

Методологические и информационные основы оценки водообеспеченности территорий средствами ДЗЗ и ГИС

Е.А. Дунаева

*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма
Симферополь, 295453, Россия
E-mail: water_crimea@hotmail.com*

Цель работы заключается в разработке и проверке усовершенствованной методологии оценки водообеспеченности степной части Крымского полуострова с использованием возможностей геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для уточнения водоресурсного потенциала региона. Актуальность работы подтверждается необходимостью переориентирования водохозяйственного комплекса на местные водные ресурсы, определения и картирования водоресурсного потенциала территории. Для решения поставленных задач использованы данные ДЗЗ (дешифрирование космических снимков и доступные мониторинговые материалы характеристик развития биоценозов и параметров водообеспеченности – NDVI, NDDI и др.), которые дали возможность, с применением открытого программного обеспечения ГИС, выделить тематические слои, определить основные элементы водного баланса территории и уточнить показатели состояния обеспеченности водными ресурсами территории степной части Крымского полуострова с последующей их графической визуализацией. Созданная база данных критериев водообеспеченности территории, насчитывающая более 20 показателей с характеристиками, формулами расчета, диапазонами варьирования параметров, преимуществами и ограничениями использования, может стать основой геобазы данных информации и быть использована как составляющая системы поддержки принятия решений при разработке мероприятий по смягчению воздействия засухи.

Ключевые слова: ГИС, ДЗЗ, SPI, AI, NDVI, NDDI, водообеспеченность, осадки, испарение, Крым

*Одобрена к печати: 16.05.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181*

Введение

Степная часть Крымского полуострова является зоной рискованного земледелия. Наличие дополнительных ресурсов Северо-Крымского канала повышало естественный сельскохозяйственный потенциал региона и существенно улучшало условия растениеводства и проживания сельского населения (дополнительная водоподача в Крым в отдельные периоды превышала объем формируемых местных водных ресурсов в 2–3 раза). Переориентирование на местные водные ресурсы, запасы которых ограничены, предъявляет повышенные требования к методологии оценки водообеспеченности территории и определения водоресурсного потенциала, в т. ч. для поиска путей более эффективного его использования за счет изменения структуры посева, выбора приоритетов и зон размещения более засухоустойчивых сельскохозяйственных культур. Проведенный анализ показал, что ряд отечественных и зарубежных специалистов занимаются поиском возможности корректной оценки состояния территориальных комплексов и управления ими на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Все большее распространение получает применение материалов ДЗЗ в сельском и водном хозяйстве. Использование пространственно-распределенных параметров облегчает проведение исследований на больших территориях, поскольку способно сократить объем полевых работ и зачастую устранить ошибки репрезентативности, характерные для использования точечных данных. Широкое распространение приобрело применение ДЗЗ при определении характеристик энергетического баланса

территорий, эффективности использования орошения и его планировании, мониторинге состояния сельскохозяйственных культур. Существенный вклад в исследования косвенной оценки уровня водопользования с использованием спутниковой информации внесли В.Г.М. Бастианссен (Bastiaanssen et al., 2014; Karimi, Bastiaanssen, 2013; van Eekelen et al., 2015) и Т. Александридис (Alexandridis, Zalidis, Silleos, 2008; Alexandridis et al., 2009), труды которых посвящены оценке состояния вегетации и картированию орошаемых земель с использованием спутниковой информации. Вопросы моделирования влажности почвы и сравнения уровня эвапотранспирации по разным продуктам обработки спутниковых данных рассмотрены М. Мененти (Hu, Jia, Menenti, 2015; Labbassi et al., 2014; Menenti et al., 2016), вопросы мониторинга роста сельскохозяйственных культур освещены в работах Г. Реринк (Roerink et al., 2003; Mucher et al., 2014), А.И. Страшной (Страшная и др., 2014, 2015, 2016). Моделированию процессов в экосистемах посвящены работы А.А. Войнова (Seppelt, Voinov, 2002; Voinov, Bousquet, 2010), исследованию изменений вегетационного индекса для территории Российской Федерации – работы Е.А. Лупяна, С.А. Барталева (Барталев, Лупян, 2013; Лупян, Барталев, Крашенинникова, 2016; Савин, Лупян, Барталев, 2011), В.А. Толпина (Толпин и др., 2007, 2014), перспективам изучения возможностей методов дистанционного зондирования для обнаружения и мониторинга территорий, которые подвержены засухе – работы Е.В. Щербенко (Щербенко и др., 2004; Щербенко, 2007).

