

06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.6:528.87

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-6-16

ОЦЕНКА МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ЗВЕРЬКОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ^{✉1,2}, канд. техн. наук,
ученый секретарь ФГБНУ ВНИИ «Радуга»
mzverkov@bk.ru

БРЫЛЬ СЕРГЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ^{2,1}, канд. техн. наук, зав. кафедрой
animag100@mail.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга»; 140483, Московская обл., Коломенский р-н, пос. Радужный, 38, г. Коломна, Россия

² Московский политехнический университет, филиал; 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, 408. Россия

Цель работы заключалась в обследовании участка оросительной системы средствами дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата в соответствии с показателями мелиоративного состояния государственного учета земель. В задачи работы входили получение растровых изображений поля в ортогональной проекции, дешифрирование ортофотоплана и снимков дистанционного зондирования земли в различных спектральных каналах для сопоставления их с соответствующими показателями мелиоративного состояния. Приводятся методика оценки и показатели мелиоративного состояния оросительной системы. Используются три уровня оценки мелиоративного состояния: «Хорошее», «Удовлетворительное», «Неудовлетворительное». Используются нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI, индекс влажности поверхности Земли LSWI и нормализованный разностный индекс засоления NDSI. Обследуемое поле расположено на территории Коломенского городского округа Московской области и орошается электроприводной машиной кругового действия «Reinke»©. В результате установлено, что засоленные земли отсутствуют («Хорошее» мелиоративное состояние), недопустимые глубины залегания грунтовых вод наблюдаются на 20...25% орошаемой территории («Удовлетворительное» состояние), площадь эродированных земель составила 4,7% («Удовлетворительное» состояние). Проведенное обследование участка оросительной системы показало, что в 2021 г. объект имел удовлетворительное мелиоративное состояние. Это может свидетельствовать о риске дальнейшего снижения мелиоративного состояния без соответствующих превентивных мероприятий. Отмечается, что обследование мелиоративных объектов средствами дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата должно решать задачу по выявлению маркеров, свидетельствующих о рисках снижения мелиоративного состояния, и необходимости проведения исследований непосредственно на объекте, *in situ*. Крайне важно анализировать ретроспективную динамику и метеорологическую обстановку. В этом случае можно давать прогноз изменения мелиоративного состояния и оценивать эффективность проведенных мероприятий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, беспилотный летательный аппарат, мелиорация, орошение, засоление, заболачивание, эрозия, почва

Формат цитирования: Зверьков М.С., Брыль С.В. Оценка мелиоративного состояния гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 6-16. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-6-16.

© Зверьков М.С., Брыль С.В., 2021

Original article

ASSESSMENT OF THE LAND RECLAMATION CONDITION OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE SYSTEM USING DATA OF THE EARTH REMOTE SENSING AND DRONE

ZVERKOV MIKHAIL SERGEEVICH^{1,2}, candidate of technical sciences, academic secretary FSBNU VNII «Raduga»
mzverkov@bk.ru

BRYL SERGEY VALERJEVICH^{2,1}, candidate of technical sciences, head of the department
animag100@mail.ru

¹All-Russian scientific research institute of irrigation systems and agricultural water supply «Raduga»; 140483; Moscow region, Raduzhnyj, 38, Kolomna, Russia

²«Moscow Polytechnic University», branch; 140402, Kolomna, ul. Oktyabrskoy revolyutsii, 408. Russia

The purpose of the work was to survey an area of the irrigation system by means of the earth remote sensing and a drone in accordance with the indicators of the reclamation condition of the governmental land registration. The tasks of the work included obtaining raster images of the field in an orthogonal projection, decryption of the orthophotographic plan and remote sensing images of the Earth in various spectral channels to compare them with the corresponding indicators of the reclamation condition. The method of assessment and indicators of the reclamation condition of the irrigation system are given. Three levels of assessment of the reclamation condition are used: «good», «satisfactory», «unsatisfactory». The Normalized Difference Vegetation Index NDVI, Land Surface Water Index LSWI, and Normalized Differential Salinity Index NDSI are used. The surveyed field is located on the territory of the Kolomna urban district of the Moscow region and is irrigated by a circular drive machine «Reinke»©. As a result, it was found that there are no saline lands («good» reclamation condition), unacceptable ground water depths are observed on 20...25% of the irrigated territory («satisfactory» condition), the area of eroded land was 4.7% («satisfactory» condition). The survey of the part of the irrigation system showed that in 2021 the object had a «satisfactory» reclamation condition. This may indicate to the risk of further reduction of the reclamation condition without appropriate preventive measures. It is noted that the survey of reclamation objects by means of the earth remote sensing and drones should solve the problem of identifying markers indicating the risks of reducing the reclamation condition and the need to conduct research directly on the object, in situ. It is extremely important to analyze the retrospective dynamics and the meteorological situation. In this case, it is possible to make a forecast of changes in the reclamation condition and evaluate the effectiveness of the preventive measures.

