

Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

УДК 631.6:528.87

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-6-12>



СОЗДАНИЕ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» И РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ ЭТАПЕ ЕЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник;

ORCID: 0000-0002-8348-4391; Scopus 57221661750; РИНЦ AuthorID: 751258; mzverkov@bk.ru

Смелова Светлана Станиславовна, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник;

ORCID: 0009-0009-1717-0026; Scopus 6504283625; РИНЦ AuthorID: 651060; smelova_svetlana@mail.ru

Булгакова Татьяна Геннадьевна, младший научный сотрудник;

bulgakowa.t@yandex.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»; 140483, Московская область, Коломенский городской округ, пос. Радужный, 33а, Россия

Аннотация. Цель исследований заключалась в том, чтобы выполнить информационное моделирование (создание «цифрового двойника») участка гидромелиоративной системы, расположенной в пойме реки Оки на территории Коломенского городского округа Московской области, в среде геоинформационной системы Google Earth и QGIS и дать оценку ее технического и экологического состояния. Установленные группы технического и экологического состояния позволяют сформулировать гипотезу о векторе изменения стадии жизненного цикла гидромелиоративной системы в худшую сторону. Отмечается, что точность подобной оценки по ГОСТ Р 70611-2022 зависит прежде всего от того, насколько исходная информация раскрывает показатели технического и экологического состояния, а также от наличия ретроспективной информации об объекте. В результате информационного моделирования мелиоративного объекта установлена группа его технического и экологического состояния. В тоже время оценка дистанционными методами не может быть окончательной, а сформулированная гипотеза о векторе изменения стадии жизненного цикла гидромелиоративной системы служит маркером для принятия необходимых решений в отношении необходимости ее детального натурного обследования.

Ключевые слова: мелиорация, мониторинг, цифровой двойник, геоинформационная система, Google Earth, QGIS, дистанционное зондирование, Landsat, Copernicus, экологическое состояние, техническое состояние

Формат цитирования: Зверьков М.С., Смелова С.С., Булгакова Т.Г. Создание «цифрового двойника» и ретроспективный анализ динамики состояния гидромелиоративной системы на эксплуатационном этапе ее жизненного цикла с использованием геоинформационных систем // Природообустройство. 2023. № 5. С. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-6-12>

© Зверьков М.С., Смелова С.С., Булгакова Т.Г., 2023

CREATION OF A “DIGITAL TWIN” AND RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF STATE OF THE HYDRAULIC RECLAMATION SYSTEM AT THE OPERATIONAL STAGE OF ITS LIFE CYCLE USING GEOINFORMATION SYSTEMS

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, leading researcher;

ORCID: 0000-0002-8348-4391; Scopus 57221661750; РИНЦ AuthorID: 751258; mzverkov@bk.ru

Smelova Svetlana Stanislavovna, candidate of biological sciences, associate professor, Senior Researcher;

ORCID0009-0009-1717-0026; Scopus 6504283625; PИИЦ AuthorID651060; smelova_svetlana@mail.ru

Tatyana Gennadijevna Bulgakova, junior researcher;

bulgak0wa.t@yandex.ru

All-Russian research institute of systems of irrigation and agricultural water supply "Raduga"; 140483, Moscow Region, Kolomna city district, Raduzhny village, 33a, Russia

Abstract. *The purpose of this work was to perform information modeling (creation of a "digital twin") of a section of the water reclamation system located in the floodplain of the Oka River on the territory of the Kolomna City District of the Moscow Region, in the environment of the Google Earth and QGIS geo-information system, and assess its technical and environmental condition. Established groups of technical and environmental conditions allow to formulate a hypothesis about the vector of changes in the life cycle stage of the water reclamation system for the worse. It is noted that the accuracy of such an assessment according to GOST R70611-2022 depends primarily on how much the initial information reveals the indicators of technical and environmental condition, as well as the presence of retrospective information about the object. As a result of information modeling of the reclamation facility, a group of its technical and environmental conditions was established. At the same time, the assessment by remote methods cannot be final, and the formulated hypothesis about the vector of change in the life cycle stage of the water reclamation system serves as a marker for making the necessary decisions regarding the need for its detailed field examination.*

