
AUXILIARY DISCIPLINES

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.2.22.09>

Zverkov M.S.^{1*}, Bryl S.V.², Smelova S.S.³

¹ ORCID: 0000-0002-8348-4391;

² ORCID: 0000-0002-0647-0519;

^{1,2,3} All-Russia Scientific and Research Institute for Irrigation and Farming Water Supply Systems «Raduga», Kolomna, Russia

* Corresponding author (rad_sc[at]bk.ru)

Received: 05.06.2022; Accepted: 10.06.2022; Published: 20.06.2022

CLASSIFICATION OF TYPICAL VISUAL ARTIFACTS OF ORTHOPHOTOMAPS OF RECLAMATION SYSTEMS AND FACILITIES ENCOUNTERED DURING THE DECRYPTION AND IMAGE-PROCESSING OF OBTAINED BY USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Research article

Abstract

According to the current regulatory legal acts of the Russian Federation, operating organizations need to regularly monitor and analyze the technical and environmental condition of reclaimed lands. Monitoring can be carried out with the help of unmanned aerial vehicles. Remote methods are used to assess the technical and environmental conditions of reclamation facilities, for example, when describing the condition, forest belts, agricultural crops, soil and surface water pollution, for plotting of digital terrain model, including reclamation facilities located on it, and in other cases. Some typical visual artifacts that cause difficulties in decryption and image-processing obtained with the help of unmanned aerial vehicles are considered in the article. Examples of orthophotomaps of reclamation systems and facilities are given. It is noted that artifacts are associated with the conditions of shooting and flight (weather conditions, features of shooting equipment, etc.), methods and technical conditions of image-processing and creating of orthophotomaps, excessive or insufficient number for creating of orthophotomaps («mosaic» images or areas without an image, etc.) most often.

Keywords: land reclamation, orthophotomap, visual artifact, digital information model, digital terrain model, reclamation system and facility, earth remote sensing, unmanned aerial vehicle, decryption.

Зверьков М.С.^{1*}, Брыль С.В.², Смелова С.С.³

¹ ORCID: 0000-0002-8348-4391;

² ORCID: 0000-0002-0647-0519;

^{1,2,3} Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Коломна, Россия

* Корреспондирующий автор (rad_sc[at]bk.ru)

Получена: 05.06.2022; Доработана: 10.06.2022; Опубликована: 20.06.2022

КЛАССИКАЦИЯ ТИПИЧНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ АРТЕФАКТОВ ОРТОФОТОПЛАНОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ И ОБРАБОТКЕ СНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Научная статья

Аннотация

Согласно действующим нормативно-правовым актам Российской Федерации эксплуатирующим организациям необходимо регулярно осуществлять мониторинг и анализ технического и экологического состояния мелиорируемых земель. Мониторинг может быть осуществлен с помощью беспилотных летательных аппаратов. Дистанционными методами оценивают техническое и экологическое состояния мелиоративных объектов, например, при описании состояния почв, лесополос, сельскохозяйственных культур, загрязнения почв и поверхностных вод, при построении цифровой модели местности, включая расположенные на ней мелиоративные сооружения и в других случаях. В статье

рассматриваются некоторые типичные визуальные артефакты, вызывающие затруднения при дешифрировании и обработке снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Приведены примеры ортофотопланов мелиоративных объектов. Отмечается, что чаще всего артефакты связаны с условиями проведения съемки и полетом (погодные условия, особенности съемочной аппаратуры и др.), методами и техническими условиями обработки изображений и создания ортофотоплана, избыточным или недостаточным количеством снимков для создания ортофотопланов («мозаичность» изображения или пустоты и др.).

Ключевые слова: мелиорация, ортофотоплан, визуальные артефакты, цифровая информационная модель, цифровая модель местности, мелиоративный объект, дистанционное зондирование Земли, беспилотный летательный аппарат, дешифрирование.

1. Введение

Эксплуатирующие федеральные государственные бюджетные учреждения мелиоративной отрасли Российской Федерации постоянно сталкиваются с необходимостью принятия правильных ключевых решений. Чаще всего эти решения обуславливаются неточными данными и в отсутствии анализа причинно-следственных связей возникновения той или иной ситуации на мелиоративных объектах. В результате постоянно возрастают риски снижения технического и экологического состояния этих объектов, и снижается эффективность мелиоративных мероприятий. Поэтому для повышения качества и эффективности мелиорации требуются инструменты цифровой оценки и мониторинга состояния мелиоративных объектов. Согласно действующим нормативно-правовым актам Российской Федерации необходимо постоянно осуществлять мониторинг и анализ технического и экологического состояния мелиорируемых земель. Такой мониторинг может быть осуществлен средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе съемкой с космических спутников Земли или беспилотных летательных аппаратов.