Keywords: earth remote sensing, drone, land reclamation, irrigation, salinity, waterlogging, erosion, soil

Format of citation: Zverkov M.S., Bryl S.B. Assessment of the land reclamation condition of the irrigation and drainage system using data of the earth remote sensing data and drone // Prirodobustroystvo. – 2021. – № 2. – С. 6-16. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-6-16.

Введение. В соответствии с действующим законодательством в области мелиорации земель необходимо проводить мониторинг и анализ их технического

и экологического состояния. Для эффективного управления мелиоративным комплексом необходимы сведения об актуальном состоянии гидромелиоративных систем (ГМС). Для предотвращения рисков снижения мелиоративного состояния ГМС, а также выбытия мелиорируемых земель из сельскохозяйственного использования необходимо своевременное выявление нарушений в нормативных показателях эксплуатации ГМС. Ввиду большого количества мелиоративных объектов, неравномерного их расположения на территории Российской Федерации, образующегося износа элементов систем при их эксплуатации возникает необходимость постоянного учета их актуального состояния и организации оперативного мониторинга показателей систем дистанционными методами. Это обуславливает актуальность данной работы.

Мелиоративное состояние орошаемых земель включает в себя 4 уровня: «Хорошее», «Удовлетворительное», «Неудовлетворительное», «Хорошее и удовлетворительное с угрозой ухудшения» [1, 2]:

– хорошее мелиоративное состояние: почвы незасоленные и несолонцеватые, высокий уровень почвенного плодородия, грунтовые воды ниже допустимой глубины, гарантировано стабильное получение проектных урожаев сельскохозяйственных культур;

– удовлетворительное мелиоративное состояние: почвы засоленные, солонцеватые, солонцы занимают до 10...25% территории, средний уровень почвенного плодородия, грунтовые воды ниже допустимой глубины, но могут наблюдаться подтопления, гарантировано получение не более 70...90% проектных урожаев сельскохозяйственных культур;

– неудовлетворительное мелиоративное состояние: почвы засоленные, солонцеватые, солонцы занимают до 25...50% территории, низкий уровень почвенного плодородия, грунтовые воды периодически или постоянно выше допустимой глубины, гарантировано получение не более 5...70% проектных урожаев сельскохозяйственных культур;

– хорошее и удовлетворительное с угрозой ухудшения: грунтовые воды ниже допустимой глубины, но наблюдаются подъем уровня минерализованных грунтовых вод и наличие риска засоления (осолонцевания)

незасоленных или слабозасоленных (слабосолонцеватых) почв.

Необходимо отметить, что в приказе Минсельхоза России от 22 октября 2012 г. № 558, с изм. от 28 сентября 2016 г. «Об утверждении Административного регламента Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по предоставлению сведений, полученных в ходе осуществления учета мелиорированных земель», содержатся три уровня мелиоративного состояния: «Хорошее», «Удовлетворительное», «Неудовлетворительное» [3].

Цель работы заключалась в обследовании участка ГМС средствами дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и беспилотного летательного аппарата (БЛА) в соответствии с показателями мелиоративного состояния государственного учета земель.

В задачи работы входили получение растровых изображений поля в ортогональной проекции, дешифрирование ортофотоплана и снимков ДЗЗ в различных спектральных каналах для сопоставления их с соответствующими показателями мелиоративного состояния.

Стоит также отметить, что сама идея оценки различных природных и антропогенных объектов с помощью средств ДЗЗ в настоящее время находит обширное применение. Так, проводят урбоэкологические изыскания городских местообитаний [4], фрагментацию ландшафта [5], изучают пространственное распределение биомассы в гидрологических исследованиях [6], проводят мелиоративные изыскания [7, 8] и др. [9-11].

Исследования проводились в рамках Государственного задания № 082-00256-20-00 на выполнение научно-исследовательских работ ФГБНУ ВНИИ «Радуга», выданное Минсельхозом России.

Материалы и методы исследований. Для характеристики мелиоративного состояния использованы термины и определения государственного учета мелиорированных земель в соответствии с Федеральным законом «О мелиорации земель» [3], административным регламентом Минсельхоза России по государственной услуге учета мелиорированных земель [12, 13] и утвержденными Научно-техническим советом Минсельхоза России методическими рекомендациями [14]

для применения в отрасли. Показатели мелиоративного состояния земель приведены в таблице 1. Сбор информации о состоянии обследуемого участка проводился с помощью обработки спектральных спутниковых снимков дистанционного зондирования

Земли и посредством съемки с помощью беспилотного летательного аппарата. Для интерпретации значений спектральных индексов можно использовать оценочные шкалы [8-11, 14, 15] или в настоящей работе на рисунке 1.

