

Научная статья

Original article

УДК 631.6 : 528.932

DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_24

**НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИМЕР
СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ
СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА**

**NORMATIVE AND METHODOLOGICAL ASPECTS AND AN EXAMPLE OF
CREATION OF THE IRRIGATION AND DRAINAGE SYSTEM'S DIGITAL TWIN
USING DATA OF THE EARTH REMOTE SENSING**



Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»» (140483, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, 33А), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Брыль Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»» (140483, Московская область, Коломенский городской округ, поселок Радужный, 33А), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, Bryl_Sv@mail.ru

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, scientific secretary, senior researcher, All-Russia Scientific and Research Institute for Irrigation and Farming Water

Supply Systems «Raduga» (38, Raduzhnyj, Kolomna city district, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, rad_sc@bk.ru

Bryl Sergei Valerevich, candidate of technical sciences, senior researcher, All-Russia Scientific and Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems «Raduga» (38, Raduzhnyj, Kolomna city district, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, Bryl_Sv@mail.ru

Аннотация. Целью настоящей работы являлось создание «цифрового двойника» модели местности, в котором объект и рельеф рассматривается как единая система и элемент цифровой информационной модели, используемой для анализа состояния и управления на любом этапе жизненного цикла мелиоративного объекта. В статье в общем виде предложен и рассмотрен методический подход обследования участка гидромелиоративной системы с помощью дистанционных технологий, включая цифровую фотограмметрическую обработку материалов космической и аэросъемки. Данный подход может использоваться в качестве базы для разработки подробных алгоритмов создания цифровых двойников (цифровых информационных моделей) гидромелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Приведен пример создания цифрового двойника участка гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного мониторинга.

Abstract. The purpose of this work was to create a «digital twin» of the terrain model, in which the object and terrain are considered as a single system and element of a digital information model used to analyze the condition and management at any stage of the life cycle of the reclamation system and facility. The methodological approach to the survey of the condition of the irrigation and drainage system using remote technologies, including digital photogrammetric processing of space and aerial survey materials, is proposed and considered in general forms in the article. This approach can be used as a basis for the development of detailed algorithms for creating the digital twin (digital information models) of the irrigation and drainage systems and separately located

hydraulic structures. An example of creating the digital twin of part of the irrigation and drainage system using remote monitoring data is given in the article.

Ключевые слова: мелиорация, ортофотоплан, цифровая информационная модель, дистанционное зондирование Земли, беспилотный летательный аппарат, дешифрирование, цифровой двойник.

Keywords: land reclamation, orthophotomap, digital information model, earth remote sensing, unmanned aerial vehicle, decryption, digital twin.

Введение

В соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Российской Федерации в области мелиорации земель необходимо проводить мониторинг и анализ их технического и экологического состояния. Для предотвращения рисков снижения мелиоративного состояния и выбытия земель гидромелиоративных систем из сельскохозяйственного использования необходимы своевременное выявление нарушений в показателях их нормативного состояния. Ввиду большого количества мелиоративных объектов, неравномерного их расположения на территории Российской Федерации, образующегося износа элементов систем при их эксплуатации, возникает необходимость постоянного учета их актуальных состояний и организации оперативного мониторинга показателей систем дистанционными методами. Это обуславливает актуальность данной работы. В соответствии с частью 1 статьи 57_5 Градостроительного кодекса Российской Федерации [1] и в связи с принятием постановления Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 [2] «Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» [2] и постановления Правительства РФ от 5 марта

2021 г. N 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» [3] остро стоит вопрос создания информационных моделей существующих объектов гидромелиоративных систем, в том числе финансируемых с привлечением средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации.

Информационная модель мелиоративного объекта создается путем формирования совокупности представленных в электронном виде документов, графических и неграфических данных по мелиоративному объекту, размещаемой в соответствии с установленными правилами в среде общих данных, представляющая собой единый источник информации по объекту на любом этапе его жизненного цикла.

Формирование информационной модели мелиоративного объекта в общем виде представляет процесс сбора, обработки, систематизации, учета и хранения в электронной форме взаимосвязанных сведений, документов и материалов о гидромелиоративной системе или гидротехническом сооружении.

Цифровая модель местности – обязательный элемент цифровой информационной модели мелиоративного объекта. Рассматриваемые в настоящих методических рекомендациях алгоритмы являются частью общей методики использования дистанционных средств мониторинга для получения, анализа и использования ретроспективной и оперативной информации о техническом и экологическом состоянии мелиоративных объектов и устанавливают общий порядок действий при создании цифровых моделей местности.