Таким образом, на основе проведенного анализа литературных источников определено, что мониторинговая (текущая) оценка водообеспеченности территории проводится в основном с помощью моделирования процессов или с использованием методов ДЗЗ, в то время как совместное использование возможностей геоинформационных систем (ГИС), агрогидрологического моделирования и ДЗЗ изучено в недостаточной степени.

Актуальность работы подтверждается также утвержденной постановлением Совета Министров Республики Крым от 29 октября 2014 года № 423 Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Республики Крым на 2015–2017 годы, в которой обозначено, что для эффективного управления процессами развития сельского хозяйства республики назрела необходимость создания региональной системы спутникового мониторинга сельского хозяйства, а использование данных ДЗЗ позволит уменьшить ущерб сельхозпроизводителей от неблагоприятных метеорологических условий (засухи) на 10–20% (Постановление..., 2014).

Цель работы заключается в разработке и усовершенствовании методологии оценки водообеспеченности степной части Крымского полуострова, основанной на использовании спутниковой информации и возможностей ГИС с применением агрогидрологического моделирования.

Научная новизна работы связана с установлением для Крымского полуострова закономерностей формирования элементов водохозяйственного баланса территории с применением методов ДЗЗ, ГИС, агрогидрологического моделирования и акцентом на использование местных водных ресурсов.

Материалы и методы

Методология работы основана на программной обработке цифровых данных, полученных с космических аппаратов, и дешифрирования космических снимков, полученных в разных диапазонах излучения, а также проведении моделирования элементов водного баланса с использованием ГИС и работающих на их базе открытых агрогидрологических моделей, последующего статистического анализа данных, построения с помощью существующего математического аппарата эмпирических связей между слоями информации и пространственного отображения результатов исследований в форме картосхем тематических слоев водообеспеченности территории.

Оценка обеспеченности водными ресурсами предполагает пространственное распределение параметров, что, в свою очередь, обуславливает использование ГИС совместно с данными ДЗЗ. Первичными материалами для мониторинговой оценки водообеспеченности территории являются данные об осадках, потенциальном и актуальном суммарном испарении, состоянии вегетации и биомассе.

Исходные данные, использованные для оценки водообеспеченности территории:

1) архивы метеорологических данных (National Climatic Data Center, специализированный архив метеоданных для климатических исследований – разработка Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных, архив ФГБУ «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»);

2) снимки MODIS спутника Terra – MOD13Q1 (16-дневный композитный продукт, пространственное разрешение 250 м), MOD16A2 (среднемесячные значения, пространственное разрешение 1 км), MOD13A3 (среднемесячные значения, пространственное разрешение 1 км);

3) снимки спутника Landsat 8 OLI/TIRS, пространственное разрешение 30 м;

4) данные международной специализированной спутниковой миссии (Global Precipitation Mission, GPM – миссия глобального измерения осадков, которая проводит наблюдения за осадками и снежным покровом каждые три часа). В работе использованы данные GPM_3IMERGM_03 – месячные данные (мм) с пространственным разрешением 0,1×0,1 град. или 10×10 км;

5) данные наземных наблюдений структуры землепользования территории исследований.

Для обработки первичной информации и расчета показателей водообеспеченности использовано коммерческое программное обеспечение ArcView 9.3 (ArcSWAT) и открытое MapWindow (MWSWAT), QGIS Essen 2.14, Google Earth. Методы математической статистики применялись для формирования выборок по территории исследований, метод ступенчатой интерполяции – для интерполяции точечных данных осадков, метод агрогидрологического моделирования – для расчета потенциального суммарного и актуального суммарного испарения.