Таблица 1

Показатели мелиоративного состояния ГМС (орошение)

Table 1

Factors of the IDS reclamation condition (irrigation)

Мелиоративное состояние <i>Reclamation condition</i>	Площадь засоленных земель, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the saline lands, % of the total reclaimed area</i>	Площадь земель с недопустимой глубиной залегания УГВ, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the lands with the prohibitive depth of GWL occurrence, % of the total reclaimed area</i>	Площадь земель с эрозионными процессами, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the lands with erosion processes, % of the total reclaimed area</i>
Хорошее <i>Good</i>	[0;10)	[0;20)	Нет
Удовлетворительное <i>Satisfactory</i>	[10;30]	[20;30]	(0;10]
Неудовлетворительное <i>Unsatisfactory</i>	>30	>30	>10

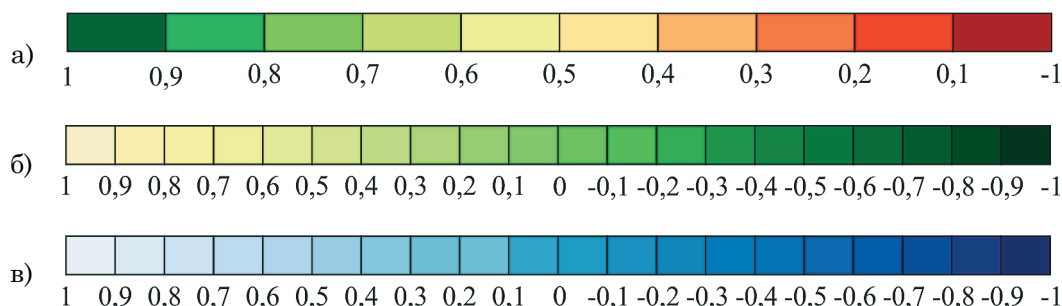


Рис. 1. Ориентировочные оценочные шкалы спектральных индексов:

NDVI (а): 0,6...1,0 – густая растительность; 0,4...0,6 – умеренная растительность;

0,2...0,4 – разреженная растительность; 0,1...0,2 – открытая почва; -1...0 – нет вегетации;

LSWI (б): 0,5...1 – сухие участки и водные объекты; 0,3...0,5 – низкая влажность;

0...0,2 – средняя влажность; -1...0 – высокая влажность, в том числе вода на поверхности почвы;

NDSI (в): (-1...0 – нет засоления; 0...0,3 – слабое; 0,3...0,6 – среднее; 0,6...1 – сильное

Fig. 1. Approximate estimation scales of spectral indexes:

NDVI (a): 0.6... 1.0 – dense vegetation; 0.4... 0.6 – moderate vegetation;

0.2... 0.4 – rarefied vegetation; 0.1... 0.2 – open soil; -1... 0 – no vegetation;

LSWI (b): 0.5... 1 – dry areas and water objects; 0.3... 0.5 – low humidity;

0... 0.2 – average humidity; -1... 0 – high humidity, including water on the soil surface;

NDSI (c): -1... 0 – no salination; 0... 0.3 – weak; 0.3... 0.6 – average; 0.6... 1 – strong

Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI позволяет осуществлять мониторинг развития растений, в результате чего можно дистанционно контролировать качество проведенных сельскохозяйственных мероприятий (в том числе мелиоративных, агротехнических),

прогнозировать продуктивность системы (урожайность) и планировать сроки сбора урожая. Анализ NDVI позволяет выявлять проблемы посевов (в том числе угнетенное состояние растений в результате нарушения режима увлажнения или ввиду нарушения нормального эксплуатационного

режима работы техники). Математически нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI определялся по зависимости*:

$$NDVI = [NIR - Red] / [NIR + Red],$$

где NIR и Red – значения спектральных характеристик в точке поля в спектральных каналах соответственно Near-Infrared (ближний инфракрасный диапазон длин волн, 865 нм) и Red (видимое излучение, 665 нм).

В данной работе интерпретация значений NDVI проводилась совместно с характеристикой доли земель f , имеющих неудовлетворительное мелиоративное состояние (%), недопустимые уровни грунтовых вод, засоления и эрозии почв):

$$f = [F_{неуд} / F_{оп}], \text{ д.е.},$$

где $F_{неуд}$ – площадь земель системы с неудовлетворительным мелиоративным состоянием (раздельно для недопустимых уровней грунтовых вод, засоления и эрозии почв), тыс. га.

Оценка недопустимых уровней грунтовых вод и засоления почв также может проводиться с помощью обработки спектральных снимков ДЗЗ или БЛА по данным значений индексов, например, LSWI и NDSI.

Интерпретация уровня текущей влажности почвы определялась путем получения значений спектрального индекса LSWI. Эта характеристика может служить оценкой экологического состояния гидромелиоративной системы по уровню заболоченности ее участков. Математически спектральный индекс LSWI определялся с помощью выражения:

$$LSWI = [I_{0,86} - I_{2,13}] / [I_{0,86} + I_{2,13}],$$

где $I_{0,86}$ и $I_{2,13}$ – значения спектральных характеристик в точке поля в спектральных каналах (длин волн) 0,86 и 2,13 мкм соответственно.

Нормализованный разностный индекс засоления NDSI позволяет оценить

площадь почв, подверженных деградационным процессам засоления и осолонцевания, а также оценить качество проведения работ химической мелиорации по устранению деградационных процессов и степень развития этих процессов от уровня агротехники и др. Математически спектральный индекс NDSI определялся с помощью выражения [11]:

$$LSWI = [I_{0,66} - I_{0,86}] / [I_{0,86} + I_{0,66}],$$

где $I_{0,86}$ и $I_{0,66}$ – значения спектральных характеристик в точке поля в спектральных каналах (длин волн) 0,86 и 0,66 мкм соответственно.