Key words: *reclamation, monitoring, digital twin, geo-information system, Google Earth, QGIS, remote sensing, Landsat, Copernicus, environmental condition, technical condition*

Format of citation: *Zverkov M.S., Smelova S.S., Bulgakova T.G. Creation of a "digital twin" and retrospective analysis of the dynamics of the state of the hydraulic reclamation system at the operational stage of its life cycle using geoinformation systems // Prirodoobustrojstvo. 2023. №.5. P. 6-12. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-6-12>*

Введение. Действующие нормативные правовые акты Российской Федерации в области мелиорации земель регламентируют порядок и необходимость проведения регулярного мониторинга технического и экологического состояния гидромелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [1-3]. Цель такого мониторинга – выявление степени эксплуатационной пригодности мелиоративного объекта и разработки программы мероприятий по дальнейшему развитию того или иного этапа его жизненного цикла. Одним из инструментов подобной оценки является информационное моделирование, в результате которого физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) представляются в виде совокупности информационно насыщенных элементов с помощью геоинформационной системы. Каждое обследование объекта дополняет атрибутивную информацию и расширяет ретроспективу его жизненного цикла.

Цель исследований: выполнение информационного моделирования (создания «цифрового двойника») участка гидромелиоративной системы, расположенной в пойме реки Оки на территории Коломенского городского округа Московской области, в среде

геоинформационной системы Google Earth и QGIS, а также оценка ее технического и экологического состояния.

Научная новизна работы заключается в том, что показатели состояния системы анализируются не по данным натурных обследований, а по результатам выявления маркеров (дешифровочных признаков) на основе ретроспективного ряда данных.

Практическая значимость работы заключается в том, что приводятся результаты анализа дешифровочных признаков по унифицированной методике ГОСТ Р 70611-2022, пока еще недостаточно применяющейся на практике, а также рассматривается опыт ретроспективного анализа динамики состояния гидромелиоративной системы с использованием геоинформационных систем Google Earth и QGIS.

Материалы и методы исследований. Структура и содержание информационной модели («цифрового двойника») соответствует ГОСТ Р 70611-2022. В качестве среды для ее создания использовались программы Google Earth Pro (ver. 7.3.4.8248) и QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходная система координат WGS84 (Pseudo-Mercator, EPSG:3857) выбрана вследствие наилучшего совпадения спутниковых снимков семейства «Landsat/Copernicus» с исходными

подложками используемых геоинформационных программных комплексов.

Разрабатываемая информационная модель относится к эксплуатационному этапу жизненного цикла. Уровень проработки модели – D, которая включает в себя линейные, площадные и трехмерные объекты с определенными в пространстве границами (типы землепользования, каналы, трубопроводы, трехмерные модели дождевальных машин и др.), точечные и площадные объекты в узлах сопряжения элементов (например, гидранты на трубопроводах и трубчатые переезды, и др.). Атрибутивные характеристики содержат описание свойств объектов (например: для пашни – характер ее использования, использование техники полива, выращиваемая культура и др.; для насосной станции – ее характеристики; и т.д.). В общем виде разработанный «цифровой двойник» включает в себя взаимосвязанные графические (векторные и растровые) и атрибутивные данные мониторинга проектных и эксплуатационных показателей гидромелиоративной системы, позволяющие выполнить ретроспективный анализ динамики ее состояния и на основе этих маркеров сформулировать гипотезу о векторе изменения стадии ее жизненного цикла.