Критерии оценки водообеспеченности территории

Оценка водообеспеченности проводится для решения задач различного уровня детализации. Укрупненная оценка обеспеченности водными ресурсами территории проводится с целью выделения природно-климатических зон и визуализации результатов агроклиматического районирования, текущая – для мониторинга водообеспеченности, кратко- и среднесрочного прогноза динамики развития ситуации с целью задействования возможных адаптационных мероприятий для смягчения негативного влияния засухи (или избыточного количества осадков) на рассматриваемую территорию, а также для использования в задачах страхования или начисления компенсационных выплат.

Для систематизации сведений и последующей обработки данных создана база данных (БД) критериев водообеспеченности территории. Под БД критериев в данной работе подразумевается их структурированный набор с характеристиками, формулами расчета, преимуществами и недостатками и оценками возможности применения. БД реализована в формате Microsoft Excel и состоит из следующих полей информации: критерий и его номер; формула расчета; описание; исходные данные; характеристика программного обеспечения для расчета.

В БД критерии классифицированы в зависимости от масштаба оценки, временного интервала и необходимых для его расчета исходных данных. К критериям, предназначенным для укрупненной оценки территории, относятся коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова и показатель увлажнения Иванова. Для более детальной мониторинговой оценки конкретной территории могут быть использованы такие критерии, как объем выпавших осадков по сравнению с многолетней нормой, стандартизированный индекс осадков (SPI), индекс аридности (AI), нормализованный вегетационный индекс (NDVI), нормализованный индекс засухи (NDDI), улучшенный вегетационный индекс (EVI), индекс вегетационной засухи (VegDRI) и другие.

В данной работе методические принципы классификации обеспеченности территории водными ресурсами основаны на использовании критериев, определенных по измеренным параметрам, а также данным, рассчитанным методами математической статистики и полученным по результатам агрогидрологического моделирования и в результате обработки продуктов ДЗЗ.

В ходе работы были изучены различные показатели, которые позволяют провести качественную и количественную оценку территории по уровню водообеспеченности, при этом особое внимание уделялось требовательности критериев к исходным данным, их доступности и открытости алгоритмов расчета. В результате выбраны следующие критерии: распределение осадков (метод ступенчатой интерполяции); SPI; актуальное (ET) и потенциальное суммарное испарение (PET); AI; NDVI; NDDI.

Значения PET и ET для исследуемой территории вычислены с использованием модели MWSWAT2012 на основании уравнения Пенмана-Монтейта, а также получены по данным продукта MOD16A1 (разрешение сетки координат 0,05°). Значения SPI

рассчитаны с использованием гамма-распределения вероятности выпадения осадков с последующим переходом к нормальному распределению и картографированы путем ступенчатой интерполяции в QGIS 2.14 (Popovych, Dunaieva, 2014). Значения GPM, NDVI и NDDI обработаны в ArcGIS и QGIS. Блок-схема обработки исходных данных, их взаимодействия и расчета критериев и параметров представлена на *рис. 1*.