Результаты и обсуждение. В 2020 г. выполнена оценка мелиоративного состояния части гидромелиоративной системы, расположенной в Озерской районе (в настоящее время – Коломенский городской округ), в хозяйстве ЗАО «Озерь» (Жилевское отделение). ЗАО «Озерь» образовано в 1992 г. на базе совхоза «Озерь», существовавшего с 1939 года. Общая площадь землепользования – около 7000 га, из них около 5017 га – сельскохозяйственные угодья, в том числе около 1700 га – орошаемые земли. Обследуемое поле орошается электроприводной машиной кругового действия ЭДМ «Reinke»©, длина – 400 м (рис. 2). В 2020 г. на участке выращивали картофель.



Рис. 2. ЭДМ «Reinke» на обследуемом участке (октябрь 2020 г.)

Fig. 2. CDM «Reinke» on the surveyed area (October, 2020)

С северо-западной стороны орошаемый участок пересекает автомобильная магистраль с твердым покрытием сообщением «Озеры – Коломна», к юго-западной границе участка примыкает подъездная автомобильная дорога к деревне Жиливо

с разворотной автобусной площадкой и останочным комплексом, у северо-восточной границы участка произрастает древесно-кустарниковая растительность, затрудняющая эффективное использование орошаемой площади, к восточной границе примыкает хозяйственный оросительный канал. Участок имеет неправильную форму.

Обследование участка выполнено с использованием сервиса LandViewer© (URL: <https://eos.com/landviewer>), детальное изучение и актуальные снимки в естественных цветах (true color) получены с помощью беспилотного летательного аппарата «Hubsan Zino PRO» (далее – БЛА), съемка выполнена *in situ*. БЛА был запрограммирован на режим облета по точкам с заданной геопозицией (траектория движения

по точкам с известными GPS-координатами, точность перемещения между которыми контролируется с помощью связи БЛА со спутниками), полет на высоте 270 м. В результате получена серия 12 последовательных растровых изображений поля (в ортогональной проекции), дальнейшая обработка которых включала в себя ориентирование их в заданной системе координат и объединение в единый ортофотоплан (в данной работе этот термин используется в соответствии с ГОСТ Р 51353-99 – «Геоинформационное картографирование. Метаданные электронных карт. Состав и содержание»). В результате получена исходная для анализа мозаика изображения обследуемого участка и ее дешифрирование (рис. 3).

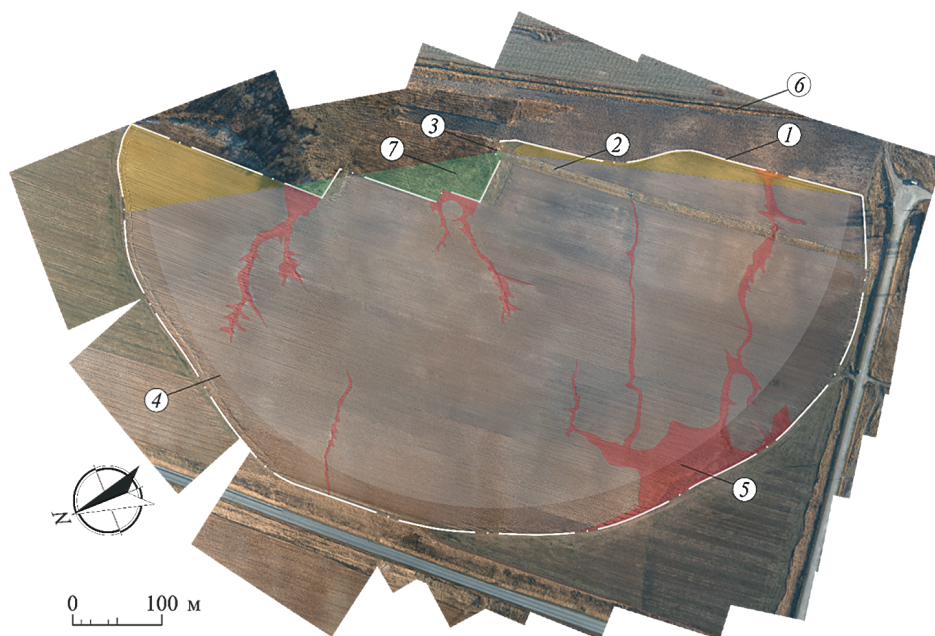


Рис. 3. Ортофотоплан обследуемого участка:

- 1 – границы участка; 2 – крыло дождевальной машины;
 3 – неподвижная опора с гидрантом; 4 – сектор перемещения дождевальной машины;
 5 – эрозия; 6 – внутрихозяйственный мелиоративный канал;
 7 – следы от колес (опорных тележек)

Fig. 3. Orthophotoplan of the surveyed area:

- 1 – the boundaries of the area; 2 – the wing of the sprinkler;
 3 – the stationary support with a hydrant; 4 – the movement sector of the sprinkler;
 5 – erosion; 6 – internal economic reclamation channel; 7 – traces of wheels (support carts)

С помощью сервиса LandViewer© выполнен поиск актуальных спутниковых снимков и получены оценки спектральных индексов (рис. 4). В рамках данного исследования использованы снимки, сделанные с помощью спутника «Sentinel-2 L2A». В результате получен ретроспективный временной ряд состояний поля в 2020 г.:

до вегетации, в течение вегетации и после вегетации (рис. 4). Спектральные индексы сопоставлялись с метеорологической обстановкой (температурой воздуха и количеством осадков по данным метеостанции Коломна WMO 27625) в 2020 г. Осредненные результаты оценки показателей мелиоративного состояния приведены в таблице 2.

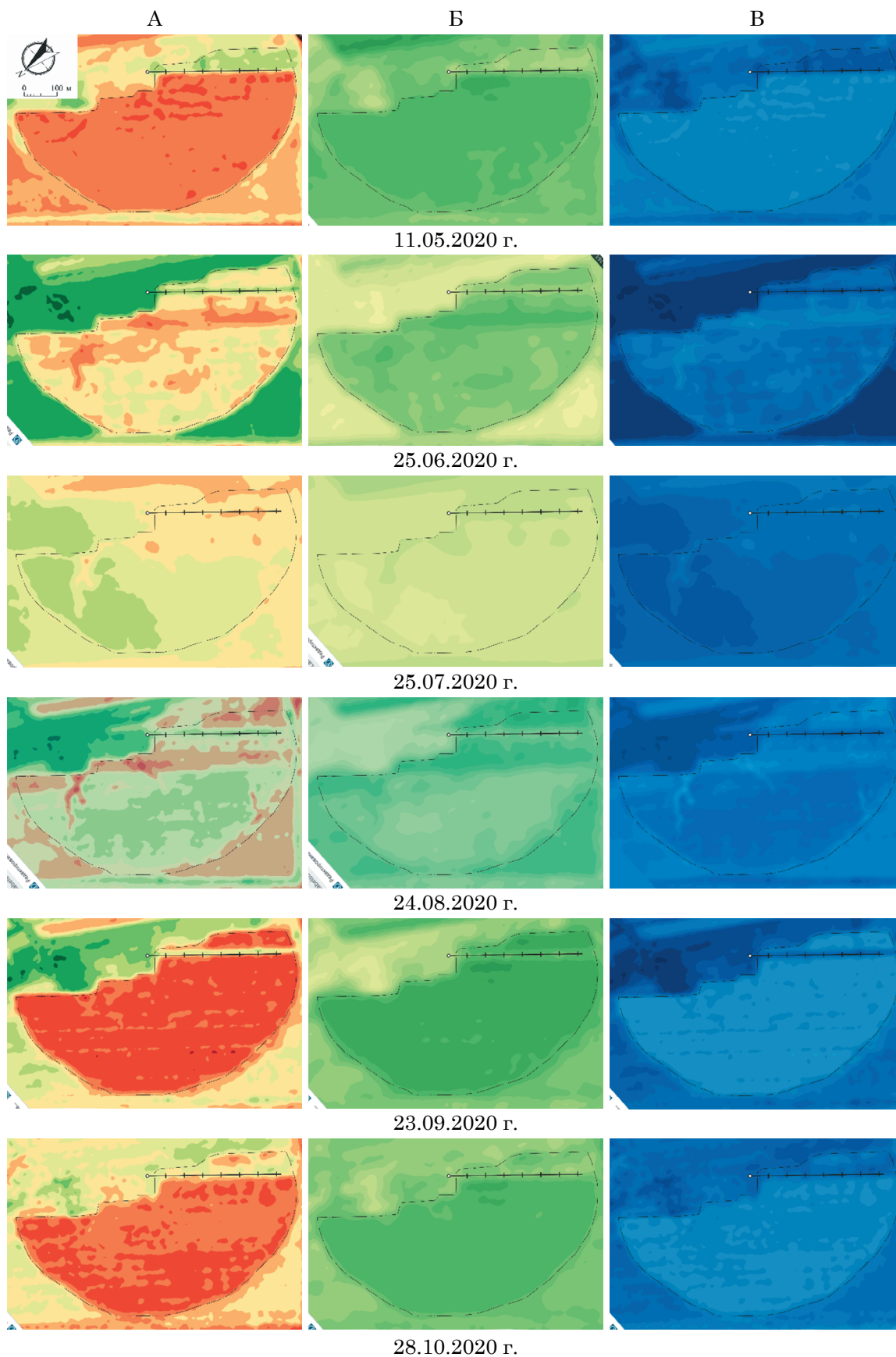


Рис. 4. Ретроспективный временной ряд состояний поля в 2020 г.:
 А – индекс NDVI; Б – индекс LSWI; В – индекс NDSI; пунктирная линия – границы
 обследуемого участка; черная линия – дождевальная машина

