

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ИНДЕКСА ОСАДКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМА РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ

Попович В. Ф., Дунаева Е. А.

STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX USAGE FOR RESERVOIRS OPERATION REGIME ANALYSIS

Popovych V. F., Dunaieva Ie. A.

Аннотация

Введение: проанализирована взаимосвязь уровня доступности водных ресурсов водохранилищ городского водного цикла засушливой зоны со значениями стандартизированного индекса осадков (Standardized Precipitation Index, SPI). Научная новизна работы заключается в выявлении возможности использования SPI при принятии адекватных управляющих решений, связанных с необходимостью существенного ограничения использования водных ресурсов. **Методы и материалы:** водообеспеченность территории проанализирована с помощью стандартизированного индекса осадков, использованы временные интервалы SPI с периодами от полугода и более. **Результаты:** на примере городского водного цикла г. Симферополя показана взаимосвязь суммарного дефицита водного баланса города и периодов низких значений SPI, особенно при совместном анализе годового, двух- и трехлетнего циклов. **Заключение:** предложено использовать SPI, наряду с инструментарием гидрологического и агрогидрологического моделирования для прогнозирования наступления водохозяйственной засухи в водоограниченных регионах. Для моделирования наступления вододефицитных периодов Симферопольского водохранилища наиболее эффективно совместное использование 24- и 36-месячных расчетных интервалов SPI.

Ключевые слова: обеспеченность, водные ресурсы, доступность, водохранилище, стандартизированный индекс осадков.

Введение

Естественная водообеспеченность Крымского полуострова достаточно низкая, вариация местного стока по годам приводит к его существенному дефициту, особенно в длительные засушливые периоды. Например, в XVIII столетии п-ов Крым дважды, в 1833 и 1880 годах, страдал от жесточайших засух, и после засухи 1833 г. пространство между городами Феодосией и Керчью оставалось практически безлюдным до 1840 г. [2], а засуха 1920–1921 гг. привела к настолько силь-

Abstract

Introduction: the interrelation between the level of availability of water in the reservoirs of the urban water cycle of the arid zone with the values of the standardized precipitation index (SPI) has been analyzed. The scientific novelty of the work is to reveal the opportunities for using SPI in order to provide adequate control actions that significantly limit the use of water resources. **Methods and materials:** water availability of the territory has been analyzed with usage of the standardized precipitation index, half of year and longer time scale intervals have been used. **Results:** by the example of the urban water cycle of the city of Simferopol the interrelation of the total deficit of the city's water balance and the periods of low SPI values is shown, especially in the joint analysis of the annual, biennial and a three-year cycle. **Conclusion:** the use of SPI along with the tools of hydrological and agrohydrological modelling was suggested for prediction droughts in the regions that suffer from water shortage. Joint use of 24- and 36-month SPI calculation scales is the most effective to simulate the periods of water-deficiency in the Simferopol reservoir.

Keywords: probability, water resources, availability, reservoir, standardized precipitation index

ному голоду, что в начале 1922 г. полуостров был отнесен к числу регионов, которые голодают.

В средний по водности год водные ресурсы п-ова Крым оцениваются в размере 910 млн м³ [9], что составляет около 450 м³ на одного жителя и позволяет отнести полуостров к территории с существенным их недостатком (индекс Фалькенмарка менее 500 м³ в год на одного человека), а для территории водного цикла г. Симферополя этот показатель еще ниже и составляет около 210 м³ на человека.

Оценка текущей водообеспеченности для территории Крыма становится особенно актуальной в связи с отсутствием с 2014 г. водозабора в Крым по сети Северо-Крымского канала. Дополнительные водные ресурсы подавались на территорию полуострова для целей орошения и водоснабжения, в том числе для заполнения Межгорного водохранилища с целью компенсации дефицита воды в засушливые периоды городов Симферополя и Севастополя, а также повышения водообеспеченности их пригородной сельскохозяйственной зоны. Учитывая продолжающийся рост городского населения, особенно важными для этих городов становятся оценка адаптационной способности городского водного цикла к дополнительным проблемам, связанным с резким снижением доступности водных ресурсов и, соответственно, увеличением антропогенной нагрузки, определение уровня их дефицита, а также прогнозирование сроков его наступления.

Приходная часть водного баланса городского водного цикла г. Симферополя практически полностью формируется за счет водозабора из местных поверхностных водных источников. Строительство Аянского и позже других водохранилищ было обусловлено ростом населения города и его пригородов и необходимостью повышения водообеспеченности территории в рамках городского водного цикла. И если к моменту ввода 1-й очереди Аянского водохранилища в 1933 г. в городе проживало около 100 тыс. человек, то к мо-

менту начала строительства Симферопольского водохранилища (1954 г.) и 3-й очереди Аянского (1956 г.) — 150–160 тыс., к моменту строительства Партизанского (1966 г.) — около 220 тыс., а к моменту ввода Межгорного водохранилища — более 340 тыс. человек (рис. 1).

