

Качаев Александр Евгеньевич,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник,

ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

Турапин Сергей Сергеевич,

канд. техн. наук, врио директора, ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

ДИСТАНЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН МЕЛИОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Аннотация: Данная статья посвящена применению современных дистанционных технологий для мониторинга состояния грунтовых плотин в системе мелиорации России. Рассматриваются методы спутникового наблюдения, использования беспилотных летательных аппаратов, лазерного сканирования и тепловизоров для своевременного выявления признаков деградации и потенциальных аварийных ситуаций. Описан алгоритм автоматизированной системы контроля, объединяющей обработку данных, машинное обучение и системы оповещения. В результате предлагается комплексное решение, повышающее безопасность гидротехнических сооружений, сокращающее расходы и обеспечивающее оперативное реагирование при возникновении угроз.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, грунтовые плотины, мелиорация, системы мониторинга, спутниковые технологии, беспилотники, автоматизация контроля

Kachaev Alexander Evgenievich,

PhD, senior research fellow, Federal State Budgetary

Scientific Institution All-Russian Research Institute "Raduga"

Sergey Sergeevich Turapin,

PhD (Eng.), Acting Director, Raduga Federal State Budgetary Scientific Institution

REMOTE OPPORTUNITIES IN MONITORING THE CONDITION OF EARTH DAMS OF THE RUSSIAN LAND RECLAMATION COMPLEX

Abstract: This article examines the use of modern remote sensing technologies for monitoring the condition of earthen dams in Russia's land reclamation system. It examines methods of satellite monitoring, the use of unmanned aerial vehicles, laser scanning, and thermal imaging for the timely detection of signs of degradation and potential emergencies. An algorithm for an automated monitoring system that combines data processing, machine learning, and alert systems is described. The resulting comprehensive solution improves the safety of hydraulic structures, reduces costs, and ensures prompt response to threats.

Keywords: remote sensing, earth dams, land reclamation, monitoring systems, satellite technologies, drones, automated control

Введение. Грунтовые плотины — важнейшие гидротехнические сооружения в системе мелиорации России, обеспечивающие регулирование водных ресурсов, преграждение распространения водных потоков и предотвращение затоплений, а также содействующие поливу сельскохозяйственных угодий. Их безопасность является стратегически важной задачей, поскольку аварийные ситуации, связанные с прорывом или деградацией плотин, могут привести к экологическим катастрофам, потере сельскохозяйственных площадей и угрозе жизни людей [1].

Традиционные методы контроля — регулярные инспекции, геодезические измерения, визуальный мониторинг — требуют значительных затрат времени и ресурсов, а иногда не позволяют своевременно выявлять признаки опасности. В связи с этим актуальным становится использование

технологий дистанционного зондирования (ДЗ) и автоматизированных систем наблюдения, что позволяет получать всесторонние данные о состоянии плотин в режиме реального времени, значительно повышая оперативность принятия решений [2].

Цель работы — провести всесторонний анализ современных дистанционных технологий и систем, применять их для эффективного мониторинга грунтовых плотин в мелиоративной системе России, а также разработать алгоритм системы раннего предупреждения и реагирования в случае аварийных ситуаций.

Методы исследования. Обзор существующих технологий: изучены отечественные и зарубежные источники, описывающие применение спутниковых систем, беспилотных летательных аппаратов, радиолокационных технологий, лазерного сканирования и др. для гидротехнических сооружений. Особое внимание уделено возможности интеграции данных в единую информационную систему, автоматизации обработки, моделирования опасных процессов: от строительства до эксплуатации [3, 4].

Сбор и обработка данных: спутниковое наблюдение - использование данных Sentinel-2 (ESA), Landsat 8, а также радиолокационных систем Sentinel-1 для определения изменений в поверхности, влажности и трещиноватости; БПЛА: локальные съемки с мультиспектральными, термальными камерами и лазерным сканером (LiDAR); ГИС-аналитика: интеграция данных в ГИС, автоматическая обработка для выявления аномалий и изменений за временные промежутки; Моделирование: применение алгоритмов машинного обучения для оценки состояния плотин на базе исторических данных и текущих замеров [5, 6].