Fig. 4. Retrospective time series of the field conditions in 2020:
 А – NDVI index; Б – LSWI index; В – NDSI index; the dash-dot line – the boundaries
 of the surveyed area; black line – the sprinkler

Показатели мелиоративного состояния участка ГМС

Indicators of the reclamation condition of the IDS section

Параметр мелиоративного состояния <i>Parameter of the reclamation condition</i>	Усредненное значение за 2021 год <i>Average value for the 2021 year</i>	Характеристика мелиоративного состояния <i>Characteristics of the reclamation condition</i>
Площадь засоленных земель, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the saline lands, % of the total reclaimed area</i>	0	Хорошее <i>Good</i>
Площадь земель с недопустимой глубиной залегания УГВ, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the lands with the prohibitive depth of GWL occurrence, % of the total reclaimed area</i>	20...25	Удовлетворительное <i>Satisfactory</i>
Площадь земель с эрозионными процессами, % от общей мелиорируемой площади <i>Area of the lands with erosion processes, % of the total reclaimed area</i>	4.7	Удовлетворительно <i>Satisfactory</i>

По значениям спектрального индекса LSWI (показывает оголенную влажную почву в значении паттернов $-0,2...0,1$) можно установить, что по состоянию на 11 мая 2020 г. в границах обследуемого участка ГМС около 20...25% территории имеет выраженные признаки недопустимого уровня влажности. По индексу NDSI (значении паттернов $-0,3...-0,1$ для оголенной почвы) засоленных участков не обнаружено. Нужно отметить, что по природным условиям зона, в которой расположен участок орошения, в основном не способствует формированию почв с повышенным содержанием солей. Однако в зависимости от источников и видов орошения могут наблюдаться локальные, вероятно, незначительные очаги засоления. Кроме того, требуется уточнение чувствительности индекса NDSI к загрязнению почв пестицидами и удобрениями.

Анализ вегетационного индекса NDVI показывает, что на орошаемом участке есть области, где развитие растений угнетено. Эти области имеют паттерны со значением индекса $0,2...0,4$ и преимущество локализованы в местах развития ирригационной эрозии. Особенно ярко это выражено на снимке за 24 августа 2020 г. Показатели для «здоровой» растительности в основном находятся в диапазоне $0,4...0,8$ для данного поля. Обращают на себя внимание паттерны со значением $0,6...0,7$ для неорошаемого фрагмента поля (выделено желтым цветом на рисунке 3 вблизи древесно-кустарниковой растительности), в то время как на остальной части орошаемого участка в это время (рис. 4А за 25 июля

2020 г.) – $(+0,4...0,6)$, а в местах локализации ирригационной эрозии – $(+0,2...0,4)$.

Дополнительный анализ индекса NDSI показывает, что его значения сопоставимы со значениями NDVI. С другой стороны, повышенные значения NDSI приурочены к областям развития ирригационной эрозии (талвеги поверхностного стока) и могут свидетельствовать об аккумуляции пестицидов или удобрений (эти вещества в данной работе не исследовались, однако такие визуальные маркеры могут являться основанием для натуральных обследований и отбора образцов почв для анализа). Кроме того, есть данные исследований, свидетельствующие о связи NDVI с засолением почв [16].

Последствия ирригационной эрозии (4,7% от общей орошаемой площади) требуют особого внимания. Участок расположен на уклонной поверхности (средние уклоны – $0,05...0,08$, в некоторых местах – до $0,15$). В связи с этим необходимо дополнительное очное обследование состояния почв. В данном случае необходимо обратить внимание на интенсивность искусственного дождя, тщательную планировку орошаемой поверхности, целесообразность применения почвенных кондиционеров (почвоулучшителей) для повышения впитывающей способности почв, снижения величины поверхностного стока и повышения экологической безопасности орошения.

Эти выводы приобретают особое значение в совокупности с указанными выше предпосылками для NDSI. Нужно отметить, что, поскольку наблюдается поверхностный

сток, то риски, связанные с возникновением эрозии, распространяются не только на участки орошения, но и за его пределы.

Выводы

Проведенное обследование участка ГМС показало, что в 2021 г. объект имел удовлетворительное мелиоративное состояние. Это может свидетельствовать о риске дальнейшего снижения мелиоративного состояния без соответствующих превентивных мероприятий. В данном случае можно рекомендовать проведение детальных натурных обследований для уточнения показателей мелиоративного состояния на основе

данных ДЗЗ и БЛА и разработки мер по их улучшению.

Нужно отметить, что обследование мелиоративных объектов средствами ДЗЗ и БЛА должно решать задачу по выявлению маркеров, свидетельствующих о рисках снижения мелиоративного состояния и необходимости проведения исследований непосредственно на объекте, *in situ*. Крайне важно анализировать ретроспективную динамику и метеорологическую обстановку. В этом случае можно давать прогноз изменения мелиоративного состояния и оценивать эффективность проведенных мероприятий.