Несмотря на то, что построенные в середине прошлого века Симферопольское и Партизанское водохранилища на момент их строительства полностью обеспечивали потребности городского водного цикла, к середине 1980-х годов стало понятно, что их полезной емкости было недостаточно для покрытия растущих нужд территории ресурсами местного стока. Учитывая перспективы развития и с целью повышения водообеспеченности городов и пригородных зон г. Симферополя и г. Севастополя в рамках расширения инфраструктуры Северо-Крымского канала, было построено и введено в эксплуатацию наливное Межгорное водохранилище (его полный объем составляет 50 млн м³ или 67 % суммарной емкости водохранилищ естественного стока городского водного цикла г. Симферополя (рис. 2).

Для Аянского водохранилища водисточником является каптаж — зона разгрузки одного из пещерных комплексов на склоне г. Чатыр-даг, однако, учитывая, что оно находится внутри водосборного бассейна р. Салгир выше Симферопольского водохранилища, его можно рассматривать совместно с работой этого водохранилища. Суммарно объем водохранилищ местного стока,

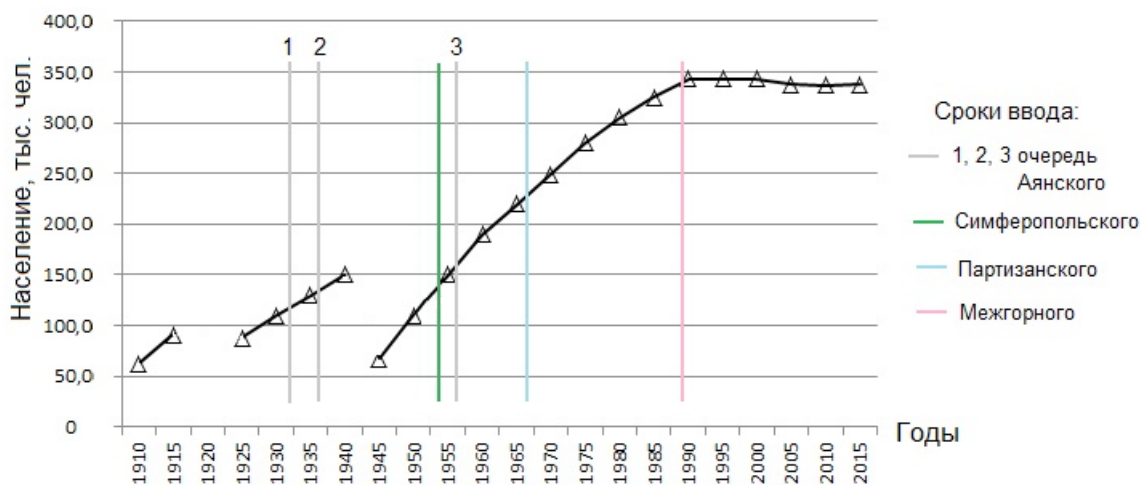


Рис. 1. Связь динамики роста населения г. Симферополя и ввода в эксплуатацию основных водисточников (водохранилищ)

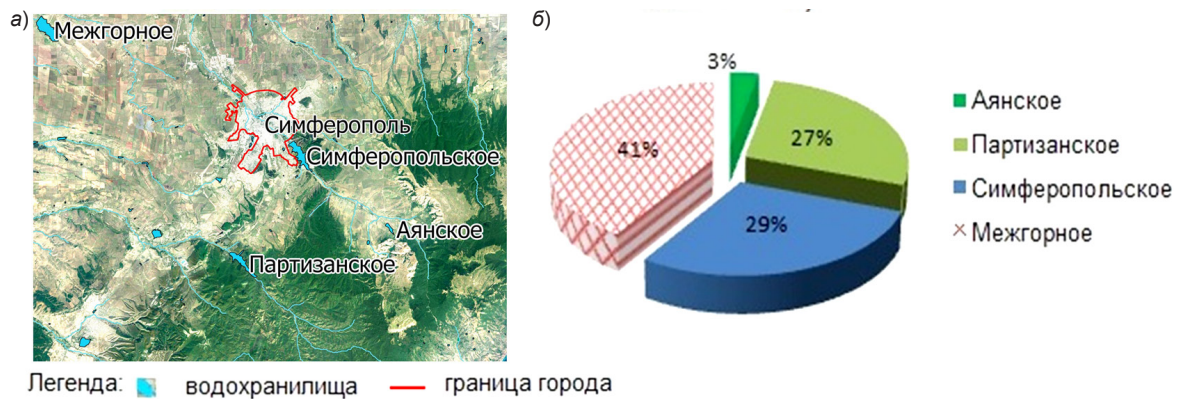


Рис. 2. Схема расположения основных водоисточников (а) и доля их полезного объема в городском водном цикле г. Симферополя (б)

задействованных в водоснабжении г. Симферополя, составляет 74,3 млн м³ (Симферопольское — 36,0, Партизанское — 34,4 и Аянское — 3,9 млн м³).