В научной литературе отмечается, что построение прецизионных гидромелиоративных систем невозможно без использования методов ДЗЗ. Степанова В.И. и Ишханова А.А. [1] и Степанов И.Н. [2] отмечают, что мониторинг занятых обширными сельскохозяйственными угодьями площадей сложно организовывать из-за недостатка точных карт, неразвитой сети пунктов оперативного мониторинга, наземных станций, в том числе и метеорологических, отсутствия авиационной поддержки и т. д. В результате развития природных процессов происходит постоянное изменение границ и характеристик мелиорируемых площадей. Эти факторы создают условия для возникновения «пробелов» актуальных оперативных данных об информационной структуре ГМС. Юрченко И.Ф. [3] отмечает, что совершенствование мелиоративного объекта с информационной структурой направлено на снижение и предотвращение рисков для участников экономических взаимоотношений. При этом возможна оценка показателей почвенного плодородия на мелиорированных землях и степень воздействия мелиоративного комплекса на окружающую среду с использованием информационных технологий.

Исследователи для описания состояний природных систем (почв, зеленых насаждений и др.), их морфологических признаков сравнительно часто выбирают анализ изображений. Например, известна технология вейвлет-анализа изображения почвенных профилей по спектральной яркости генетических горизонтов [4]. Вероятно, анализ изображений местности может быть полезным для фрагментации ландшафта при изучении индекса формы ландшафта [5], при изучении пространственного распределения концентраций фитопланктона и поллютантов в водных объектах [6], при районировании территорий по эколого-мелиоративным аспектам их использования [7], [8], [9], для целей районирования почв по степени проявления эрозионных процессов [10] и во многих других случаях.

Загрязнение поверхностных источников орошения и водоприемников сбросных, коллекторно-дренажных вод также можно оценить с помощью методов ДЗЗ. Например, известна спектральная классификация вод исследуемых объектов путем сравнения со спектральной характеристикой эталона [11].

Также известны работы, посвященные оценке состояния мелиоративных объектов. В исследовании [12] приводятся данные обследования участка оросительной системы средствами дистанционного зондирования Земли и беспилотного летательного аппарата в соответствии с показателями мелиоративного состояния государственного учета земель. В исследовании [13] отмечается важность использования данных ДЗЗ в развитии такого направления как цифровая мелиорация земель.

В работе [14] методы дешифрирования изображений Sentinel-2 (семейство спутников ДЗЗ Европейского космического агентства) с высоким пространственным разрешением использовались для описания рисовых ирригационных сооружений, которые включают магистральные каналы, участковые оросительные каналы, дороги и т.д. Опыт использования спутникового мониторинга также описывается в работе [15].

Анализ причинно-следственных связей рисков и прогноз развития технического и экологического состояния мелиоративных объектов возможен с помощью цифровых информационных моделей (ВИМ, ТИМ и др. технологии). Исходными данными для них являются паспорта объектов и данные дистанционного зондирования Земли, полученные путем обработки снимков спутников и беспилотных летательных аппаратов. Такие снимки могут быть использованы для создания цифровой модели местности мелиоративного объекта (ортофотопланов). Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящее время у гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений отсутствуют цифровые информационные модели, разработка которых в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Российской Федерации является обязательной [16], [17]. Цифровые модели местности являются частью цифровой информационной модели объекта. При создании ортофотопланов часто возникают трудности, связанные с различными объективными (аппаратура, условия съемки и др.) и субъективными причинами (опыт специалиста и др.).

Цель настоящей работы заключалась в анализе ортофотопланов и выявлении некоторых типичных визуальных артефактов, встречающихся в практике обследования мелиоративных объектов при дешифрировании ортофотопланов и обработке снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов.

2. Методы исследования

В работе приведены результаты построения ортофотопланов мелиоративных объектов, полученные в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52440–2005 [18]. Метод и средства создания цифровой модели местности (ортофотоплана) – цифровая фотограмметрическая обработка материалов аэросъемки. Формирование цифрового описания объекта – простое. Тип объекта – растровый.