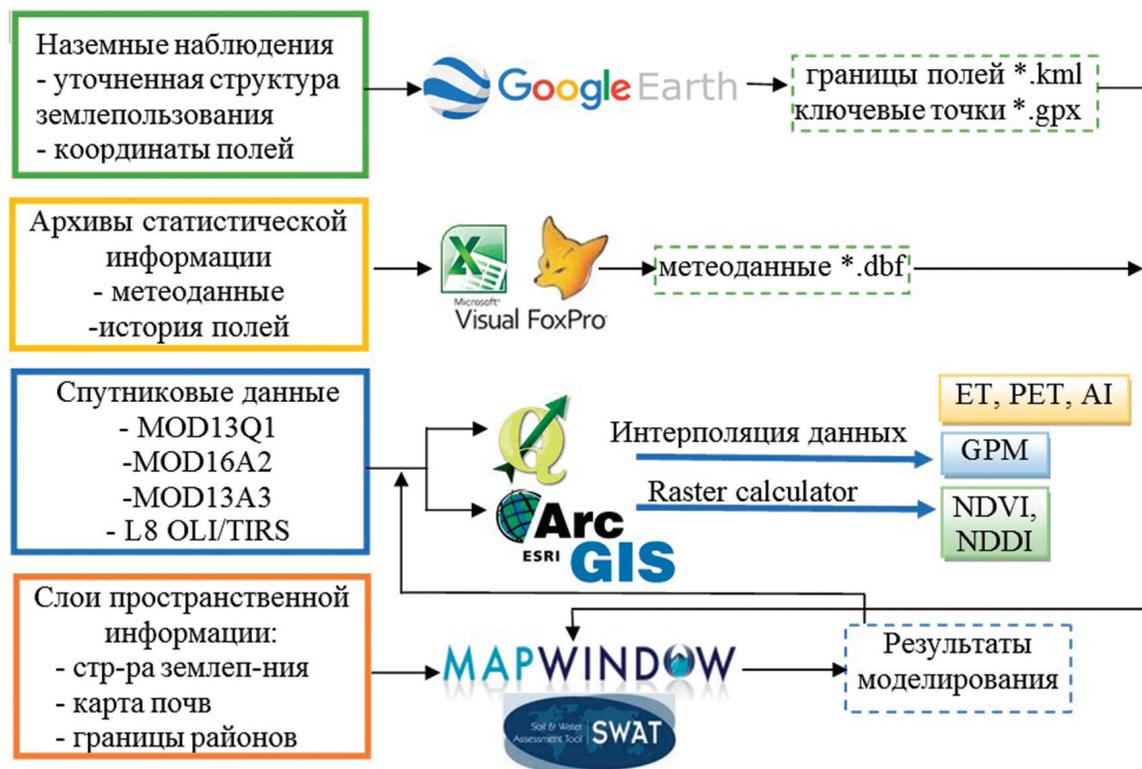


Рис. 1. Блок-схема обработки исходных данных средствами ГИС

На *рис. 2* представлены примеры визуализации водообеспеченности территории Красногвардейского района (центр степной части Крымского полуострова) за май 2014 и 2015 гг. по следующим критериям: распределение осадков по данным ДЗЗ (GPM), SPI, NDVI и NDDI.

Картирование обеспеченности по различным показателям позволяет оценить их варьирование по территории и определить наиболее критические участки. Результаты продемонстрировали, что показатели, полученные с использованием статистической информации, агрогидрологического моделирования и спутниковой информации, дают градации обеспеченности территории водными ресурсами в одинаковом диапазоне (при этом вегетационный индекс NDVI может являться, в частности, критерием достоверности результата, так как показывает состояние растительности как отклик на достаточность ресурсов для формирования соответствующей биомассы).

Следует отметить необходимость вычисления пространственной и временной ошибки результатов оценки, связанных со спецификой алгоритма обработки спутниковых

данных и результатов моделирования, а также их интерполяции на территорию. Поэтому в дальнейших исследованиях планируется детальное рассмотрение алгоритмов обработки информации с целью минимизации ошибок расчета выходных показателей и критериев, в том числе учет точности и достоверности данных, например, данных об уровне использования подземных вод в водохозяйственном балансе, и формирование геобазы данных критериальной оценки водообеспеченности территории.