Рассматриваемый участок является частью крупной гидромелиоративной системы, в состав которой входят: насосная станция со всасывающей и напорной подземной линиями, гидранты-водовыпуски в открытые каналы, центральная внутрихозяйственная дорога и полевые дороги для проезда техники и дождевальной машины ДДА-100МА. Итоговая оценка группы технического и экологического состояния TE определялась по формуле:

$$\begin{cases} TE = Me(te_i); \\ P\{TE < Me(te_i)\} = P\{TE > Me(te_i)\} = 0,5, \end{cases}$$

где $Me(te_i)$ – медиана совокупности стохастических показателей te_i технического и экологического состояния ГМС; P – вероятность, с которой одинаково, окажется случайная величина TE больше или меньше медианы $Me(te_i)$.

Для зоны расположения объекта наблюдения процессы, связанные с засолением почв, являются нехарактерными. В этой связи индекс NDSI не вычислялся. Эрозионные процессы с ярко выраженными дешифровочными признаками отсутствуют. Ввиду этого принято допущение того, что на динамику экологического состояния системы эти показатели не влияют. Поэтому характеристика экологического состояния принята по показателю спектрального индекса LSWI (Land Surface Water Index – Индекс влажности поверхности почвы) для оценки готовности

системы к эксплуатации в вегетационный период. Значение этого показателя устанавливалось путем дешифрирования зон вымочек на спутниковых снимках, их сопоставления с зонами на спектральных снимках, и затем – вычислением площадей этих зон, %, от общей площади пашни.

Анализ динамики состояния гидромелиоративной системы выполнен путем дешифрирования ряда спутниковых снимков типа «truecolor» (в естественных цветах). Спектральные индексы вычислены с ретроспективой 2011-2023 гг. Показатели системы ряда лет (2015, 2020, 2022 гг.), для которых отсутствовали снимки типа «truecolor», оценивались по спектральным индексам NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Нормализованный разностный вегетационный индекс для анализа используемой в сельском хозяйстве площади пашни) и LSWI.

Для вычисления значений коэффициента земельного использования оценивались площадь «брутто», которая включала в себя площади, занятые непосредственно пашней (площадь «нетто», полив которой предусмотрен проектом), площади не используемой пашни каналами, дорогами, водными объектами и сооружениями (территории под насосной станцией, трансформаторной подстанцией, зданиями и др.).

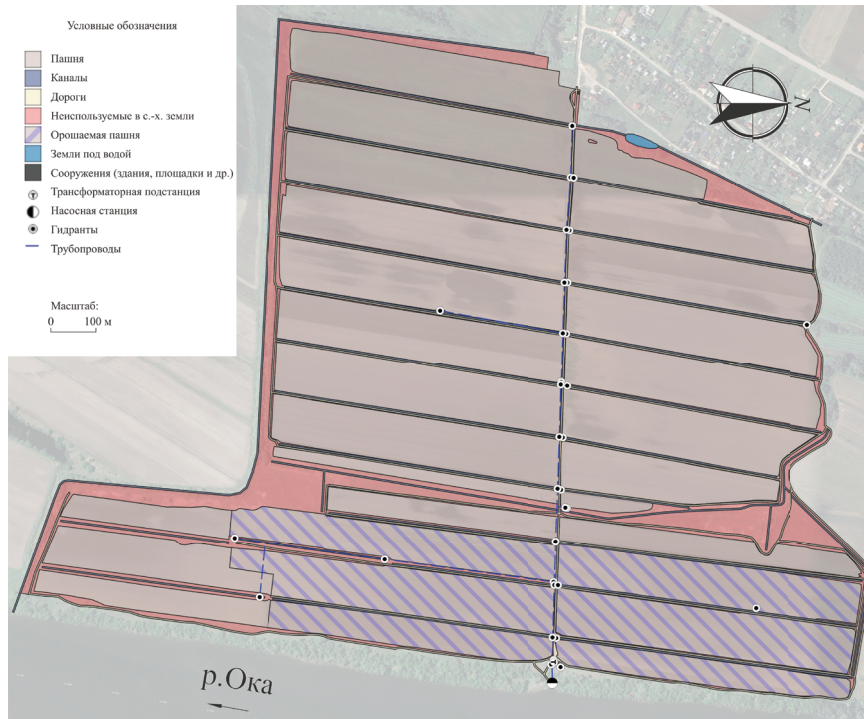
Степень обеспеченности гидромелиоративной системы инженерной техникой полива оценивалась соотношением площади пашни, которая непосредственно поливалась с помощью дождевальных машин в годы наблюдений, и общей площади пашни «нетто», полив которой предусмотрен проектом.