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...350 м. В результате получены серии последовательных изображений мелиоративных объектов, которые объединялись в ортофотопланы.

3. Результаты исследования

На рисунках 1–4 приведены ортофотопланы участка одной оросительной мелиоративной системы. Съемка проводилась в разные даты и при различных погодных условиях. На рисунке 1 видны темные (например, 1) и засвеченные (например, 2) области итоговой мозаики, обусловленные съемкой в облачную погоду. В целом данный артефакт несущественно осложняет условия дешифрирования снимка. Часто описание состояния мелиоративного объекта выполнить возможно. Однако, если необходимо осуществить спектральный анализ, то съемка в облачную погоду может ухудшить качество итоговых материалов обследования. Темные (влажные) области 3 свидетельствуют о прошедшем накануне съемки поливе. Обычно это важный артефакт для мониторинга эффективности мелиоративных мероприятий, так как на снимках в другие даты он отсутствует. Также обращает внимание сильное геометрическое искажение элементов мелиоративной системы 4 (канал, эксплуатационная дорога). В большинстве случаев требуется повторная съемка. Очень часто на снимках наблюдается нестыковка фрагментов изображения при «склейке» итоговой мозаики. например, на линейных объектах: эксплуатационные дороги 5 и каналы. В некоторых случаях такое несоответствие может привести к неправильной трактовке цифровой модели местности мелиоративной системы. Например, такие «рельефные» артефакты 6 ошибочно могут быть дешифрированы как неровности поверхности почвы или приняты за эрозионные процессы.

Из-за особенностей оптики и условий съемки, а именно: затруднение контроля ортогональности съемочной аппаратуры при резких движениях беспилотного летательного аппарата от одной позиции траектории полета к другой; порывов ветра; чрезмерно большого количества снимков из-за обширных областей «перекрытия» 7 (зависит от съемочной аппаратуры конкретного беспилотного летательного аппарата и определяется опытным путем); системных и аппаратных параметрах обработки снимков и создания ортофотоплана может наблюдаться выраженная «мозаичность» изображения (рисунок 2). Обычно это приводит к визуальным артефактам – искажениям в цветопередаче или не совпадением на границах изображений. В случае отсутствия снимка в какой-либо области ортофотоплана итоговая мозаика получается «прерывистой», как, например, 8 на рисунке 2, что существенно затрудняет анализ материалов мониторинга. В большинстве случаев принимается решение о повторной съемке.

Если обследование мелиоративного объекта осуществляется на рассвете или на закате, на снимках могут наблюдаться тени, отбрасываемые от наземных объектов, например деревьев 9, каналов 10 или мелиоративной техники 11. В некоторых случаях, ошибка в выборе режима обработки исходных изображений может привести к искажению цветопередачи, как это показано на рисунке 3. Это обстоятельство затрудняет морфологический анализ фенологической фазы развития сельскохозяйственной культуры при сопоставлении ретроспективных ортофотопланов. Обычно выбор верного режима цветопередачи позволяет исправить ситуацию (рисунок 4). Несмотря на то, что на ортофотоплане (рисунок 4) наблюдаются визуальные артефакты с тенями от облаков и наземных объектов, а также видны границы изображений на итоговой мозаике, отсутствие геометрических артефактов в искажении размеров объектов позволяет отнести такой ортофотоплан к удовлетворительным и использовать его для дешифрирования результатов обследования. В большинстве случаев такое изображение может быть использовано для наполнения информационной модели эксплуатируемого мелиоративного объекта.

Следующая группа артефактов относится к гидротехническим сооружениям мелиоративного назначения. Блики от солнца на поверхности воды 12 (рисунок 5) могут быть ошибочно приняты за плавающие водные растения 13 в случае съемки объекта в ветреную погоду. Съемка в пасмурную погоду приводит к появлению отражения облаков 14 на зеркале воды (рисунок 6), что может повлиять на морфологическую оценку степени эвтрофикации водоема, особенно при ретроспективном анализе. Нередки случаи нестыковки на границах изображений 15 (рисунок 7).