Построенное в 1954–1956 гг. Симферопольское водохранилище изначально не предназначалось для питьевого водоснабжения, и только начиная с 1961 г. оно постепенно становится одним из основных поставщиков питьевой воды городу, хотя и остается водохранилищем комплексного назначения, вода из которого подается также на нужды энергетики (ГРЭС) и орошения (система трубопроводов Салгирской оросительной системы). Полезный объем водохранилища составляет 34 млн м³.

Система водоснабжения г. Симферополя имеет возможность переброски водных ресурсов из водоисточников в разные части города (частично закольцована), что технологически позволяет рассматривать их как одну систему. Коэффициент корреляции стока рек Салгир и Альма расположенных выше Симферопольского и Партизанского водохранилищ равен 0,95 и позволяет принять, что условия формирования водных ресурсов на их территориях очень близки и результаты проведенного в данной работе анализа функционирования могут быть отнесены к обоим водохранилищам.

Использование гидрологических и агрогидрологических моделей, геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли получает все большее распространение в задачах моделирования стока на самом различном уровне, что позволяет производить глобаль-

ные, региональные и локальные оценки наличия и прогноз уровня изменения доступности водных ресурсов [1, 7, 18]. Задействование данных моделей позволяет, особенно с учетом проведения их региональной адаптации, получать оценки притока в водохранилища с коэффициентами корреляции до 0,95, а для засушливых периодов даже выше. Применение моделей такого типа требует использования большого количества исходных данных о водосборной площади, включая данные о погоде, землепользовании, почвах, а также цифровую модель рельефа, объем поступления дополнительных водных ресурсов на территорию и др. Особенно критичной является информация о динамике выпадения осадков и их распределении по территории [6].

Сложность моделей обуславливает трудоемкость процесса их регионализации, а также наличие дополнительных затрат на поддержание данных в актуальном состоянии.

Учитывая отсутствие поступления дополнительных внешних водных ресурсов Межгорного водохранилища для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения г. Симферополя и то, что основным приходным элементом баланса городского водного цикла в данной ситуации являются осадки, цель данной работы сформулирована как апробация возможности и эффективности использования стандартизированного индекса осадков (Standardized Precipitation Index, SPI), как одного из критериев для выявления критических периодов работы водохранилищ, т. е. периодов, когда гарантированный водоотбор из них должен быть существенно снижен.

В основу исследований положена гипотеза, что в условиях отсутствия поступления дополнительных водных ресурсов на территорию городского водного цикла его водообеспеченность в первую очередь определяется динамикой выпадения осадков и может характеризоваться, несмотря на сложную и развитую инфраструктуру водохозяйственного комплекса, их варьированием, выраженным, например, в виде графиков колебания значений SPI с различными временными интервалами.

В работе на примере Симферопольского водохранилища выполнен анализ взаимосвязи SPI с притоком и дефицитом водных ресурсов для покрытия потребностей городского водного цикла и приведены примеры его возможного использования для оценки границ начала и окончания вододефицитных периодов.

Методы и материалы

Действующие нормативные и методические документы предусматривают применение инструментария гидрологического моделирования при разработке Правил использования водных ресурсов водохранилищ, в том числе при прогнозировании максимального стока и периодов наступления дефицита водных ресурсов [4]. В последние годы в практике водохозяйственного моделирования активно начинают задействоваться компьютерные гидрологические и агрогидрологические модели, прошедшие широкую апробацию для решения водохозяйственных задач на базе бассейнового принципа [8, 9]. В Крыму для решения задач данного класса проведена апробация модели SWAT [10, 11], открытая версия которой MWSWAT [13] позволяет, после проведения соответствующей адаптации модели к региональным условиям, моделировать приток в водохранилища с коэффициентом корреляции связи расчетных и фактических значений притока 0,92–0,95 [6]. Для проведения расчетов моделирования притока в водохранилища необходимо наличие большого количества информации, как оперативной, включающей, в первую очередь, оперативные суточные данные об объеме выпавших осадков и других метеопараметрах (минимальная и максимальная температура воздуха за сутки, данные о влажности воздуха, измеренные или расчетные значения радиации, скорость ветра), наполнении и сработке водохранилища,