Целью настоящей работы являлось создание «цифрового двойника» модели местности, в котором объект и рельеф рассматривается как единая система и элемент цифровой информационной модели, используемой для анализа состояния и управления на любом этапе жизненного цикла мелиоративного объекта.

Взаимодействие с объектом происходит и описывается сценариями, которые моделируются с помощью информационной модели, позволяющей изучить или определить характеристики поведения объекта (на эксплуатационном этапе жизненного цикла или в условиях риска развития аварийной и чрезвычайной ситуации), предсказать его эксплуатационные свойства (например, на этапе проектирования, реконструкции и техническом перевооружении), тем самым формируя большой набор знаний об этом объекте.

«Цифровой двойник» модели местности позволяет получить полную информацию о текущем техническом состоянии гидромелиоративной системы и гидротехнического сооружения и может быть использован как подоснова для планирования, проектирования, строительства, реконструкции и консервации мелиоративных объектов.

Приказ Минсельхоза России от 31 июля 2020 года N 438 «Об утверждении Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений» [4] гармонизирован с Федеральным законом от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» [5], ГОСТ Р 58376-2019 «Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования», Градостроительным кодексом Российской Федерации, Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. № 383-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», сводом правил «СП 421.1425800.2018 Свод правил. Мелиоративные системы и сооружения. Правила эксплуатации». В соответствии с пунктом 7 части II приказа № 438 эксплуатация включает периодический осмотр мелиоративных сетей, сооружений и оборудования, контроль за подготовкой мелиоративных сетей и сооружений к работе в вегетационный период, организацию периодических обследований, а также полных технических обследований после завершения вегетационного сезона на предмет определения конкретных видов и объемов ремонтных работ [15].

Приказ Минсельхоза России от 30 июня 2020 года N 365 (с изменениями на 25 мая 2021 года) регламентирует получение физическими и юридическими лицами

или их уполномоченными представителями сведений о наличии или отсутствии мелиорируемых земель на том или ином земельном участке (в соответствии с его кадастровым номером) [6]. При этом при осуществлении учета (инвентаризации) мелиорируемых земель практики сталкиваются с неактуальными данными или их отсутствием в мелиоративном кадастре. Очевидно, что ретроспективная и оперативная информация, получаемая в ходе дистанционного мониторинга, также может быть полезна для уточнения актуальных сведений о наличии или отсутствии мелиорируемых земель на конкретном кадастровом объекте. Степанова В.И. и Ишханова А.А. в [7] также отмечают, что мониторинг сельскохозяйственных угодий сложно организовывать из-за недостатка точных карт, неразвитой сети пунктов оперативного мониторинга [16], отсутствия авиационной поддержки и по другим причинам. Метод обработки спутниковых снимков с помощью спектральных индексов для картирования достаточно хорошо известен и используется в том числе в мелиоративной практике. Так, Chance E.W. с соавторами [8] с помощью нормализованного вегетационного индекса NDVI, улучшенного индекса растительности EVI и нормализованного разностного индекса влажности NDMI разработали алгоритм выделения на спутниковых снимках орошаемых и неорошаемых участков. Данные некоторых исследований по спутниковому мониторингу орошаемых культур свидетельствуют о значительной корреляции режимов орошения, урожайности и спектральных индексов [9, 10, 11, 12]. Спектральные характеристики и спектральные снимки также могут дополнять цифровой двойник мелиоративного объекта и расширять сведения о его состоянии.

Методы проведения исследования

Авторами настоящего исследования проведено обследование участка гидромелиоративной системы, расположенной в Коломенском городском округе в хозяйстве ЗАО «Озеры» в Жилевском отделении. Участок орошается электроприводной машиной кругового действия ЭДМ «Reinke» (длина 400 метров). В сезон 2020 года на участке выращивали картофель, в 2021 году – лук на репку, а часть орошаемого поля была засажена яровой пшеницей.

В работе приведены результаты построения ортофотопланов мелиоративных объектов, полученные в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52440-2005 [13]. Метод и средства создания цифровой модели местности (ортофотоплана и рельефа) – цифровая фотограмметрическая обработка материалов космической и аэросъемки. Формирование цифрового описания объекта – простое. Тип объекта – растровый (для ортофотоплана) и поверхность (для цифровой модели рельефа).