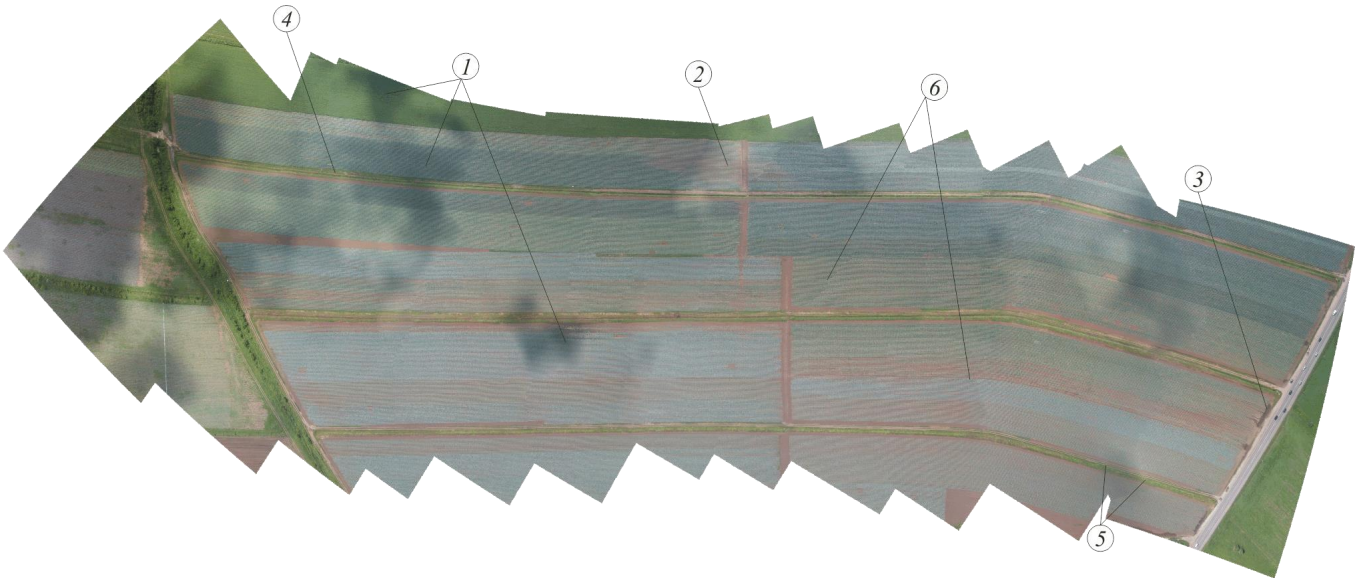


Рис. 1 – Ортофотоплан участка оросительной мелиоративной системы в облачную погоду:
1 – тёмные области; 2 – засвеченные области; 3 – влажные области; 4 – элементы мелиоративной системы;
5 – эксплуатационные дороги; 6 – рельефные «артефакты»

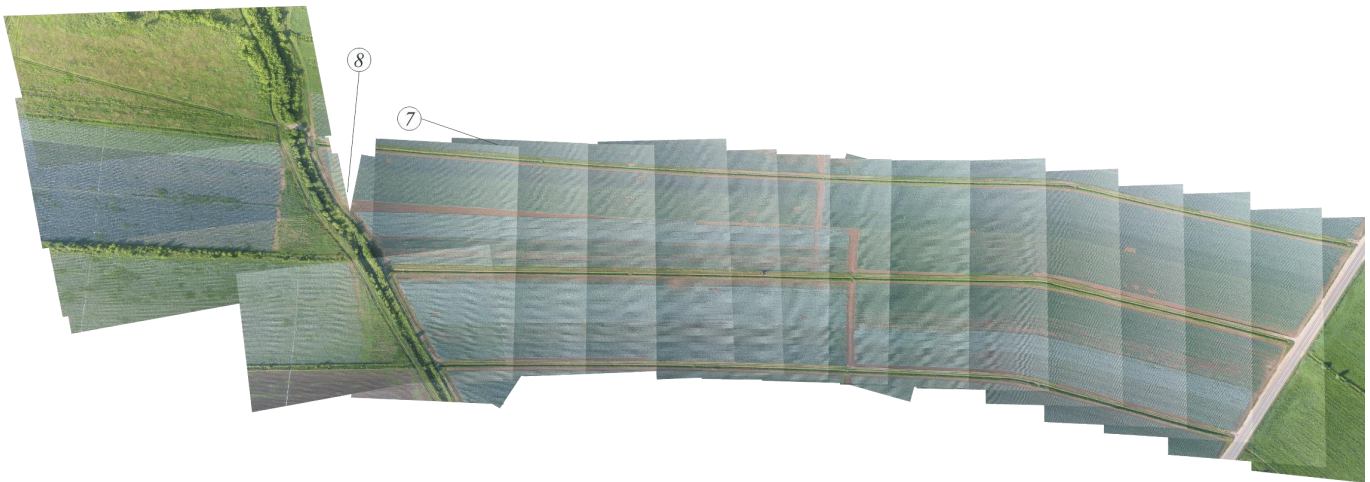


Рис. 2 – Ортофотоплан участка оросительной мелиоративной системы в «мозаическом» виде:
7 – области «перекрытия»; 8 – прерывистость