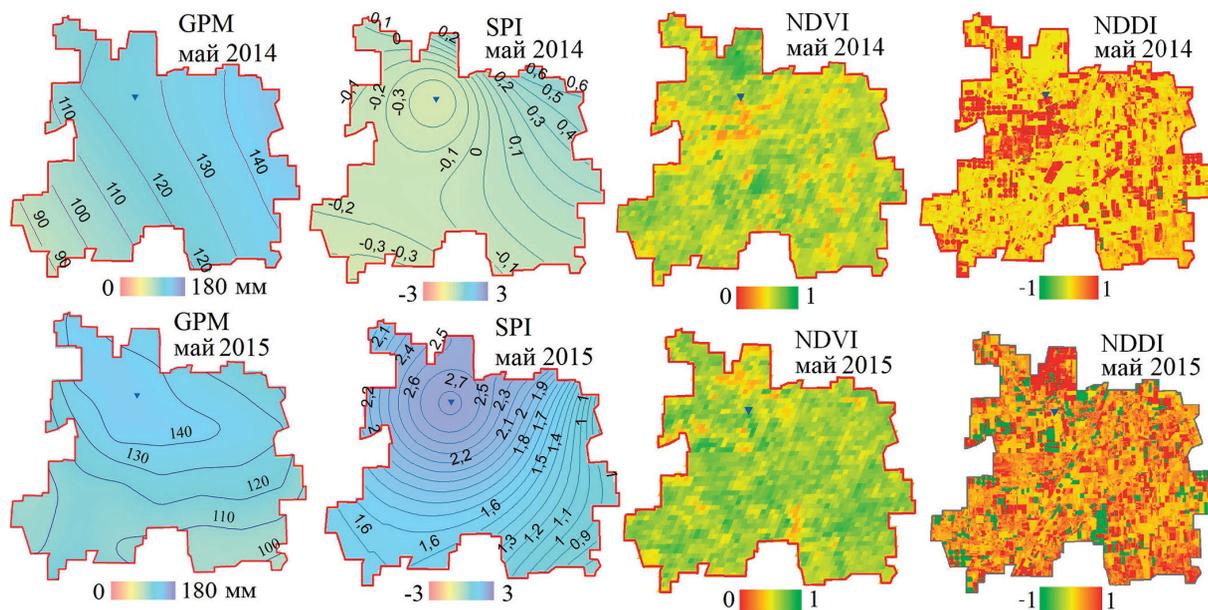


Рис. 2. Картирование водообеспеченности территории степной части Крыма с использованием ГИС и ДЗЗ, май 2014 и 2015 гг. (Красногвардейский район)

Выводы

В работе рассмотрено совместное использование результатов агрогидрологического моделирования (MWSWAT2012) с данными ДЗЗ, а именно Landsat 8 OLI/TIRS и MODIS – MOD13Q1, MOD16A2. Проведен анализ критериев обеспеченности водными ресурсами и составлена база данных критериев, которые позволяют оценить водоресурсный потенциал территории, провести расчет и картографировать его распределение в пространстве и времени. Получены комплексные оценки обеспеченности территории водными ресурсами по критериям AI, SPI, GPM, NDVI, NDDI.

Составлен алгоритм оценки водообеспеченности территории Крымского полуострова, который в дальнейшем может стать основой инструментария определения водоресурсного потенциала региона.

Разработанные методологические подходы оценки и созданные базы данных могут быть использованы как составляющие системы поддержки принятия решений при разработке мероприятий по смягчению воздействия засухи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00059 мол_а.