Снимки в естественных цветах (true color) получены с помощью беспилотного летательного аппарата (Hubsan Zino PRO), съемка выполнена *in situ*. Беспилотный летательный аппарат 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 беспилотного летательного аппарата со спутниками), полет во всех случаях проходил на высоте 270 м [17]. В результате получена серия последовательных изображений фрагментов участка, которые ориентировались по сторонам света, накладывались друг на друга и путем обработки с помощью компьютерной программы объединялись в ортофотоплан (с геопривязкой, например, с помощью PHOTOMOD ver. 6.0.2.1823 (2015), Agisoft Metashape ver. 1.7.2 build 12070 и подобные, а также для предварительных анализов без геопривязки могут быть использованы графические редакторы, такие как Adobe Photoshop ver. 23.1 и аналогичные с функцией создания панорамных изображений). Таким образом получена исходная мозаика изображений для последующей дешифровки.

В качестве источника исходной информации для построения цифровой модели рельефа использовалась программа Google Earth Pro 7.3.4.8248 импорт данных выполнен в формат .KML. Формат исходных координат WGS84. Для дальнейшей работы формат .KML был преобразован в формат .TXT, после чего данные преобразованы в координаты местной системы координат (в данном примере – МСК 50, зона 2), дополненные отметками точек поверхности, характеризующими поверхность рельефа местности. Файл импортируется в программный комплекс для построения ЦМР. При выборе программного комплекса для создания цифровой модели рельефа необходимо учитывать, чтобы

используемый программный комплекс позволял моделировать поверхности из данных облака точек; проектировать напорную и безнапорную сеть; создавать листы планов и профилей; выполнять расчет объемов и стоимости земляных работ; автоматически подготавливать рабочую документацию; импортировать и экспортировать данные, например, в IFC – формате и схеме данных с открытой спецификацией, являющейся международным стандартом обмена данными для совместного использования данных в строительстве и управлении зданиями и сооружениями [18] (ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018 [14]). Создание и настройка ЦМР выполнена в программном комплексе Autodesk® Civil 3D® 2021.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показаны ортофотопланы обследованного участка, на рисунке 2 – элементы цифрового двойника (ортофотоплан и цифровая модель рельефа) и пример дешифрирования снимка.

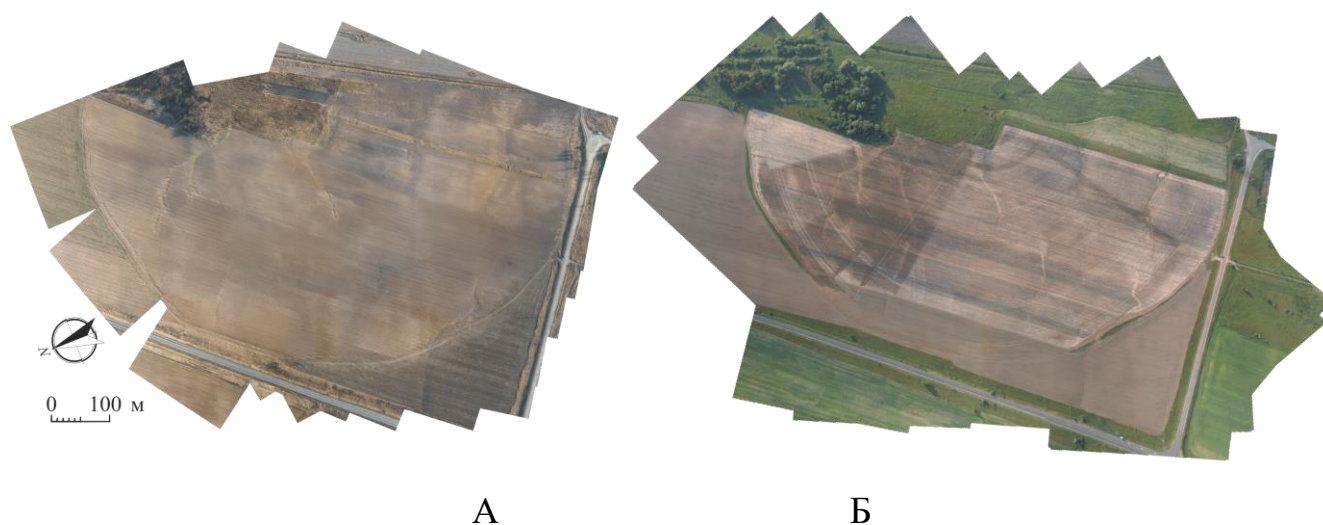


Рисунок 1. Ортофотопланы в 2020 (А) и 2021 (Б) годах (исходные мозаики)