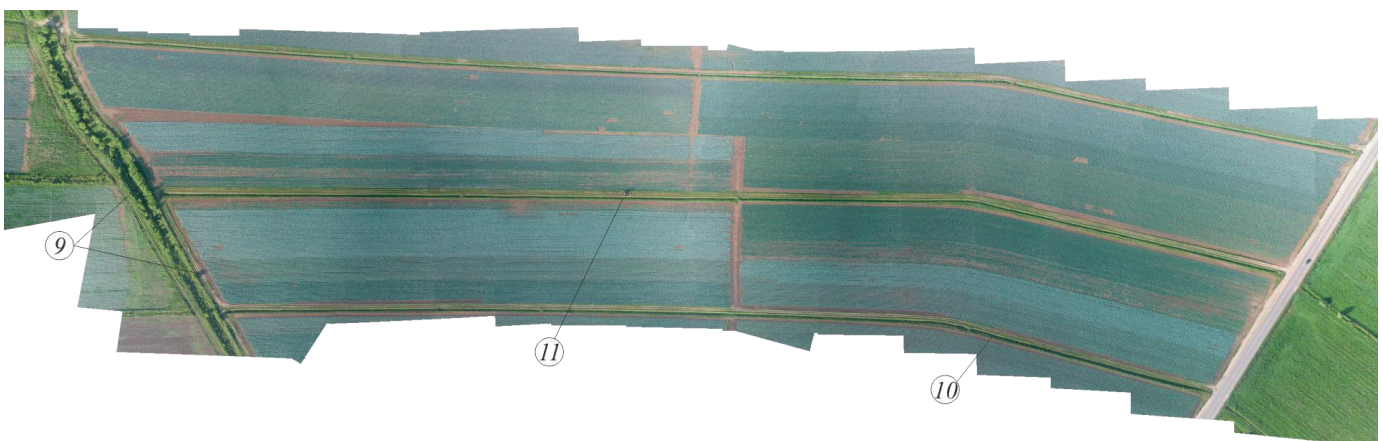


Рис. 3 – Ортофотоплан участка оросительной мелиоративной системы с искажением цветопередачи:
9 – тени от деревьев; 10 – тени от каналов; 11 – тени от мелиоративной техники

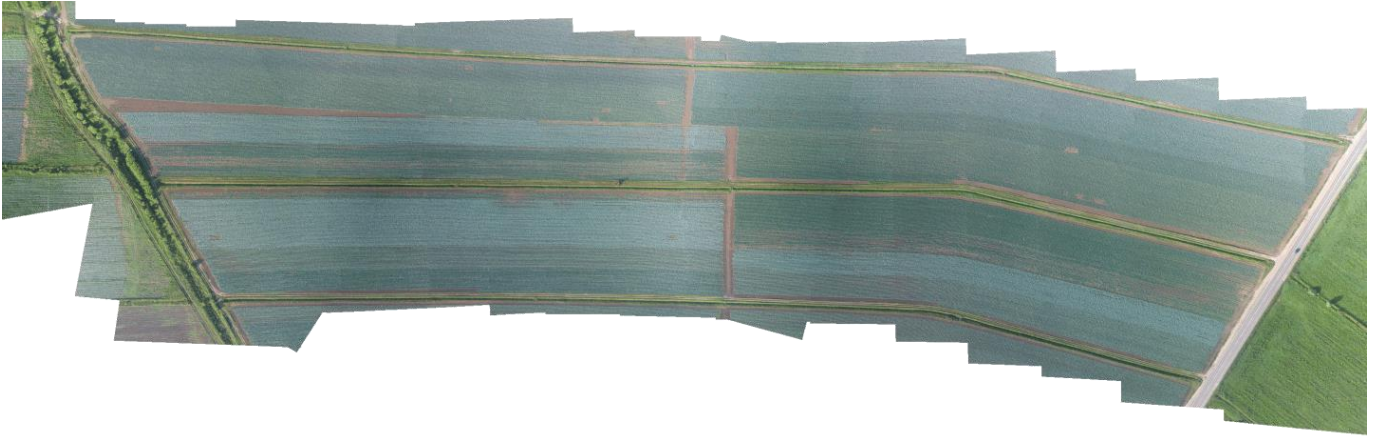


Рис. 4 – Удовлетворительный ортофотоплан участка оросительной мелиоративной системы