Библиографический список

1. Экосистемный мониторинг водных ресурсов и мелиоративных объектов / Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сазанов М.А. и др. // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 3. – С. 56-61.
2. Кац Д.М., Парфенова Н.И. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. Вып. 2. – М.: ВНИИГиМ, 1982. – 108 с.
3. О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ, с изм. от 27 декабря 2019 г. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302>
4. Мартынова А.Э., Солодянкина С.В. Факторный анализ классификации городских местообитаний на примере Свердловского округа города Иркутска // Экология и строительство. – 2019. – № 3. – С. 12-19. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-03-002.
5. Захаров К.В., Медведков А.А., Борисов В.Ф. Фрагментация ландшафта и парковое благоустройство как факторы накопления тяжелых металлов в листьях березы // Экология и строительство. – 2020. – № 1. – С. 4-13. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-001.
6. Влияние комплекса факторов среды на биомассу фитопланктона и зоопланктона в Черном море в весенний период / Крашенинникова С.Б., Минкина Н.И., Самышев Э.З. и др. // Экология и строительство. – 2019. – № 4. – С. 14-21. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-002.
7. Касьянов А.Е. Маркерные участки цифровой мелиорации сельскохозяйственных земель // Экология и строительство. – 2020. – № 3. – С. 21-24. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.
8. Xiang K., Yuan W., Wang L., Deng Yu. An LSWI-Based Method for Mapping Irrigated Areas in China Using Moderate-Resolution Satellite Data // Remote Sens. – 2020. –

Reference

1. Ekosistemnyj monitoring vodnyh resursov i meliorativnyh objektov / Borydychev V.V., Dedova E.B., Sazanov M.A. i dr. // Rossijskaya selskohozyajstvennaya nauka. – 2017. – № 3. – S. 56-61.
2. Kats D.M., Parfenova N.I. Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu za meliorativnym sostoyaniem oroshaemyh zemel'. Vyp. 2 – M.: VNIIGiM. 1982. – 108 s.
3. O melioratsii zemel' (s izmeneniyami na 27 dekabrya 2019 goda) / Federalnyj zakon № 4-FZ ot 10 yanvary 1996 g. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302>
4. Martynova A.E., Solodyankina S.V. Faktorny analiz klassifikatsii gorodskih mestoobitaniya na primere Sverdlovskogo okruga goroda Irkutskaja // Ekologiya i stroitelstvo. – 2019. – № 3. – S. 12-19. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-03-002.
5. Zaharov K.V., Medvedkov A.A., Borisov V.F. Fragmentatsiya landshafta i parkovoe blagoustrojstvo kak factory nakopleniya tyazhelyh metallov v listyah berezy // Ekologiya i stroitelstvo. – 2020. – № 1. – S. 4-13. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-001.
6. Vliyanie kompleksa factorov srede na biomassu fitolanktona i plankton and zooplankton biomass in the Black Sea in spring / Krasheninnikova S.B., Minkina N.I., Samyshev E.Z. i dr. // Ekologiya i stroitelstvo. – 2019. № 4. – P. 14-21. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-002.
7. Kasyanov A.E. Markernye uchastki tsifrovoj melioratsii selskohozyastvennyh zemel // Ekologiya i stroitelstvo. – 2020. – № 3. – S. 21-24. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.
8. Xiang K., Yuan W., Wang L., Deng Yu. An LSWI-Based Method for Mapping Irrigated Areas in China Using Moderate-Resolution

Vol. 12(24), article id 4181: DOI: 10.3390/rs12244181.

9. **Panek E., Gozdowski D.** Relationship between MODIS Derived NDVI and Yield of Cereals for Selected European Countries // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, article id 340. DOI: 10.3390/agronomy11020340.

10. **Yan-Feng L.G., Richards D.R.** Development of spontaneous vegetation on reclaimed land in Singapore measured by NDVI // *PLoS ONE*. – 2021. – Vol. 16(1), article id e0245220. DOI: 10.1371/journal.pone.0245220.

11. **Khan N.M.** et al. 2001. Mapping Salt-affected Soils Using Remote Sensing Indicators – A Simple Approach With the Use of GIS IDRISI / 22th Asian Conference on Remote Sensing: proceedings of the scientific conference. Singapore, 2001. 5 p.

12. О внесении изменений в приказы Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 22 октября 2012 г. № 558 и от 22 октября 2012 г. № 559: приказ Минсельхоза России от 28 сентября 2016 г. № 429. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420379945>

13. Об утверждении Административного регламента Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по предоставлению сведений, полученных в ходе осуществления учета мелиорированных земель: приказ Минсельхоза России от 22 октября 2012 г. № 558, с изм. от 28 сентября 2016 г. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902379413>

14. **Брыль С.В., Зверков М.С.** Методические рекомендации по применению методов дистанционного мониторинга на гидромелиоративных системах: Научно-методическое издание. – Коломна: ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2020. – 60 с.

15. **Назаров Н.Н., Копытов С.В.** Использование данных дистанционного зондирования в изучении перестроек речной сети (на примере верхней Камы) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 105-117.

16. **Конюшкова М.В., Вышивкин А.А.** 2009. Связь изображения на космических снимках Quickbird с растительностью, почвами и их засоленностью (Северный Прикаспий, район Джаныбекского стационара РАН) // *Поволжский экологический журнал*. – 2009. – № 1. – С. 35-46. – URL: http://www.sevin.ru/volecomag/issues/2009_1/PEJ_2009_1_35-46.pdf.