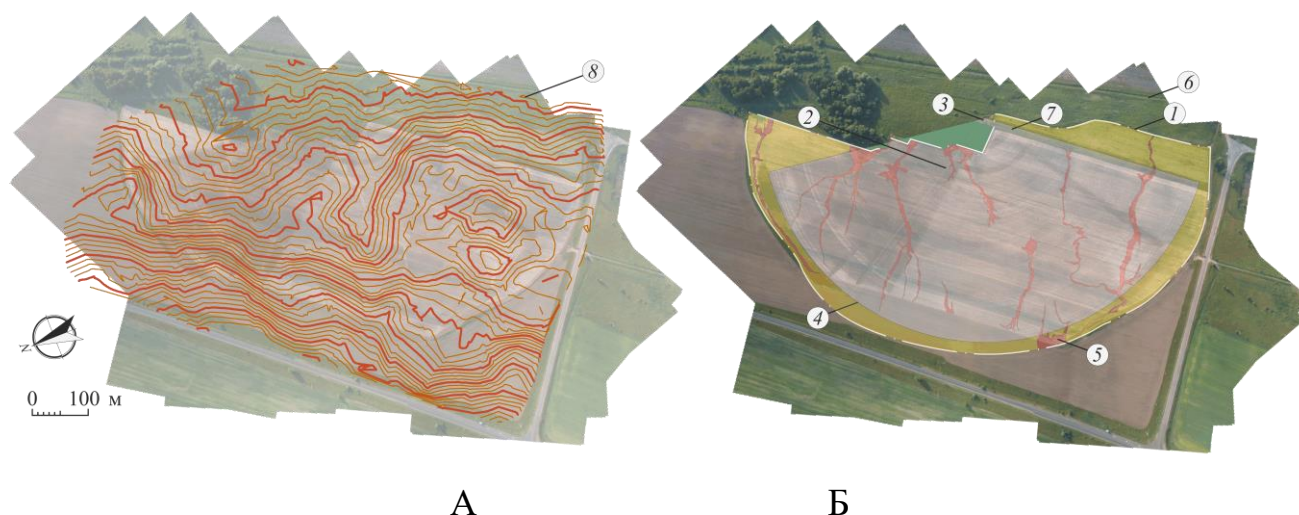


Рисунок 2. Цифровой двойник участка гидромелиоративной системы (а) и пример дешифрирования (b): 1 – граница участка, в пределах которого возделывается орошаемая сельскохозяйственная культура; 2 – крыло дождевальной машины; 3 – неподвижная опора с гидрантом; 4 – сектор перемещения дождевальной машины; 5 – ирригационная эрозия; 6 – мелиоративный канал; 7 – следы от колес тележки дождевальной машины; 8 – горизонталь цифрового модели рельефа [12]

По таким материалам можно судить о ретроспективном развитии мелиоративной системы.

Выводы

В статье в общем виде предложен и рассмотрен методический подход обследования участка гидромелиоративной системы с помощью дистанционных технологий, включая цифровую фотограмметрическую обработку материалов космической и аэросъемки. Данный подход может использоваться в качестве базы для разработки подробных алгоритмов создания цифровых двойников (цифровых информационных моделей) гидромелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Литература

1. Градостроительный кодекс РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338?marker=DGC0QQ> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

2. Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов, а также о внесении изменения в пункт 6 Положения о выполнении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/129915/> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

3. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 года N 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573842519> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

4. Об утверждении Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений / Приказ Минсельхоза России от 31 июля 2020 года N 438 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780455?marker=6560IO> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

5. О мелиорации земель (с изменениями на 8 декабря 2020 года) / Федеральный закон № 4-ФЗ от 10 января 1996 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

6. 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 30 июня 2020 года N 365

(с изменениями на 25 мая 2021 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542672610> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

7. Степанова В.И., Ишханова А.А. Использование карт местности при дистанционном зондировании Земли // Вестник ОрелГАУ. 2019. №1 (76). С. 52-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.

8. Chance, E.W.; Cobourn, K.M.; Thomas, V.A.; Dawson, B.C.; Flores, A.N. Identifying Irrigated Areas in the Snake River Plain, Idaho: Evaluating Performance across Composting Algorithms, Spectral Indices, and Sensors. *Remote Sens.* 2017, 9, 546. <https://doi.org/10.3390/rs9060546>.