Литература

1. *Барталев С.А., Лупян Е.А.* Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Исследование Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 197–214.
2. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С.* Наблюдение аномально раннего развития сельскохозяйственных культур в южных регионах России весной 2016 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 240–243.
3. Постановление Совета министров Республики Крым от 29 октября 2014 года № 423 Об утверждении Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Республики Крым на 2015–2017 годы. URL: http://msh.rk.gov.ru/file/postanovlenie_soveta_ministrov_respubliki_krim_ot423.pdf (дата обращения 20.11.2016)
4. *Савин И.Ю., Лупян Е.А., Барталев С.А.* Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России // Геомастика. 2011. № 2. С. 69–76.
5. *Страшная А.И., Барталев С.А., Максименкова Т.А., Чуб О.В., Толпин В.А., Плотников Д.Е., Богомолова Н.А.* Агрометеорологическая оценка состояния озимых зерновых культур в период прекращения вегетации с использованием наземных и спутниковых данных на примере Приволжского федерального округа // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра российской федерации. М.: Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации. 2014. № 351. С. 85–107.
6. *Страшная А.И., Богомолова Н.А., Тищенко В.А., Павлова К.И., Тебуев Х.Х.* Агрометеорологические условия и прогнозирование урожайности семян подсолнечника в Приволжском федеральном округе // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 359. С. 142–160.
7. *Страшная А.И., Тарасова Л.Л., Богомолова Н.А., Максименкова Т.А., Береза О.В.* Прогнозирование урожайности зерновых и зернобобовых культур в центральных черноземных областях на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2015. № 353. С. 128–153.
8. *Толпин В.А., Барталев С.А., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Оценка состояния сельскохозяйственных культур на основе межгодовой динамики с использованием данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4. № 2. С. 380–389.
9. *Толпин В.А., Лупян Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М.* Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2014. Т. 27. № 7. С. 581–586.
10. *Щербенко Е.В.* Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Вып. 4. Т. 2. С. 408–419.
11. *Щербенко Е.В., Шорохова М.А., Дронин Н.М., Скабелкин Ю.А.* Обнаружение засухи по данным космических съемок // ArcReview. 2004. № 2. С. 8–9.
12. *Alexandridis T.K., Cherif I., Chemin Y., Silleos G.N., Stavrinou E., Zalidis G.C.* Integrated methodology for estimating water use in Mediterranean agricultural areas // Remote Sensing. 2009. Vol. 1 (3). P. 445–465.
13. *Alexandridis T.K., Zalidis G.C., Silleos N.G.* Mapping irrigated area in Mediterranean basins using low cost satellite Earth Observation // Computers and Electronics in Agriculture. 2008. Vol. 64 (2). P. 93–103.
14. *Bastiaanssen W.G.M., Karimi P., Rebelo L.-M., Duan Z., Senay G., Mutuwatte L., Smakhtin V.* Earth Observation Based Assessment of the Water Production and Water Consumption of Nile Basin Agro-Ecosystems // Remote Sensing. 2014. Vol. 6 (11). P. 10306–10334.
15. *Hu G., Jia L., Menenti M.* Comparison of MOD16 and LSA-SAF MSG evapotranspiration products over Europe for 2011 // Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 15. P. 510–526.
16. *Karimi P., Bastiaanssen W.G.M.* Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data // Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 2013. Vol. 15. P. 507–532.
17. *Labbassi K., Akdim N., Alfieri S.M., Menenti M.* Observation and Modelling of Soil Water Content Towards Improved Performance Indicators of Large Irrigation Schemes // EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Austria. 2014. Vol. 16. P. 14994.
18. *Menenti M., Jia L., Mousivand A., Hu G., Zheng C., Lu J.* Evaluation of ET data products: Parameterizations, rate limiting process and influential surface properties // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. 2016. P. 214–217.
19. *Mucher S., Roerink G., Franke J., Suomalainen J., Kooistra L.* Monitoring agricultural crop growth: comparison of high spatial-temporal satellite imagery versus UAV-based imaging spectrometer time series measurements // EGU General Assembly Conference Abstracts. 2014. Vol. 16. P. 15788.
20. *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 and Technology (IJERT). 2014. Vol. 3. Issue 9. P. 24–27.
21. *Roerink G.J., Menenti M., Soepboer W., Su Z.* Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2003. Vol. 28 (1). Iss. 1–3. P. 103–109.

22. Seppelt R., Voinov A. Optimization Methodology for Land Use Patterns Using Spatial Explicit Landscape Models // *Ecological Modeling*. 2002. Vol. 151/2–3. P. 125–145.
23. van Eekelen M.W., Bastiaanssen W.G.M., Jarman C., Jackson B., Ferreira F., van der Zaag P., Okello A.S., Bosch J., Dyeh P., Bastidas-Obando E., Dost R.J.J., Luxemburg W.M.J. A novel approach to estimate direct and indirect water withdrawals from satellite measurements: A case study from the Incomati basin // *Agriculture Ecosystems and Environment*. 2015. Vol. 200. P. 126–142.
24. Voinov A., Bousquet F. Modelling with stakeholders // *Environmental Modelling and Software*. 2010. Vol. 25. P. 1268–1281.