Остальные показатели и их оценка определены в соответствии с приложением А к ГОСТ Р 70611-2022.

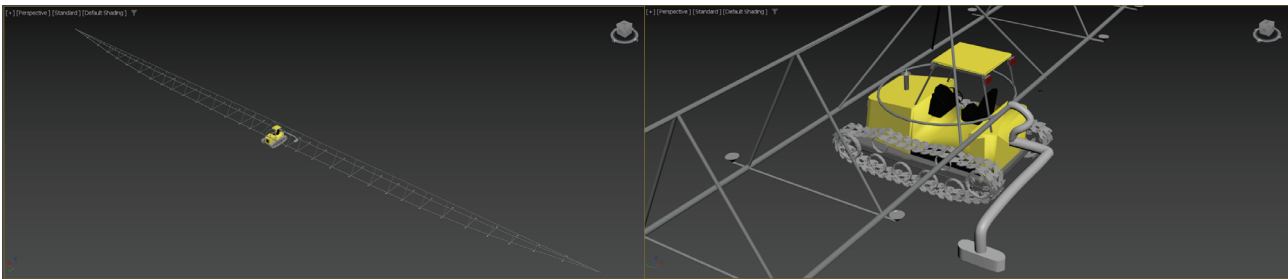
Результаты и их обсуждение. В результате информационного моделирования с помощью инструментов геоинформационных систем Google Earth Pro (ver. 7.3.4.8248) и QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze») получен «цифровой двойник» участка гидромелиоративной системы (рис. 1А и 1Б). Согласно ГОСТ Р 70611-2022 в «цифровой двойник» включаются 3D-модели элементов гидромелиоративной системы и используемые машины. В данной работе в «цифровой двойник» включена трехмерная модель дождевальной машины ДДА-100МА (рис. 1В), но с учетом представленного наполнения также могли бы быть включены трехмерные модели гидрантов, насосной станции, каналов и др. Выявленные показатели технического и экологического состояния гидромелиоративной системы приведены в таблице, график их изменений – на рисунке 2.



А



Б



В

Рис. 1. Геоинформационная система орошаемого участка в программах Google Earth Pro (А) и QGIS (Б, 2023 г.), уровни детализации трехмерной модели дождевальной машины (В):

1 – дорога; 2 – трубопровод; 3 – насосная станция; 4 – гидрант;
5 – 3D-модель дождевальной машины ДДА-100МА; 6 – участок (орошаемое поле); 7 – водоисточник (р. Ока)

Fig. 1. Geographic information system of the irrigated area in Google Earth Pro (A) and QGIS (B, 2023), levels of detail of the three-dimensional model of the sprinkler (B):

1 – road; 2 – pipeline; 3 – pumping station; 4 – hydrant; 5 – 3D model of the DDA-100MA sprinkler; 6 – plot (irrigated field); 7 – water source (Oka River)

Таблица. Показатели технического и мелиоративного состояния ГМС (орошение)
Table. Indicators of technical and reclamation condition of HMS (irrigation)