9. Prasad, B., Carver, B. F., Stone, M. L., Babar, M. A., Raun, W. R., Klatt, A. R. (2007). Potential use of spectral reflectance indices as a selection tool for grain yield in winter wheat under great plains conditions. *Crop Sci.* 47, 1426–1440. doi: 10.2135/cropsci2006.07.0492.

10. Lobos, G. A., Matus, I., Rodriguez, A., Romero-Bravo, S., Araus, J. L., Pozo, A. D. (2014). Wheat genotypic variability in grain yield and carbon isotope discrimination under Mediterranean conditions assessed by spectral reflectance. *J. Integr. Plant Biol.* 56, 470–479. doi: 10.1111/jipb.12114.

11. Elazab, A., Bort, J., Zhou, B., Serret, M. D., Nieto-Taladriz, M. T., Araus, J. L. (2015). The combined use of vegetation indices and stable isotopes to predict durum wheat grain yield under contrasting water conditions. *Agric. Water Manage.* 158, 196–208. doi: 10.1016/j.agwat.2015.05.003.

12. El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Elsayed, S., Refay, Y., Alotaibi, M., Dewir, Y. H., et al. (2019b). Combining biophysical parameters, spectral indices and multivariate hyperspectral models for estimating yield and water productivity of spring wheat across different agronomic practices. *PloS One* 14 (3), e0212294. doi: 10.1371/journal.pone.0212294.

13. ГОСТ Р 52440-2005 Модели местности цифровые. Общие требования [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044676> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

14. ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018 Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164870> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

15. Новые правила эксплуатации ГТС и мелиоративных систем [Электронный ресурс]. URL: <https://tuapse.bezformata.com/listnews/ekspluatatcii-gts-i-meliorativnih-sistem/92254366/> (Дата обращения 25.04.2022 г.).

16. Карпова, Л.А. Разработка методики картографической оценки эколого-хозяйственного состояния сельскохозяйственных территорий с целью их устойчивого развития (на примере Красногорского и Советского районов Алтайского края) : специальность 25.00.33 "Картография" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Карпова Лидия Александровна. – Новосибирск, 2017. – 124 с. – EDN YPEUVZ.

17. 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.

18. Требования к информационным моделям объектов капитального строительства. Часть 4. Требования к цифровым моделям инженерных систем и оборудования здания для прохождения экспертизы при использовании технологии информационного моделирования. Редакция 4.0. Москва, 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mos.ru/upload/documents/files/1115/04_TrebovaniyakCMIOS_40.pdf (Дата обращения 25.04.2022 г.).

References

1. 1. Gradostroitel'nyj kodeks RF [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338?marker=DGC0QQ> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 15 sentyabrya 2020 g. № 1431 «Ob utverzhdenii Pravil formirovaniya i vedeniya informacionnoj modeli ob"ekta kapital'nogo stroitel'stva, sostava svedenij, dokumentov i materialov, vključaemyh v informacionnyu model' ob"ekta kapital'nogo stroitel'stva i predstavlyаемyh v forme elektronnyh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannyh elektronnyh dokumentov, a takzhe o vnesenii izmenenija v punkt 6 Polozheniya o vypolnenii inženernyh izyskanij dlya podgotovki proektnoj dokumentacii, stroitel'stva, rekonstrukcii ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva» [Elektronnyj resurs]. URL: <http://government.ru/docs/all/129915/> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 5 marta 2021 goda N 331 «Ob ustanovlenii sluchaya, pri kotorom zastrojshchikom, tekhnicheskim zakazchikom, licom, obespechivayushchim ili osushchestvlyayushchim podgotovku obosnovaniya investicii, i (ili) licom, otvetstvennym za ekspluatatsiyu ob"ekta kapital'nogo stroitel'stva, obespechivayutsya formirovanie i vedenie informacionnoj modeli ob"ekta kapital'nogo stroitel'stva» [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573842519> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

4. Ob utverzhdenii Pravil ekspluatatsii meliorativnyh sistem i otdel'no raspolozhennyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij / Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 31 iyulya 2020 goda N 438 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780455?marker=6560IO> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

5. O melioracii zemel' (s izmeneniyami na 8 dekabrya 2020 goda) / Federal'nyj zakon № 4-FZ ot 10 yanvary 1996 g. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

6. Ob utverzhdenii Administrativnogo reglamenta Ministerstva sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii po predostavleniyu gosudarstvennoj uslugi po predostavleniyu svedenij, poluchennyh v hode osushchestvleniya ucheta meliorirovannyh zemel' / Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 30 iyunya 2020 goda N 365 (s izmeneniyami na 25 maya 2021 goda) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542672610> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