Methodological and informational bases of water availability estimation of a territory by remote sensing and GIS means

E.A. Dunaeva

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol 295453, Russia
E-mail: water_crimea@hotmail.com

The aim of the work is to develop and test the improved methodology of water availability estimation in the steppe part of the Crimean Peninsula. GIS and remote sensing data were used to obtain more accurate information on water resource potential of the region. The work is especially relevant due to the necessity to redirect the Crimean water complex to the local water resources, to establish and map the water resource potential of the territory. To achieve these objectives, Earth remote sensing data such as results of satellite image interpretation, monitoring materials of ecosystems development and water availability parameters – NDVI, NDDI, etc. – were used. With the use of open GIS software, these data enabled to identify thematic layers, define the basic elements of water balance of the territory and clarify the indicators of water resources availability of the steppe part of the Crimean Peninsula with subsequent graphic visualization. The created database of water availability criteria has more than 20 indicators with characteristics, calculation formulae, ranges of variation of parameters, advantages and limitations of use. The database can serve as the basis for a geodatabase and can be used as part of a decision support system for mitigating the effects of drought.

Keywords: GIS, remote sensing, SPI, AI, NDVI, NDDI, water availability, precipitation, evaporation, Crimea

Accepted: 16.05.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181

References

1. Bartalev S.A., Loupian E.A., Issledovaniya i razrabotki IKI RAN po razvitiyu metodov sputnikovogo monitoringa rastitel'nogo pokrova (R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 1, pp. 197–214.
2. Loupian E.A., Bartalev S.A., Krashennikova Yu.S., Nablyudenie anomal'no rannego razvitiya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v yuzhnykh regionakh Rossii vesnoi 2016 goda na osnove dannykh distantsionnogo monitoringa (Observing an abnormally early development of crops in the southern regions of Russia in spring 2016 using remote monitoring data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 2, pp. 240–243.
3. http://msh.rk.gov.ru/file/postanovlenie_soveta_ministrov_respubliki_krim_ot423.pdf.
4. Savin I., Loupian E., Bartalev S., Operativnyi sputnikovyi monitoring sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Rossii (Efficient Space Monitoring of Crops in Russia), *Geomatika*, 2011, No. 2, pp. 69–76.
5. Strashnaya A.I., Bartalev S.A., Maksimenkova T.A., Chub O.V., Tolpin V.A., Plotnikov D.E., Bogomolova N.A., Agrometeorologicheskaya otsenka sostoyaniya ozimnykh zernovykh kul'tur v period prekrashcheniya vegetatsii s ispol'zovaniem nazemnykh i sputnikovyykh dannykh na primere Privolzhskogo federal'nogo okruga (Agrometeorological evaluation of the state of winter crops in the period of cessation of the growing season using ground and satellite data on the example of the Privolzhskiy Federal District, *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2014, No. 351, pp. 85–107.
6. Strashnaya A.I., Tishtshenko V.A., Bogomolova N.A., Pavlova K.I., Tebuev H.H., Agrometeorologicheskie usloviya i prognozirovaniye urozhainosti semyan podsolnechnika v Privolzhskom federal'nom okruge (Agrometeorological conditions and forecasting of productivity of sunflower seeds in the Privolzhskiy Federal District), *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2016, No. 359, pp. 142–160.