а также «сезонной» и нормативно-справочной, к которой относятся информация о рельефе, водно-физических характеристиках почв и подстилающих грунтов водосбора, картографическая информация о землепользовании, включая границы и типы естественной растительности, пашни, границы населенных пунктов и прочие данные. Чем точнее характеризуется водосборная площадь, тем точнее результаты моделирования стока. Наиболее чувствительны модели к точности информации об осадках, их временно- и пространственному распределению по территории водосборного бассейна. В целом современная модель водосборного бассейна водохранилища представляет собой пространственную многослойную модель, интегрирующую как точечные данные метеостанций, метеопостов и точек измерения стока, так и пространственную вариацию различных распределенных по площади бассейна и во времени параметров. Модели данного типа позволяют учесть инерционность процессов, связанную со временем инфильтрации осадков и образования стока, процессы накопления снега и снеготаяния, добегания водного потока до русел водотоков и гидравлику их перемещения в русле реки.

Вместе с тем наличие большого количества параметров как в гидрологических, так и в агрогидрологических моделях если не увеличивает, то, по крайней мере, не уменьшает суммарную ошибку прогноза наступления таких событий, как засуха или дефицит водных ресурсов, главную роль в которых играет динамика основного приходного элемента водного баланса — осадков. Для снижения трудоемкости расчетов и уменьшения количества используемой информации рядом исследователей были предложены упрощенные подходы к оценке водообеспеченности территории, основанные на динамике выпадения осадков и задействования в анализе временных лагов различной продолжительности, в том числе одним из самых распространенных критериев, применяемых в различных целях для анализа как метеорологической, сельскохозяйственной, так и гидрологической засухи является стандартизированный индекс осадков (SPI) [8].

В расчете SPI используются многолетние ряды данных о месячных суммах осадков. Рекомендуемый ряд наблюдений — не менее 30 лет.

В зависимости от целей анализа водообеспеченности расчетный интервал может варьировать от 1 до 36 (48) месяцев. Чем длиннее расчетный интервал, тем более продолжительный ряд исходных данных наблюдений за осадками необходим для расчета. Более короткие интервалы (1...3 месяца) используются для мониторинга возникновения метеорологической и сельскохозяйственной засух. Интервалы с большей продолжительностью применяются для характеристики гидрологической и водохозяйственной засух.

Методология расчета SPI была разработана около четверти века назад [14]. Значение индекса, с учетом его нормализации, то есть приведения распределения случайной величины к нормальному закону распределения вероятности, является безразмерной величиной и определяется как отношение отклонения текущей величины осадков от их среднего значения (при заданном расчетном интервале) к среднеквадратическому отклонению. Теоретически кривая плотности вероятности нормального закона распределения не ограничена слева и справа, но с практической точки зрения принимается, что параметр SPI может изменяться от +4 до -4. Разработчиками, в исходном алгоритме расчета, принимая во внимание широкое распространение для моделирования вероятностных параметров осадков гамма распределения, задействована данная функция с плотностью распределения, описываемой следующим уравнением [3]:

$$f_x(x) = (\lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}) / \Gamma(\alpha) \text{ для } x > 0, \quad (1)$$

где x — сумма осадков (за расчетный интервал); α, λ — параметры формы и масштаба; $\Gamma(\alpha)$ — гамма-функция Эйлера, представляемая при данных обозначениях как

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx. \quad (2)$$

Так как гамма-функция не определена при $x = 0$, то при отсутствии осадков за расчетный период накопленная вероятность для него определяется суммированием вероятности наступления таких периодов и значения интеграла вероятности плотности распределения. Параметры α и λ определяются по методу моментов или наибольшего правдоподобия.

Для перехода от гамма-распределения к нормальному можно использовать уравнения аппроксимации (см., например, [15]).

Учитывая региональные особенности, в качестве исходного распределения осадков часто также используется распределение Пирсона 3-го типа [12].

В соответствии с градацией, предложенной авторами методологии [14], существенное влияние недостатка влаги и засушливых явлений начинается при значении $SPI < -1$. В таблице для упрощения анализа приведен ряд граничных значений данного индекса, отвечающих ряду стандартных значений обеспеченности (50, 75, 95 %) или кратные целым значениям индекса с оценками вероятности превышения или меньшего значения сумм осадков за расчетный период.

Рассмотрим пример оценки уровня обеспеченности осадками территории с использованием SPI, а также его взаимосвязь с динамикой притока и изменением объема воды в водохранилищах многолетнего регулирования на примере Симферопольского водохранилища, являющегося одним из основных водоисточников городского водного цикла г. Симферополя.