Рис. 5 – Ортофотопланы гидротехнических сооружений с бликами на водной поверхности:
12 – блики от солнца; 13 – водные растения



Рис. 6 – Ортофотопланы гидротехнических сооружений с отражениями:
14 – отражения облаков



Рис. 7 – Ортофотопланы гидротехнических сооружений с искажениями на границах изображений:
15 – нестыковки на границах изображений

5. Выводы

Проведенный анализ ортофотопланов мелиоративных объектов позволил вывить ряд наиболее типичных визуальных артефактов, встречающиеся в практике дешифрирования ортофотопланов и обработке снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов. Большинство артефактов затрудняет дешифрирование не позволяя дать объективную оценку состояния мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, что вызывает необходимость повторных съемок. Все артефакты, рассмотренные в настоящей работе, можно условно разделить на несколько групп:

- связанные с условиями проведения съемки и полетом (погодные условия, особенности съемочной аппаратуры и др.);
- связанные с методами и техническими условиями обработки изображений и создания ортофотоплана;
- избыточное или недостаточное количество снимков для создания ортофотопланов («мозаичность» изображения или пустоты и др.).

Funding

The work was carried out under the State task of the Ministry of Agriculture of Russia [№ 082-00080-21-00].

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минсельхоза России [№ 082-00080-21-00].

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Степанова В.И. Использование карт местности при дистанционном зондировании Земли / В.И. Степанова, А.А. Ишханова // Вестник ОрелГАУ. – 2019. – №1 (76). – С. 52–57. DOI: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>.
2. Степанов И.Н. Теория пластики рельефа и новые тематические карты. / И.Н. Степанов – М.: Наука, 2006. – 230 с.
3. Юрченко И.Ф. Инновационная инфраструктура цифровизации мелиоративного водохозяйственного комплекса / И.Ф. Юрченко // Оригинальные исследования. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 30–35.
4. Моисеев К.Г. Возможности вейвлет-анализа фотоизображений почвенных профилей / К.Г. Моисеев, Е.Г. Зинчук // Экология и строительство. – 2019. – № 4. – С. 33–41. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-04-004.
5. Захаров К.В. Фрагментация ландшафта и парковое благоустройство как факторы накопления тяжелых металлов в листьях березы / К.В. Захаров, А.А. Медведков, В.Ф. Борисов // Экология и строительство. – 2020. – № 1. С. 4–13. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-01-001.
6. Крашенинникова С.Б. Влияние комплекса факторов среды на биомассу фитопланктона и зоопланктона в Черном море в весенний период / С.Б. Крашенинникова, Н.И. Минкина, Э.З. Самышев и др. // Экология и строительство. – 2019. – № 4. – С. 14–21. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-04-002.