7. Strashnaya A.I., Tarasova L.L., Bogomolova N.A., Maksimenkova T.A., Bereza O.V., Prognozirovanie urozhainosti zernovykh i zernobobovykh kul'tur v tsentral'nykh chernozemnykh oblastiakh na osnove kompleksirovaniya nazemnykh i sputnikovykh dannykh (Prediction of the yield of grain and leguminous crops in central black soil areas on the basis of complexation of ground and satellite data), *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii*, 2015, No. 353, pp. 128–153.
8. Tolpin V.A., Bartalev S.A., Burtsev M.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Matveev A.M., Proshin A.A., Flitman E.V., Otsenka sostoyaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na osnove mezhdodovoi dinamiki s ispol'zovaniem dannykh MODIS (Interannual dynamics based estimation of crops conditions by MODIS data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Issue 4, No. 2, pp. 380–389.
9. Tolpin V.A., Loupian E.A., Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Matveev A.M., Vozmozhnosti analiza sostoyaniya sel'skokhozyaistvennoi rastitel'nosti s ispol'zovaniem sputnikovogo servisa "VEGA" (Possibilities of agricultural vegetation condition analysis with the "VEGA" satellite service), *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2014, Vol. 27, No. 7 (306), pp. 581–586.
10. Shcherbenko E.V., Distantsionnye metody vyyavleniya sel'skokhozyaistvennoi zasukhi (Remote sensing identification of agricultural drought), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Issue 4, Vol. 2, pp. 408–419.
11. Shcherbenko E.V., Shorokhova M.A., Dronin N.M., Skabelkin Yu.A., Obnaruzhenie zasukhi po dannym kosmicheskikh s'emok (Drought detection according to satellite imagery), *ArcReview*, 2004, No. 2, pp. 8–9.
12. Alexandridis T.K., Cherif I., Chemin Y., Silleos G.N., Stavrinou E., Zalidis G.C., Integrated methodology for estimating water use in Mediterranean agricultural areas, *Remote Sensing*, 2009, Vol. 1 (3), pp. 445–465.
13. Alexandridis T.K., Zalidis G.C., Silleos N.G., Mapping irrigated area in Mediterranean basins using low cost satellite Earth Observation, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, Vol. 64 (2), pp. 93–103.
14. Bastiaanssen W.G.M., Karimi P., Rebelo L.-M., Duan Z., Senay G., Muttuwa L., Smakhtin V., Earth Observation Based Assessment of the Water Production and Water Consumption of Nile Basin Agro-Ecosystems, *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6 (11), pp. 10306–10334.
15. Hu G., Jia L., Menenti M., Comparison of MOD16 and LSA-SAF MSG evapotranspiration products over Europe for 2011, *Remote Sensing of Environment*, 2015, Vol. 15, pp. 510–526.
16. Karimi P., Bastiaanssen W.G.M., Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2013, Vol. 15, pp. 507–532.
17. Labbassi K., Akdim N., Alfieri S.M., Menenti M., Observation and Modelling of Soil Water Content Towards Improved Performance Indicators of Large Irrigation Schemes, *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*, Austria, 2014, Vol. 16, p. 14994.
18. Menenti M., Jia L., Mousivand A., Hu G., Zheng C., Lu J., Evaluation of ET data products: Parameterizations, rate limiting process and influential surface properties, *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2016 IEEE International, 2016, pp. 214–217.
19. Mucher S., Roerink G., Franke J., Suomalainen J., Kooistra L., Monitoring agricultural crop growth: comparison of high spatial-temporal satellite imagery versus UAV-based imaging spectrometer time series measurements, *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2014, Vol. 16, p. 15788.
20. 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)*, 2014, Vol. 3, Issue 9, pp. 24–27.
21. Roerink G.J., Menenti M., Soepboer W., Su Z., Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2003, Vol. 28 (1), Issues 1–3, pp. 103–109.
22. Seppelt R., Voinov A., Optimization Methodology for Land Use Patterns Using Spatial Explicit Landscape Models, *Ecological Modeling*, 2002, Vol. 151/2–3, pp. 125–145.
23. van Eekelen M.W., Bastiaanssen W.G.M., Jarmain C., Jackson B., Ferreira F., van der Zaag P., Okello A.S., Bosch J., Dyeh P., Bastidas-Obando ., Dost R.J.J., Luxemburg W.M.J., A novel approach to estimate direct and indirect water withdrawals from satellite measurements: A case study from the Incomati basin, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, Vol. 200, pp. 126–142.
24. Voinov A., Bousquet F., Modelling with stakeholders, *Environmental Modelling & Software*, 2010, Vol. 25, pp. 1268–1281.