Результаты и обсуждение

Для анализа работы водохозяйственных объектов используются временные интервалы SPI с периодами от полугода и более. Пример исполь-

Значение SPI и вероятностная оценка сумма осадков за расчетный период

Значение SPI	Характеристика периода	Вероятность, %	
		превышения	меньшего значения
> 3,00	Экстремально влажный	< 0,13	> 99,87
2,50	Экстремально влажный	0,62	99,38
2,00	Экстремально влажный	2,28	97,72
1,645	Очень влажный	5,00	95,00
1,00	Влажный	15,87	84,13
0,674	Средневлажный	25,00	75,00
0,00	Средний	50,00	50,00
-0,674	Среднесухой	75,00	25,00
-1,00	Сухой	84,13	15,87
-1,645	Очень сухой	95,00	5,00
-2,00	Экстремально сухой	97,72	2,28
-2,50	Экстремально сухой	99,38	0,62
< -3,00	Экстремально сухой	> 99,87	< 0,13

зования SPI для анализа условий работы Симферопольского водохранилища за почти 60-летний период его работы (см. рис. 3, а) позволяет оценить взаимосвязь интервалов избытка и дефицита притока в Симферопольское водохранилище и динамики SPI для расчетного интервала 24 месяца. При этом хорошо заметна цикличность процесса с граничащими минимальным и максимальным значениями индекса (данные об осадках получены из электронной базы данных с открытым доступом [17]).

Более детально рассмотрим динамику работы Симферопольского водохранилища для двух наиболее засушливых периодов его работы (1993–1997 и 2011–2015 гг., см. рис. 3, б и 3, в). Несмотря на то, что обеспеченность осадками 1993 и 1994 гг. является наиболее низкой за весь период работы водохранилища (более 60 лет) и составляла 97,3 и 98,9 % соответственно, а для периода 2011–2012 гг. эти значения равнялись 84,7 и 95,7 %, период 2011–2015 гг. был существенно более растянутым и более напряженным в смысле воздействия водохозяйственной засухи. На рис. 4 приведены интегральные кривые притока в рас-

сматриваемые засушливые периоды и среднего водоотбора из него на нужды питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и Симферопольской ТЭЦ. Приведенная на рис. 3, б и 3, в кривая объемов Симферопольского водохранилища в наиболее засушливые периоды (зеленая линия) отражала динамику его работы с учетом покрытия дефицита потребности в водных ресурсах из Межгорного водохранилища.

Наибольшее расстояние между интегральными кривыми притока и водоотбора (с учетом потерь из водохранилища на испарение и фильтрацию) или максимальное значение ординаты разностной кривой данных параметров показывает величину необходимой полезной емкости водохранилища для покрытия дефицита без снижения уровня водоотбора (ΔW_{\max} , рис. 4, а и 4, б). И если при отсутствии дополнительных водных ресурсов Межгорного водохранилища в засушливый период 1993–1997 гг. дефицит водоотбора был не очень существенным ($\Delta W_{\max} = 1,3$ млн м³) и, теоретически, мог быть покрыт снижением водоотбора на ТЭЦ, питьевые и хозяйственно-бытовые нужды на 10 % по сравнению с водообес-