Год Year	Водозабор источника Source water intake		КЗИ The coefficient of landuse		Земли с критической глубиной залегания УГВ, % Lands with critical depth of ground water, %		Сооружения на сети Facilities on the irrigation network		Инженерная техника полива, % Irrigation engineering equipment, %		Оценка технического состояния Technical condition assessment		Группа технического и экологического состояния Group of technical and environmental condition	
	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	te_i	Оценка Assessment	TE_i
2011	бп	II	0,81	III	15	III	да	III	89	II	тр	III	3,0	III
2012	бп	II	0,81	III	40	I	да	III	89	II	тр	III	2,5	III
2013	бп	II	0,81	III	35	I	да	III	80	III	тр	III	3,0	III
2014	бп	II	0,81	III	15	III	да	III	80	III	тр	III	3,0	III
2015	бп	II	0,81	III	20	II	да	III	80	III	тр	III	3,0	III
2016	бп	II	0,81	III	15	III	да	III	63	II	пр	II	2,5	III
2017	бп	II	0,81	III	20	II	да	III	63	II	пр	II	2,0	II
2018	бп	II	0,81	III	35	I	да	III	63	II	пр	II	2,0	II
2019	бп	II	0,81	III	25	II	да	III	54	II	пр	II	2,0	II
2021	бп	II	0,81	III	30	II	да	III	23	I	пр	II	2,0	II
2022	бп	II	0,81	III	25	II	да	III	23	I	пр	II	2,0	II
2023	бп	II	0,81	III	35	I	да	III	23	I	пр	II	2,0	II

Примечание: бп – бесплотинный водозабор; тр – требует ремонта; пр – подлежит реконструкции

Note: бп – damless water intake; тр – requires repair; PR – to be reconstructed

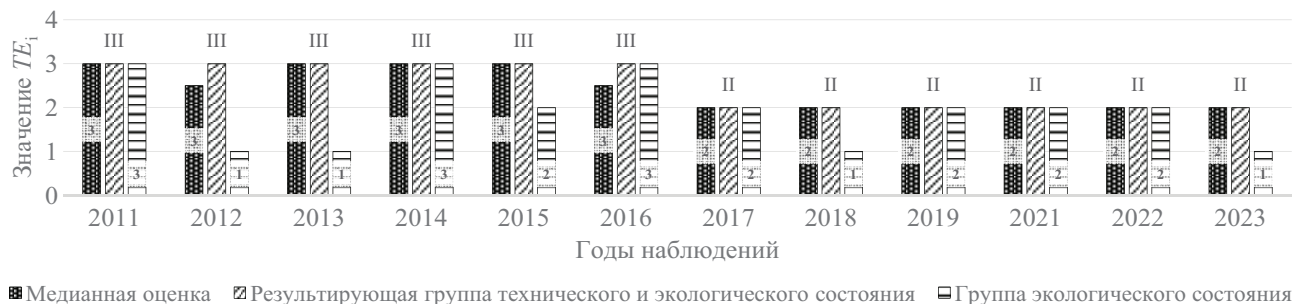


Рис. 2. Ретроспективный анализ динамики состояния гидромелиоративной системы
Fig. 2. Retrospective analysis of the dynamics of the state of the irrigation and drainage system

Из представленных данных следует, что наиболее вариативными являются оценки изменения площади земель с критической глубиной залегания УГВ на начальном этапе вегетационного периода и степень обеспеченности системы инженерной техникой полива. Коллевание уровня грунтовых вод, очевидно, имеет стохастическую природу и зависит от ряда факторов, которые не учитываются дистанционной оценкой. В разные годы площадь земель Земли с критической глубиной залегания УГВ находится в диапазоне 15...40%. Имеются признаки неудовлетворительного экологического состояния.

Существенное снижение обеспеченности системы инженерной техникой полива

с 89% в 2011 г. до 23% в 2023 г. вкуче с используемой дождевальнoй машиной, срок эксплуатации которой является запределным, свидетельствует о высоком риске выбывания земель из категории орошаемых.

По результирующей оценке значений показателей технического и экологического состояния TE_i для данного участка гидромелиоративной системы выявлены маркеры (дешифровочные признаки), свидетельствующие о снижении группы технического и экологического состояния за период с 2011 по 2023 гг. Установленные II и III группы позволяют сформулировать гипотезу о векторе изменения стадии жизненного цикла гидромелиоративной системы. В соответствии с ГОСТ Р 70611-2022 система

характеризуется пониженной эффективностью. Выявленная динамика снижения обеспеченности дождевальной техникой свидетельствует о высоком риске нормальной эксплуатации системы в дальнейшем.