7. Мартынова А.Э. Факторный анализ классификации городских местообитаний на примере Сердловского округа города Иркутска / А.Э. Мартынова, С.В. Солодянкина // Экология и строительство. – 2019. – № 3. – С. 12–19. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-03-002.
8. Шадских В.А. Эколого-мелиоративные аспекты использования орошаемых земель Саратовской области / В.А. Шадских, В.Е. Кижяева, Л.Г. Романова // Экология и строительство. – 2020. – № 2. – С. 58–65. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-02-008.
9. Шадских В.А. Агроэкологические аспекты совершенствования структуры посевов в севооборотах на деградированных длительно орошаемых почвах Поволжья / В.А. Шадских, В.Е. Кижяева, Ю.А. Новикова // Экология и строительство. – 2020. – № 4. – С. 18–28 DOI: 10.35688/2413–8452-2020-04-004.
10. Гурбанов Э.А. Интенсивность овражной эрозии в аридных условиях на третичном плато Азербайджанской Республики / Э.А. Гурбанов, С.Б. Вердиев, П.Ч. Газиева // Экология и строительство. – 2017. – № 4. – С. 8–15.
11. Потапов В.П. Использование данных дистанционного зондирования земли для оценки антропогенного воздействия на водные объекты / В.П. Потапов, О.Л. Гиниятуллина, Н.В. Андреева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 6. – С. 465–474.
12. Зверьков М.С. Оценка мелиоративного состояния гидромелиоративной системы с использованием данных дистанционного зондирования земли и беспилотного летательного аппарата / М.С. Зверьков, С.В. Брыль // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 6–16. DOI: 10.26897/1997–6011–2021–2–6–16.
13. Касьянов А.Е. Маркерные участки цифровой мелиорации сельскохозяйственных земель / А.Е. Касьянов // Экология и строительство. – 2020. – № 3. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-03-003.
14. Ali A.M. Comparative analysis of some winter crops area estimation using landsat-8 and sentinel-2 satellite imagery / A.M. Ali, M.A. El-Shirbeny, N.H.S. Saleh et al. // Asian J Agri & Biol. – 2018 – 6(2) – pp. 189-197.
15. Ali A.M. Integrated method for rice cultivation monitoring using sentinel-2 data and leaf area index / A.M. Ali, I. Savin, P. Dokukin et al. // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2021. – № 3(1):24. – P. 431-441.
16. . Градостроительный кодекс Российской Федерации, ст. 57.5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 25.04.2022).
17. 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).
18. ГОСТ Р 52440–2005 Модели местности цифровые. Общие требования [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044676> (дата обращения: 25.04.2022).

References in English

1. Stepanova V.I. Ispol'zovanie kart mestnosti pri distancionnom zondirovanii Zemli [The use of terrain maps for remote sensing of the Earth] / V.I. Stepanova, A.A. Ishkhanova // Vestnik OrelGAU [Bulletin of the OrelSAU] – 2019. – №1 (76). – pp. 52–57. DOI: <http://dx.doi.org/10.15217/48484>. [in Russian]
2. Stepanov I.N. Teoriya plastiki rel'efa i novye tematicheskie karty [Theory of relief plasticity and new thematic maps] / I.N. Stepanov – М.: Nauka, 2006. –230 p. [in Russian]
3. Yurchenko I.F. Innovacionnaya infrastruktura cifrovizacii meliorativnogo vodohozyajstvennogo kompleksa [Innovative infrastructure for digitalization of the reclamation water management complex] / I.F. Yurchenko // Original'nye issledovaniya [Original research]. – 2020. – V. 10. – № 3. – pp. 30–35. [in Russian]
4. Moiseev K.G. Vozmozhnosti vejvlet-analiza fotoizobrazhenij pochvennyh profilej [The possibilities of wavelet analysis of soil profile photos] / K.G. Moiseev, E.G. Zinchuk // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2019. – № 4. – pp. 33–41. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-04-004. [in Russian]
5. Zaharov K.V. Fragmentaciya landshafta i parkovoe blagoustrojstvo kak faktory nakopleniya tyazhelyh metallov v list'yah berezy [Landscape fragmentation and park improvement as factors of accumulation of heavy metals in birch leaves] / K.V. Zaharov, A.A. Medvedkov, V.F. Borisov // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2020. – № 1. pp. 4–13. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-01-001. [in Russian]
6. Krashennikova S.B. Vliyanie kompleksa faktorov sredy na biomassu fitoplanktona i zooplanktona v Chernom more v vesennij period [Influence of a complex of environmental factors on phytoplankton and zooplankton biomass in the Black Sea in spring] / S.B. Krashennikova, N.I. Minkina, E.Z. Samyshev et al. // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2019. – № 4. – pp. 14–21. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-04-002. [in Russian]
7. Martynova A.E. Faktornyj analiz klassifikacii gorodskih mestoobitanij na primere Serdlovskogo okruga goroda Irkutsk [Factor analysis of the classification of urban habitats on the example of the Sverdlovsk district of the city of Irkutsk] / A.E. Martynova, S.V. Solodyankina // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2019. – № 3. – pp. 12–19. DOI: 10.35688/2413–8452-2019-03-002. [in Russian]
8. Shadskih V.A. Ekologo-meliorativnye aspekty ispol'zovaniya oroshaemyh zemel' Saratovskoj oblasti [Ecological and meliorative aspects of the use of irrigated lands of the Saratov region] / V.A. Shadskih, V.E. Kizhaeva, L.G. Romanova // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2020. – № 2. – pp. 58–65. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-02-008. [in Russian]
9. Shadskih V.A. Agroekologicheskie aspekty sovershenstvovaniya struktury posevov v sevooborotah na degradirovannyh dlitel'no oroshaemyh pochvah Povolzh'ya [Agroecological aspects of improving the structure of crops in crop rotations on degraded long-irrigated soils of the Volga region] / V.A. Shadskih, V.E. Kizhaeva, Yu.A. Novikova // Ekologiya i stroitel'stvo [Ecology and construction]. – 2020. – № 4. – pp. 18–28 DOI: 10.35688/2413–8452-2020-04-004. [in Russian]