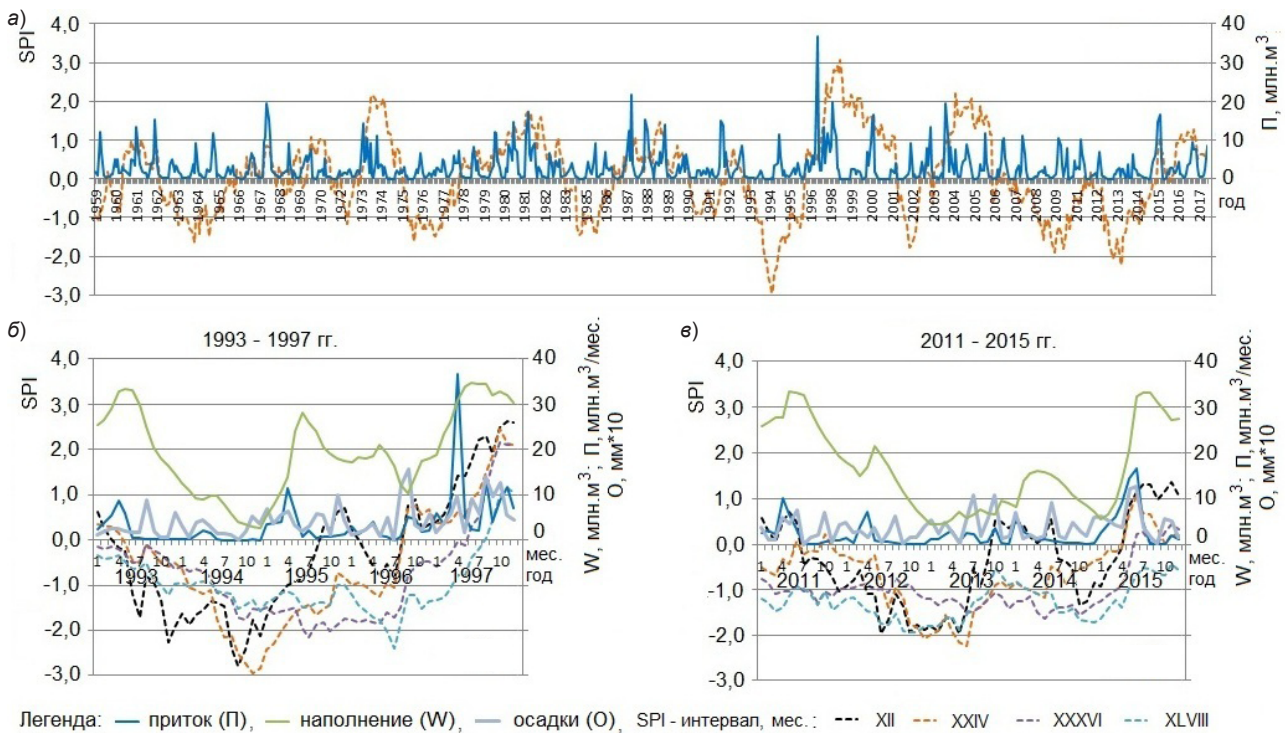


Рис. 3. Сравнение динамики работы Симферопольского водохранилища и варьирования индекса SPI с интервалами 12, 24, 36 и 48 месяцев

печенным периодом (при полном прекращении водоподачи на орошение Салгирской оросительной системы), то в период засухи 2011–2015 гг. для покрытия дефицита водоотбора ($\Delta W_{\max} = 9,3$ млн м^3) была бы необходима существенная корректировка диспетчерского графика работы водохранилища со снижением водоотбора в некоторые периоды на 40 %.

Более детальный анализ позволяет выявить инерционность гидрологической и водохозяйственной засухи по сравнению с метеорологической (см. рис. 3, в, правая часть) — возврат в конце 2013 г. значений величин осадков к положительным значениям стандартизованного индекса осадков (при годовом интервале расчетов) еще далеко не означает окончания периода нехватки водных ресурсов в водохозяйственном значении. При этом четко выделяются периоды дефицита водных ресурсов, даже для водохозяйственных объектов, имеющих дополнительные источники его покрытия.

Динамика нарастания дефицита притока в водохранилища местного стока (красная линия или расстояние по вертикали между зеленой и синей линиями, рис. 3) свидетельствует о существенном превышении объемов существующего водозабора над возможностями компенсации его дефицита за счет местных водных ресурсов, т. е. имеющейся полезной емкости водохранилищ местного стока недостаточно для покрытия текущего уровня водопотребности в рамках городского водного цикла без ограничения величины водоотбора.

Заключение

Определение водообеспеченности территории с использованием стандартизованного индекса осадков и визуализация (картирование) значений этого параметра для разных значений временных интервалов позволяет получить числовые характеристики уровня отклонения от нормы, что может быть полезным как для оценки уровня возможного ущерба, например, недобора сельскохозяйственной продукции, так и для оценки уровня риска для работы водохозяйственных объектов (водохранилищ, дренажных систем и др.).

Вместе с тем в процессе анализа продолжительности периодов нехватки (дефицита) водных ресурсов необходимо учитывать особенности инерционности или временного лага при оценке сельскохозяйственной засухи или работы объектов водохозяйственной инфраструктуры, связанные с регулирующим воздействием емкости почвогрунтов и другими процессами.

Выявлено, что для определения вододефицитных условий работы Симферопольского водохранилища могут быть использованы тренды SPI с расчетными интервалами 24 и 36 месяцев. При этом более эффективным является их совместный анализ.