В последнее время появляется большое количество работ, посвященных оценке различных показателей состояния мелиоративных систем и гидротехнических сооружений с помощью дистанционных методов мониторинга. Так, известны работы по описанию ретроспективы берегоукрепительных работ (Manjusree et al., 2013) [4], при районировании почв по степени проявления эрозионных процессов [5], эксплуатации гидромелиоративных систем [6] и гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса [7], анализе изменений и тенденций текущих процессов в речных бассейнах (Kaliraj et al., 2020) [8], мониторинге водопроводящих сооружений мелиоративных систем [9], при анализе трендов потоков суммарного испарения [10] и др.

Наблюдения за состоянием гидромелиоративных объектов осуществляются различными способами. Традиционный подход предполагает наличие службы эксплуатации, которая для сбора данных использует инструментальные методы натурных обследований мелиоративных объектов, анализирует и принимает решения для коррекции их состояния. На практике такую функцию выполняют управления мелиорацией и водным хозяйством субъектов Российской Федерации (подведомственные

Минсельхозу России учреждения). Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) [11], сотрудники научных организаций [6, 12], практики, руководители и специалисты Минсельхоза России активно используют термин «цифровое сельское хозяйство» [13], а применительно к мелиоративной отрасли – термин «цифровая мелиорация» [14]. Одними из компонентов цифровизации являются сбор и анализ больших данных, в том числе с использованием современных технологий: например, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [6, 13].

Выводы

В результате информационного моделирования мелиоративного объекта установлена группа его технического и экологического состояния. Необходимо отметить, что точность подобной оценки по ГОСТ Р 70611-2022 зависит прежде всего от того, насколько исходная информация полностью раскрывает показатели технического и экологического состояния, а также от наличия ретроспективной информации об объекте. В тоже время оценка дистанционными методами не может быть окончательной, а сформулированная гипотеза о векторе изменения стадии жизненного цикла гидромелиоративной системы служит маркером для принятия решений в отношении необходимости ее детального натурного обследования.

Список использованных источников

1. О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302> (дата обращения: 18.09.2023).
2. Системы и сооружения мелиоративные. Правила обследования и мониторинга технического состояния: ГОСТ Р 70611-2022. М.: Росстандарт. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300337598> (дата обращения: 18.09.2023).
3. Мелиорация земель. Методика оценки дистанционными методами технического и экологического состояния: ГОСТ Р 70611-2022. М.: Росстандарт. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200195123> (дата обращения: 18.09.2023).
4. Manjusree P, Satyanarayana P, CM Bhatt, Sharma SVSP, Srinivasa Rao G, 2013. Remote Sensing and GIS for river morphology studies / Researchgate, pp. 1-5. / URL: https://www.researchgate.net/publication/260317105_REMOTE_SENSING_AND_GIS_FOR_RIVER_MORPHOLOGY_STUDIES.
5. Гурбанов Э.А., Вердиев С.Б., Газиева П.Ч. Интенсивность овражной эрозии в аридных условиях на третичном плато Азербайджанской Республики // Экология и строительство. 2017. № 4. С. 8-15.

References

1. On Land reclamation / Federal Law No. 4-FZ of January 10, 1996 [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9015302> (Date of application 09/18/2023).
2. Reclamation systems and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition / GOST R70611-2022. Moscow: Rosstandart [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300337598> (Date of application 09/18/2023).
3. Land reclamation. Methodology of assessment by remote methods of technical and environmental condition / GOST R70611-2022. Moscow: Rosstandart [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200195123> (Accessed 09/18/2023).
4. Manjushree P, Satyanarayana P, CM Bhatt, Sharma VPSP, Srinivasa Rao G, 2013. Remote Sensing and GIS for river morphology studies / Researchgate, pp. 1-5. / URL: https://www.researchgate.net/publication/260317105_REMOTE_SENSING_AND_GIS_FOR_RIVER_MORPHOLOGY_STUDIES.
5. Gurbanov E.A., Verdiev S.B., Gazieva P.C. Intensity of gully erosion in arid conditions on the tertiary plateau of the Republic of Azerbaijan // Ecology and construction. 2017. No. 4. P. 8-15.

