April 2018)

апрель 2018 г., трехмесячный интервал), построенные с использованием точечных данных метеостанций Крыма, с визуализацией результатов средствами открытой ГИС (QGIS 18.0) показывают существенные различия в оценках уровня увлажненности (рис. 2). И хотя абсолютная величина осадков в горной и предгорной зонах существенно превышает значения сумм осадков в степной зоне (рис. 2 I), уровень отклонения их от нормы за данный временной период отличается от степной части не так значительно (рис. 2 II, критериальные значения SPI, приведены в табл. 1).

Плотность существующей сети стационарных метеорологических станций в степной части Крымского полуострова составляет чуть менее одной станции на район. В советский период во многих колхозах и совхозах функционировали осадкомерные посты, которые позволяли получать информацию о более детальном распределении осадков внутри территории района (расположение осадкомерных постов – см. рис. 3 II).

В настоящее время источником дополнительной информации, кроме данных государственной стационарной сети метеорологических наблюдений, могут быть данные локальных автоматизированных станций (количество которых в Крыму пока несущественно), а также данные ДЗЗ, например материалы миссии GPM, позволяющие при разрешении спутниковой информации $0,1^\circ$ получать в среднем для района Крыма 20–30 дополнительных мониторинговых участков (гридов), информация по которым доступна с апреля 2014 г. (начало миссии) с получасовым интервалом. Данные GPM интегрируются сервисом NASA [16] в суточные растровые цифровые изображения и могут представляться в виде растровых данных за более длительные временные интервалы. Эта информация может быть источником, при соответствующей ее верификации, более детального картирования осадков внутри районов (варианты

картирования распределения осадков по территории района за март 2018 г., выполненные только с учетом данных стационарных метеостанций и данных GPM, приведены на рис. 3 I и 3 II соответственно).

Как указывалось ранее, одно-, трех-, 12-месячные значения индекса SPI активно используются для мониторинга возникновения сельскохозяйственной засухи и рекомендованы Всемирной метеорологической организацией для внедрения в виде стандартной процедуры мониторинга во всех странах [3]. Анализ засушливости территории с использованием этого индекса доступен на базе укрупненных гридов в сервисах нескольких пространственных баз данных [17]. Применение в мониторинге сельскохозяйственной засухи более детализированных данных ДЗЗ может позволить существенно улучшить пространственную точность результатов. Вместе с тем проведенный анализ тесноты связи месячных сумм измеренных величин осадков по метеостанции Клепинино и соответствующих сумм осадков для грида сервиса GPM, покрытие которого включает место расположения осадкомера, показывает что эта теснота очень низкая (коэффициент детерминации $r^2 = 0,36$, рис. 4).

Разброс данных измеренных значений осадков по метеостанции (точечные измерения) и пространственных данных (площадь грида более 80 км^2) может быть вызван как пространственной вариацией выпадающих осадков, так и проблемами, связанными с необходимостью дополнительной калибровки данных для территории. Для оценки возможности использования данных миссии GPM для территории Крыма необходимо проведение дополнительных исследований по репрезентативности этих данных на внутрирайонном уровне.

Выводы. Проведенные исследования показали, что применение стандартизированного индекса

осадков (SPI) с временными интервалами различной продолжительности может быть эффективным инструментом мониторинга для анализа засушливости территории на уровне районов. По сравнению с обычным анализом обеспеченности территории осадками нормализованные значения индекса дают возможность сопоставить степень засушливости вне зависимости от природно-климатической зоны (степная, предгорная и др.) и перейти от анализа отдельных периодов к одновременной оценке динамики различных трендов.

Применение данных GPM для картирования пространственного распределения осадков по территории степных районов Крыма может на порядок увеличить точность пространственного картирования водообеспеченности территории. Вместе с тем повышение точности пространственной оценки водообеспеченности территории с задействованием данных

ДЗЗ требует для территории степной части Крыма проведения дополнительных исследований, связанных с уровнем репрезентативности спутниковой информации, так как теснота связи данных наземных наблюдений и данных GPM за период 2014 г. – начало 2018 г. очень низкая (коэффициент детерминации $r^2 = 0,36$).

Вместе с тем анализ расхождения точечных данных об осадках локальной районной метеостанции (Клепинино) и данных спутниковых сервисов показывает очень существенные различия, особенно в зимние месяцы, что позволяет сделать вывод о необходимости локальной и региональной калибровки спутниковых данных об осадках, а также о потребности в установке дополнительных осадкомерных постов на территории района для получения более точных оценок пространственного варьирования осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования, науки и молодежи Республики Крым в рамках научного проекта № 17-45-92026 p_a.