Благодарности

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

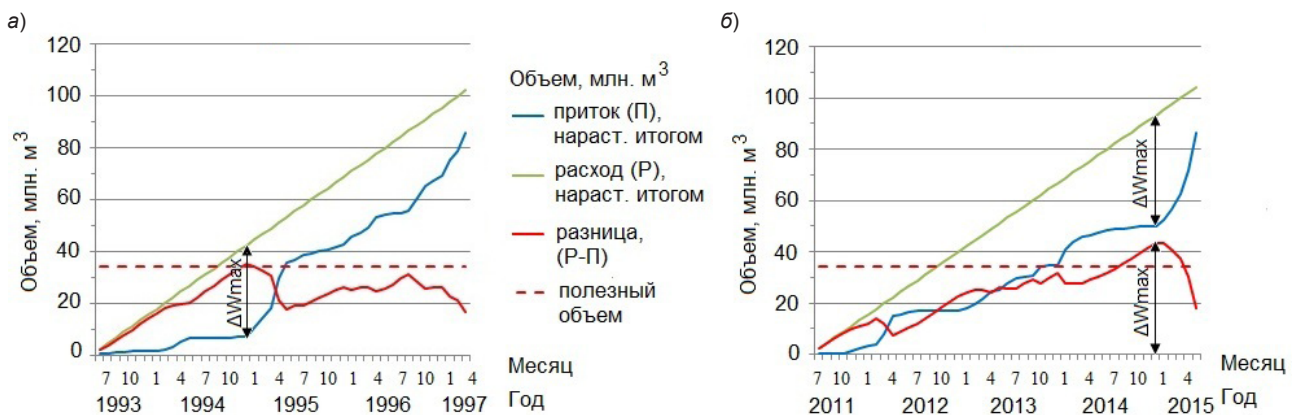


Рис. 4. Результат анализа динамики притока в Симферопольское водохранилище в засушливые периоды 1993–1997 (4, а) и 2011–2015 гг. (4, б) в сравнении с современным уровнем водоотбора

Литература

1. Дунаева, Е. А., Попович, В. Ф., Ляшевский, В. И. (2015). Анализ динамики количественных и качественных характеристик водных ресурсов с использованием открытых ГИС и агрогидрологических моделей. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, № 1(17), сс. 127–141.
2. Дюличев, В. П. (2005). *Рассказы по истории Крыма*. Симферополь: Квадранал, 320 с.
3. Корольюк, В. С., Портенко, Н. И., Скороход, А. В., Турбин, А. Ф. (1985). *Справочник по теории вероятностей и математической статистике*. М.: Наука, 640 с.
4. Минприроды России (2011). *Методические указания по разработке правил использования водохранилищ*. Утв. приказом Мин. природных ресурсов и экологии РФ № 17 от 26.01.2011. [online] Доступно по ссылке: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293791/4293791463.pdf> [дата обращения 14.05.2018].
5. Мотовилов, Ю. Г., Балыбердин, В. В., Гарцман, Б. И. (2017). Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ECOMAG с использованием метеорологических прогнозов. *Водное хозяйство России*, № 1, сс. 78–102.
6. Попович, В. Ф., Дунаева, Е. А. (2015). Моделирование притока в водохранилища для оценки доступности водных ресурсов в рамках городского водного цикла. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*, № 2(58), сс. 114–120.
7. Пьянков, С. В., Шихов, А. Н. (2017). *Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений*. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 148 с.
8. Свобода, М., Хайес, М., Вуд, Д. (2012). Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО-№ 1090). [online] Доступно по ссылке: http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf [дата обращения: 25.05.2018].
9. Стрелец, Б. И. (ред.) (1987). *Справочник по водным ресурсам*. К.: Урожай, 304 с.
10. Arnold, J. G., Kinyri, J. R., Srinivasan, R. (2012). Soil and Water Assessment Tool. Input/Output Documentation. Version 2012. Technical report: № 439. Доступно по ссылке: <https://swat.tamu.edu/documentation/> [дата обращения: 11.05.2018].
11. Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W. (2012). SWAT: model use, calibration, and validation. *Trans. ASABE*, vol. 55(4), pp. 1491–1508.
12. Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American water resources association, JAWRA*, vol. 35, № 2, pp. 311–322.
13. Leon, L. F. (2014). *MapWindow Interface for SWAT (MWSWAT)*. [online] Доступно по ссылке: <http://waterbase.org/documents.html> [дата обращения: 14.05.2018].
14. McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, USA, 17–22 January 1993, pp. 179–184.
15. Popovych, V., Dunaieva, Ie. (2014). 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, issue 9, pp. 24–27.

16. Qi, Z., Kang, G., Chu, C. (2017). Comparison of SWAT and GWLF Model Simulation Performance in Humid South and Semi-Arid North of China. *Water*, vol. 9 (567), 19 p.

17. The National Climatic Data Center (NCDC). Доступно по ссылке: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod> (дата обращения: 11.06.2018)

18. Zhang, C., Peng, Y., Chu, J. (2012). Integrated hydrological modelling of small- and medium-sized water storages with application to the upper Fengman Reservoir Basin of China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, pp. 4033–4047.