Satellite Data // *Remote Sens.* – 2020. – Vol. 12(24), article id 4181: Doi: 10.3390/rs12244181.

9. **Panek E., Gozdowski D.** Relationship between MODIS Derived NDVI and Yield of Cereals for Selected European Countries // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, article id 340. DOI: 10.3390/agronomy11020340.

10. **Yan-Feng L.G., Richards D.R.** Development of spontaneous vegetation on reclaimed land in Singapore measured by NDVI // *PLoS ONE*. – 2021. – Vol. 16(1), article id e0245220. DOI: 10.1371/journal.pone.0245220.

11. **Khan N.M.** et al. 2001. Mapping Salt-affected Soils Using Remote Sensing Indicators – A Simple Approach With the Use of GIS IDRISI / 22th Asian Conference on Remote Sensing: proceedings of the scientific conference. Singapore, 2001. 5 p.

12. О внесении изменений в приказы Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 22.10.2012 N558 и от 22.10.2012 N559 / Приказ Минсельхоза России от 28 сентября 2016 года N429 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420379945>

13. Об утверждении Административного регламента Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по предоставлению государственной услуги по предоставлению сведений, полученных в ходе осуществления учета мелиорированных земель / Приказ Минсельхоза России от 22 октября 2012 г. № 558 (с изменениями на 28 сентября 2016 года) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902379413>

14. **Bryl S.V., Zverkov M.S.** Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu metodov distantsionnogo monitoringa na gidromeliorativnyh sistemah: nauchno-metodicheskoe izdanie. – Kolomna: FGBNU VNII «Raduga», 2020. – 60 s.

15. **Nazarov N.N., Kopytov S.V.** Ispolzovanie dannyh distantsionnogo zondirovaniya v izuchenii perestroek rechnoj seti (na primere verhnjej Kamy) // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2019. – T. 16. № 1. – S. 105-117.

16. **Konyushkova M.V., Vyshivkin A.A.** 2009. Svyaz izobrazheniya na kosmicheskikh snimkah Quickbird s rastitelnostyu, pochvami i ih zasolennostyu (Severnij Priskaspij, rajon Dzhanjebekskogo stacionara RAN) // *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal*. – 2009. – № 1. – S. 35-46. (dostup po ssylke http://www.sevin.ru/volecomag/issues/2009_1/PEJ_2009_1_35-46.pdf).

Критерии авторства

Зверков М.С., Брыль С.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Зверков М.С., Брыль С.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 23.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 22.03.2021 г.

Принята к публикации 5.04.2021 г.

Criteria of authorship

Zverkov M.S., Bryl S.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Zverkov M.S., Bryl S.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 23.02.2021

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 5.04.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504: 631.432.2

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-16-25

АНАЛИЗ ТРЕНДОВ ПОТОКОВ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ (ЗА 2003-2017 ГГ.) ПО ДАННЫМ ПРОДУКТА MOD16A2 ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ МАРКОВСКОГО РАЙОНА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ЕРМОЛАЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА [✉], старший преподаватель
ol_ermolaeva@mail.ru

ЗЕЙЛИГЕР АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ, д-р биологических наук, профессор
azeiliger@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49, Россия

В настоящей работе представлены результаты расчетов площадных трендов потоков суммарного испарения E_{Ta} за вегетационные периоды 2003-2017 гг. на территории Марковского района Саратовской области. Сформированные для этой территории растровые слои с 500 м разрешением значений потоков E_{Ta8} (8-суточного осреднения E_{Ta}) для каждого года исследованного временного интервала были получены из наборов тайлов $h20v03$ продукта MOD16A2 за период с 25 мая по 2 сентября соответствующего года. В результате для территории Марковского района было составлено 19830 временных рядов потоков суммарного испарения за вегетационные периоды E_{Taw} 15 лет исследуемого периода. Составленные временные ряды были использованы для проведения пространственного анализа трендов E_{Taw} с применением метода непараметрической статистики Манн-Кендалла. В результате этого анализа было выявлено наличие двух полупериодов с диаметрально противоположными направлениями трендов у доминирующей части временных рядов. Первый полупериод – с отрицательными значениями трендов – пришелся на 2003-2010 гг., а второй – с положительными значениями трендов – приходился на 2010-2017 гг. Для визуального дешифрирования мест аномальных значений скоростей трендов обоих полупериодов были использованы космоснимки высокого разрешения. В результате было отмечено, что месторасположение этих аномалий соответствовало месторасположению дождевальных машин кругового действия на территории Приволжской оросительной системы.

Ключевые слова: суммарное испарение, модель SEBS, продукт MOD16A2, тест Манн-Кендалла, Марковский район, дождевальные машины, Приволжская оросительная система

Формат цитирования: Ермолаева О.С., Зейлигер А.М. Анализ трендов потоков суммарного испарения (за 2003-2017 гг.) по данным продукта MOD16A2 для территории