7. Stepanova V.I., Ishkhanova A.A. Ispol'zovanie kart mestnosti pri distancionnom zondirovanii Zemli // Vestnik OrelGAU. 2019. №1 (76). S. 52-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.
8. Chance, E.W.; Cobourn, K.M.; Thomas, V.A.; Dawson, B.C.; Flores, A.N. Identifying Irrigated Areas in the Snake River Plain, Idaho: Evaluating Performance across Composting Algorithms, Spectral Indices, and Sensors. *Remote Sens.* 2017, 9, 546. <https://doi.org/10.3390/rs9060546>.
9. Prasad, B., Carver, B. F., Stone, M. L., Babar, M. A., Raun, W. R., Klatt, A. R. (2007). Potential use of spectral reflectance indices as a selection tool for grain yield in winter wheat under great plains conditions. *Crop Sci.* 47, 1426–1440. doi: 10.2135/cropsci2006.07.0492.
10. Lobos, G. A., Matus, I., Rodriguez, A., Romero-Bravo, S., Araus, J. L., Pozo, A. D. (2014). Wheat genotypic variability in grain yield and carbon isotope discrimination under Mediterranean conditions assessed by spectral reflectance. *J. Integr. Plant Biol.* 56, 470–479. doi: 10.1111/jipb.12114.
11. Elazab, A., Bort, J., Zhou, B., Serret, M. D., Nieto-Taladriz, M. T., Araus, J. L. (2015). The combined use of vegetation indices and stable isotopes to predict durum wheat grain yield under contrasting water conditions. *Agric. Water Manage.* 158, 196–208. doi: 10.1016/j.agwat.2015.05.003.
12. El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Elsayed, S., Refay, Y., Alotaibi, M., Dewir, Y. H., et al. (2019b). Combining biophysical parameters, spectral indices and multivariate hyperspectral models for estimating yield and water productivity of spring wheat across different agronomic practices. *PloS One* 14 (3), e0212294. doi: 10.1371/journal.pone.0212294.
13. GOST R 52440-2005 Modeli mestnosti cifrovye. Obshchie trebovaniya [Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044676> (Data obrashcheniya 25.11.2021 g.).
14. GOST R 10.0.02-2019/ISO 16739-1:2018 Sistema standartov informacionnogo modelirovaniya zdaniy i sooruzhenij. OTRASLEVYE BAZOVYE KLASSY (IFC) DLYA OBmena i upravleniya dannymi ob ob'ektah stroitel'stva. CHast' 1. Skhema dannyh

[Elektronnyj resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164870> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

15. Novye pravila ekspluatatsii GTS i meliorativnyh sistem [Elektronnyj resurs]. URL: <https://tuapse.bezformata.com/listnews/ekspluatatsii-gts-i-meliorativnih-sistem/92254366/> (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

16. Karpova, L.A. Razrabotka metodiki kartograficheskoy ocenki ekologo-hozyajstvennogo sostoyaniya sel'skohozyajstvennyh territorij s cel'yu ih ustojchivogo razvitiya (na primere Krasnogorskogo i Sovetskogo rajonov Altajskogo kraya) : special'nost' 25.00.33 "Kartografiya" : dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Karpova Lidiya Aleksandrovna. – Novosibirsk, 2017. – 124 s. – EDN YPEUVZ.

17. Zver'kov M.S., Bryl' S.V. Ocenka meliorativnogo sostoyaniya gidromeliorativnoj sistemy s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli i bespilotnogo letatel'nogo apparata // Prirodoobustrojstvo. 2021. № 2. S. 6-16.

18. Trebovaniya k informacionnym modelyam ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva. CHast' 4. Trebovaniya k cifrovym modelyam inzhenernyh sistem i oborudovaniya zdaniya dlya prohozhdeniya ekspertizy pri ispol'zovanii tekhnologii informacionnogo modelirovaniya. Redakciya 4.0. Moskva, 2019. [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.mos.ru/upload/documents/files/1115/04_TrebovaniyakCMIOS_40.pdf (Data obrashcheniya 25.04.2022 g.).

© Зверьков М.С., Брыль С.В., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 3, 1320-1334.

Для цитирования: Зверьков М.С., Брыль С.В. НОРМАТИВНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА // *International agricultural journal*. 2022. № 3, 1320-1334.