References

1. Dunaieva, Ie. A., Popovych, V. F., Lyashevskij, V. I. (2015). Analiz dinamiki kolichestvennyh i kachestvennyh harakteristik vodnyh resursov s ispol'zovaniem otkrytyh GIS i agrogidrologicheskikh modelej [Analysis of the dynamics of quantitative and qualitative characteristics of water resources using open GIS and agrohydrological models]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, № 1(17), pp. 127–141. (in Russian)
2. Dyulichев, V. P. (2005). *Rasskazy po istorii Kryma* [Stories on the history of the Crimea]. Simferopol': Kvadranal, 320 p. (in Russian)
3. Korolyuk, V. S., Portenko, N. I., Skorohod, A. V., Turbin, A. F. (1985). *Spravochnik po teorii veroyatnostej i matematicheskoj statistike* [A handbook on probability theory and mathematical statistics]. M.: Nauka, 640 p. (in Russian)
4. Minprirody Rossii (2011). *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke pravil ispol'zovaniya vodohranilishch*. [Methodological instructions for the development of rules for the use of reservoirs]. Utv. prikazom Min. prirodnyh resursov i ehkologii RF № 17 ot 26.01.2011. [online] Available at: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293791/4293791463.pdf> [accessed on 14.05.2018].
5. Motovilov, Yu. G., Balyberdin, V. V., Garcman, B. I., Gel'fan, A. N., Morejdo, V. M., Sokolov, O. V. (2017). *Kratkosrochnyj prognoz pritoka vody v Burejskoe vodohranilishche na osnove modeli ECOMAG s ispol'zovaniem meteorologicheskikh prognozov* [Short-term forecast of water inflow to the Bureyskoye reservoir based on the ECOMAG model using meteorological forecasts]. *Vodnoe hozyajstvo Rossii*. № 1, pp. 78–102.
6. Popovych, V. F., Dunaieva, Ie. A. (2015). *Modelirovanie pritoka v vodohranilishcha dlya ocenki dostupnosti vodnyh resursov v ramkah gorodskogo vodnogo cikla* [Modeling the inflow to reservoirs to assess the availability of water resources within the urban water cycle]. *Puti povysheniya ehffektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. *Nauchno-prakticheskij zhurnal*. № 2(58), pp. 114–120. (in Russian)
7. P'yankov, S. V., Shihov, A. N. (2017). *Geoinformacionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh processov i yavlenij* [Geoinformation support of modeling of hydrological processes and phenomena]. Perm': Perm. gos. nac. issled. un-t, 148 p. (in Russian)
8. Svoboda, M., Hajes, M., Vud, D. (2012). *Rukovodstvo dlya pol'zovatelej standartizirovannogo indeksa osadkov* [Manual for Users of the Standardized Precipitation Index]. *Vsemirnaya*

Meteorologicheskaya Organizaciya (WMO-№ 1090). [online] Available at: http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf [accessed on: 25.05.2018].

9. Strelec, B. I. (ed.) (1987). Spravochnik po vodnym resursam [Handbook on water resources]. K.: Urozhaj, 304 p. (in Russian)

10. Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E.B., Neitsch, S. L. (2012). Soil and Water Assessment Tool. Input/Output Documentation. Version 2012. Technical report: № 439. [online] Available at: <https://swat.tamu.edu/documentation/> [accessed on 11.05.2018]

11. Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R.D., van Griensven, A., van Liew, M.W., Kannan, N., Jha, M. K. (2012). SWAT: model use, calibration, and validation. Trans. ASABE, vol. 55(4), pp. 1491–1508.

12. Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. Journal of the American water resources association, JAWRA, vol. 35, № 2, pp. 311–322.

13. Leon, L. F. (2014). *MapWindow Interface for SWAT (MWSWAT)*. [online] Available at: <http://waterbase.org/documents.html> [accessed on 14.05.2018]

14. McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17–22 January 1993, pp. 179–184.

15. Popovych, V., Dunaieva, Ie. (2014). 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, issue 9, pp. 24–27.

16. Qi, Z. , Kang, G. , Chu, C., Qiu, Y. , Xu, Z., Wang, Y. (2017). Comparison of SWAT and GWLF Model Simulation Performance in Humid South and Semi-Arid North of China. *Water*, vol. 9 (567), 19 p.

17. The National Climatic Data Center (NCDC) [online]. Available at: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod> [accessed on: 11.06.2018].

18. Zhang, C., Peng, Y., Chu, J., Shoemaker, C. A., Zhang, A. (2012). Integrated hydrological modelling of small- and medium-sized water storages with application to the upper Fengman Reservoir Basin of China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, pp. 4033–4047.

Авторы

Попович Виктор Федорович

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

E-mail: water@crimea.com

Дунаева Елизавета Андреевна, канд. техн. наук

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

E-mail: dunaeva_e@niishk.ru

Authors

Popovych Victor Fedorovich

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail: water@crimea.com

Dunaieva Ielizaveta Andreevna, PhD in Engineering

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail: dunaeva_e@niishk.ru