Литература

1. Xia L., Zhao F., Mao K., Yuan Z., Zuo Z., Xu T. SPI-based analyses of drought changes over the past 60 years in China's Major Crop-Growing Areas // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10 (2):171. P. 1–15. doi:10.3390/rs10020171.
2. Osuch M., Romanowicz R. J., Lawrence D., Wong W. K. Trends in projections of standardized precipitation indices in a future climate in Poland // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016. Vol. 20. P. 1947–1969. doi: 10.5194/hess-20-1947-2016.
3. Свобода М., Хайес М., Вуд Д. Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков [Электронный ресурс] // Всемирная метеорологическая организация (ВМО-№ 1090). 2012. Женева. 26 с. URL : http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf (дата обращения: 21.05.2018).
4. Клещенко А. Д., Савицкая О. В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизированного индекса осадков по спутниковой и наземной информации // *Труды ГГО.* 2014. Вып. 571. С. 147–161.
5. Hou A. Y., Kakar R. K., Neeck S., Azarbarzin A., Kummerow C. D., Kojima M., Oki R., Nakamura K., Iguchi T. The Global Precipitation Measurement Mission // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 95. 2014. P. 701–722. doi:10.1175/BAMS-D-13-00164.1.
6. Дунаева Е. А. Использование систем навигации для целей технологического сельскохозяйственного мониторинга // *Таврический вестник аграрной науки.* 2016. № 2. С. 138–148.
7. Дунаева Е. А. Методологические и информационные основы оценки водообеспеченности территорий средствами ДЗЗ и ГИС // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2017. Т. 14. № 3. С. 173–181.
8. Popovych V., Dunaieva Ie. Monitoring and evaluation of water availability of the south of Ukraine and Russian Federation with usage of the Standardized Precipitation Index // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* Vol. 3. Is. 9. 2014. P. 24–27.
9. Попович В. Ф., Дунаева С. А., Коваленко П. І. Використання стандартизованого індексу опадів (SPI) для оцінки рівня водозабезпеченості території та умов роботи водогосподарських об'єктів // *Вісник НУВГП.* 2014. № 2. С. 34–42.
10. Страшная А. И., Тищенко В. А., Береза (Чуб) О. В., Богомолова Н. А. О возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур // *Труды Гидрометцентра России.* 2015. № 357. С. 81–97.
11. McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17–22 January 1993.* P. 179–184. URL : http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf (дата обращения: 21.05.2018).

12. Расписание Погоды [Электронный ресурс] // URL : <http://rp5.ru> (дата обращения: 05.05.2018).
13. База данных осадков США NCDC [Электронный ресурс] // URL : <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod> (дата обращения: 15.05.2018).
14. База данных осадков ЕС (ECA, European Climate Assessment) [Электронный ресурс] // URL : <http://eca.knmi.nl/dailydata> (дата обращения: 10.05.2018).
15. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986–2005 рр.) / за ред. О. І. Прудка, Т. І. Адаменко // ЦГМ в АРК. Сімферополь : Таврида. 2011. 344 с.
16. Доступ к научным данным о Земле NASA (Access NASA Earth science data) [Электронный ресурс] // URL : <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni> (дата обращения: 21.05.2018).
17. Chervenkov H., Tsonevsky I., Slavov K. Possibility for Drought Assessment with Gridded Datasets of the Standardized Precipitation Index // *Bulgarian Geophysical Journal*. Vol. 40. 2016. P. 85–97.

References

1. Xia L., Zhao F., Mao K., Yuan Z., Zuo Z., Xu T. SPI-based analyses of drought changes over the past 60 years in China's Major Crop-Growing Areas // *Remote Sens*. 2018. Vol. 10 (2):171. P. 1–15. doi:10.3390/rs10020171.
2. Osuch M., Romanowicz R. J., Lawrence D., Wong W. K. Trends in projections of standardized precipitation indices in a future climate in Poland // *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2016. Vol. 20. P. 1947–1969. doi: 10.5194/hess-20-1947-2016.
3. Svoboda M., Hayes M., Wood D. Standardized Precipitation Index. User Guide // World Meteorological Organization (WMO–No. 1090). 2012. Geneva, 26 p. URL : http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf (reference date: 21.05.2018).
4. Kleshchenko A. D., Savickaya O. V. Estimation of spatial-temporal distribution of grain crops yield and standardized precipitation index on satellite and ground information // *Proceedings of GGO*. 2014. Is. 571. P. 147–161.
5. Hou A. Y., Kakar R. K., Neeck S., Azarbarzin A., Kummerow C. D., Kojima M., Oki R., Nakamura K., Iguchi T. The Global Precipitation Measurement Mission // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 95. 2014. P. 701–722. doi:10.1175/BAMS-D-13-00164.1.
6. Dunaieva Ie. A. Use of navigation system for agricultural technological monitoring // *Taurida herald of agrarian science*. 2016. No. 2. P. 138–148.
7. Dunaeva E. A. Methodological and informational bases of water availability estimation of a territory by remote sensing and GIS means // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2017. Vol. 14. No. 3. P. 173–181.
8. Popovych V., Dunaieva Ie. Monitoring and Evaluation of Water Availability of the South of Ukraine and Russian Federation with Usage of the Standardized Precipitation Index // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol. 3. Is. 9. 2014. P. 24–27.
9. Popovych V. F., Dunajeva Ie. A., Kovalenko P. I. Standardized precipitation index usage for estimation of water availability of the territory and the water facilities operating conditions // *Bulletin of NUVHP*. 2014. Vol. 2. P. 34–42.
10. Strashnaya A. I., Tishchenko V. A., Bereza (Chub) O. V., Bogomolova N. A. On the possibility of using a standardized precipitation index to identify droughts and in the forecasts of a quantitative assessment of the yield of cereals and leguminous crops // *Proceedings of the Hydrometcentre of Russia*. 2015. Vol. P. 81–97.
11. McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17–22 January 1993*. P. 179–184. URL : http://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf (reference date: 21.05.2018).
12. Weather schedule // URL : <http://rp5.ru> (reference date: 05.05.2018).
13. Access climate data center NCDC // URL : <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod> (reference date: 15.05.2018).
14. Access ECA (European Climate Assessment) dataset // URL : <http://eca.knmi.nl/dailydata> (reference date: 10.05.2018).
15. Agroclimatic reference book on Autonomous Republic Crimea, 1986–2005 / eds. O. I. Prudko, T. I. Adamenko // *CHM v ARK. Simferopol : Tavryda*, 2011. 344 p.
16. Access NASA Earth Science Data // URL : <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni> (reference date: 21.05.2018).
17. Chervenkov H., Tsonevsky I., Slavov K. Possibility for Drought Assessment with Gridded Datasets of the Standardized Precipitation Index // *Bulgarian Geophysical Journal*. Vol. 40. 2016. P. 85–97.