10. Gurbanov E.A. Intensivnost' ovrazhnoj erozii v aridnyh usloviyah na tretichnom plato Azerbajdzhanskoj Respubliki [Intensity of gully erosion in arid conditions on the tertiary plateau of the Republic of Azerbaijan] / E.A. Gurbanov, S.B. Verdiev, P.Ch. Gazieva // *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and construction]. – 2017. – № 4. – pp. 8–15. [in Russian]
11. Potapov V.P. Ispol'zovanie dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli dlya ocenki antropogennoho vozdejstviya na vodnye ob"ekty [Use of Earth remote sensing data to assess anthropogenic impact on water bodies] / V.P. Potapov, O.L. Giniyatullina, N.V. Andreeva // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. – 2013. – № 6. – pp. 465–474. [in Russian]
12. Zver'kov M.S. Ocenka meliorativnogo sostoyaniya gidromeliorativnoj sistemy s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli i bespilotnogo letatel'nogo apparata [Assessment of the reclamation state of the hydro-reclamation system using remote sensing data of the earth and an unmanned aerial vehicle] / M.S. Zver'kov, S.V. Bryl' // *Prirodoobustrojstvo* [Environmental management]. – 2021. – № 2. – pp. 6–16. DOI: 10.26897/1997–6011–2021–2–6–16. [in Russian]
13. Kas'yanov A.E. Markernye uchastki cifrovoj melioracii sel'skohozyajstvennyh zemel' [Marker plots of digital agricultural land reclamation] / A.E. Kas'yanov // *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and construction]. – 2020. – № 3. DOI: 10.35688/2413–8452-2020-03-003. [in Russian]
14. Ali A.M. Comparative analysis of some winter crops area estimation using landsat-8 and sentinel-2 satellite imagery / A.M. Ali, M.A. El-Shirbeny, N.H.S. Saleh et al. // *Asian J Agri & Biol.* – 2018 – 6(2) – pp. 189-197.
15. Ali A.M. Integrated method for rice cultivation monitoring using sentinel-2 data and leaf area index / A.M. Ali, I. Savin, P. Dokukin et al. // *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.* – 2021. – № 3(1):24. – P. 431-441.
16. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii, st. 57.5. [Urban Planning Code of the Russian Federation, Article 57.5.] [Electronic resource]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901919338> (accessed: 25.04.2022). [in Russian]
17. 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 predstavlyaemyh v forme elektronnyh dokumentov, i trebovanij k formatam ukazannyh elektronnyh dokumentov, a takzhe o vnesenii izmeneniya v punkt 6 Polozheniya o vypolnenii inženernyh izyskanij dlya podgotovki proektnoj dokumentacii, stroitel'stva, rekonstrukcii ob"ektov kapital'nogo stroitel'stva» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1431 dated September 15, 2020 "On Approval of the Rules for the Formation and Maintenance of an Information Model of a Capital Construction Object, the Composition of Information, Documents and Materials Included in the Information Model of a Capital Construction Object and Submitted in the Form of Electronic Documents, and Requirements for the Formats of these Electronic Documents, as well as Amendments to paragraph 6 Regulations on the performance of engineering surveys for the preparation of project documentation, construction, reconstruction of capital construction facilities"] [Electronic resource] – URL: <http://government.ru/docs/all/129915/> (accessed: 25.04.2022). [in Russian]
18. GOST R 52440-2005 Modeli mestnosti cifrovyje. Obshchie trebovaniya [GOST R 52440-2005 Digital terrain models. General requirements] [Electronic resource]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200044676> (accessed: 25.04.2022). [in Russian]