6. **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.

7. **Савушкин С.С., Гжибовский С.А.** К вопросу эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Экология и строительство. 2021. № 2. С. 22-28. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-02-002.61

8. **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

9. **Kaliraj S., Chandrasekar N., Ramachandran K.K., Srinivas Y., Saravanan S.** Coastal land use and land cover change and transformations of Kanyakumari coast, India using remote sensing and GIS // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 2017. № 20 (2). Pp. 169-185.

10. **Головинов Е.Э., Киселев С.А., Семенова К.С.** Мониторинг водопроводящих сооружений мелиоративных систем методом дистанционного зондирования // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: сборник научных трудов. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2018. С. 94-102.

11. Jin Leshan, Li He, Li Ying, Du Dan. E-Agriculture in action / Bangkok, FAO and ITU, 2017. 118 p.

12. **Guravaiah K. and Raju S.S.** e-Agriculture: Irrigation System based on Weather Forecasting. IEEE15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS). 2020. Pp. 617-622. DOI: 10.1109/ICIIS51140.2020.9342739.

13. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: Официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с.

14. **Захарова О.А., Кучер Д.Е., Машкова Е.И., Евсенкин К.Н., Мусаев Ф.А.** Мелиорация земель и возможность ее цифровизации // Природообустройство. 2021. № 4. С. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-31-37.

6. **Kasyanov A.E.** Marker plots of digital reclamation of agricultural lands // Ecology and construction. 2020. No. 3. P. 21-24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.

7. **Savushkin S.S., Gribovsky S.A.** On the issue of operation of hydraulic structures of the reclamation complex // Ecology and construction. 2021. No. 2. pp. 22-28. Dpi: 10.35688/2413-8452-2021-02-002. 61.

8. **Kasyanov A.E.** Marker plots of digital reclamation of agricultural land // Ecology and construction. 2020. No. 3. P. 21-24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.

9. Coastal land use and vegetation change of the Kanyakumari coast, India, using remote sensing and GIS / S. Kaliraj, N. Chandrasekhar, K.K. Ramachandran, Y. Srinivas, S. Saravanan // Egypt. Space Science., 20 (2) (2017), pp. 169-185.

10. Monitoring of water supply structures of reclamation systems by remote sensing / E.E. Golovinov, S.A. Kiselev, K.S. Semenova // The main results of scientific research of the Institute for 2017: Collection of scientific tr. M.: VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2018. pp. 94-102.

11. **Jinlian, Li He, Li Yang, Du Dong.** E-agriculture in action / Bangkok, FOO and IT, 2017. 118 p.

12. **K. Guravaiah and S.S. Raju,** "e-Agriculture: Irrigation System based on Weather Forecasting," 2020 IEEE15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2020. P. 617-622, doi: 10.1109/ICIIS51140.2020.9342739.

13. Departmental project "Digital agriculture": official publication. Moscow: FSBI Rosinformagrotech, 2019. 48 p

14. **Zakharova O.A., Kucher D.E., Mashkova E.I., Evsenkin K.N., Musaev F.A.** Land reclamation and the possibility of its digitalization // Prirodoobustroystvo, 2021. No. 4. P. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-31-37.

Критерии авторства / Authorship criteria

Зверьков М.С., Смелова С.С., Булгакова Т.Г. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Зверьков М.С., Смелова С.С., Булгакова Т.Г. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interest

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 17.05.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 18.08.2023

Принята к публикации / Accepted for publication 28.08.2023

Zverkov M.S., Smelova S.S., Bulgakova T.G. carried out theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript.

Zverkov M.S., Smelova S.S., Bulgakova T.G. have a copyright to the article and are responsible for plagiarism.