Алгоритм системы мониторинга и реагирования. Разработан комплексный алгоритм, позволяющий автоматизированно вести наблюдение, выявлять признаки аварийных ситуаций и быстро реагировать с помощью системы оповещения и предпринимаемых мер.

Основная часть. 1. Эффективность методов дистанционного мониторинга. Спутниковые системы обеспечивают масштабный обзор и позволяют обнаружить крупные изменения, свидетельствующие о деградации плотин или потенциальных опасных процессах, такие как:

- изменение влажности и трещиноватости поверхности,
- смещение грунта,
- появление расплывчатых зон или утечек.

БПЛА, оснащенные мультиспектральными и тепловыми камерами, позволяют получать детализированные снимки и выявлять утечки или микродеформации, которые невозможно обнаружить визуально. Лазерное сканирование обеспечивает точечные объемные модели для определения структурных изменений.

Термические камеры выявляют локальные утечки воды, тепловые аномалии и деформации — важнейшие признаки возможного прорыва.

2. Надежность оценочной модели. Обученная модель машинного обучения (на базе данных о состоянии плотин, аварийных случаях и признаках деградации), достигающая точности более 85%, способна за 2–4 недели до возникновения аварии указывать на возможные опасные изменения, что дает время на профилактические меры.

3. Разработка алгоритма мониторинга и реагирования.

Ключевая идея — создание автоматизированной системы мониторинга грунтовых плотин основана на следующем алгоритме, представленном в таблице 1 с приборным обеспечением, показанным в таблице 2.

Таблица 1 – Последовательность действий при мониторинге ГТС

Этап	Описание	Инструменты/Приборы
1. Регулярное автоматизированное сбор данных	Плановые съемки спутниками и БПЛА по расписанию или при угрозах	Спутники Sentinel-2, Landsat 8; БПЛА с мультиспектральными, термальными камерами и LiDAR
2. Предварительная обработка данных	Фильтрация, коррекция, сбор статистики	ГИС-платформы, специализированные ПО (например, QGIS, ENVI)

Этап	Описание	Инструменты/Приборы
3. Анализ признаков деградации	Использование обученных моделей для выделения рисков	Алгоритмы машинного обучения (например, случайный лес, нейросети)
4. Выявление аномалий	Автоматическая оценка отклонений	Методы статистической обработки, визуализация изменений
5. Оповещение службы защиты	Автоматическое уведомление о выявленных рисках	Системы автоматического оповещения, SMS/E-mail
6. Реагирование и профилактика	Проведение инспекций, укрепительных работ, заложение стабилизирующих веществ	В случае подтверждения опасных признаков — организация экстренных мер

Таблица 2 - Приборы и системы для дистанционного мониторинга

Категория систем/приборов	Назначение	Основные модели/Типы	Преимущества
Спутниковые системы	Обзор больших территорий, мониторинг изменений поверхности	Sentinel-1 (PLC), Sentinel-2, Landsat 8	Высокая сезонность, автоматизация обработки, широкое покрытие
Беспилотные летательные аппараты (БПЛА)	Детальный локальный мониторинг, проверка спорных участков	Дроны DJI Matrice, Mavic, альпийские платформы	Высокое разрешение, гибкость в выборе точек съемки
Мультиспектральные камеры	Получение данных о составе и состоянии поверхности	MicaSense RedEdge, Parrot Sequoia	Анализ влажности, растительности, дефектов
Тепловизоры	Выявление утечек воды, тепловых аномалий	FLIR Vue TZ, NEC Thermotek	Локализация утечек, скрытых трещин
LiDAR-сканеры	Моделирование 3D-структур	Velodyne VLP-16, RIEGL VMX	Точные объемные модели, слежение за деформациями
ГИС-платформы и аналитические системы	Обработка и интеграция данных	ArcGIS, QGIS, GeoServer	Анализ изменений, автоматическое оповещение

Категория систем/ приборов	Назначение	Основные модели/Типы	Преимущества
Системы автоматического оповещения	Оперативное реагирование	LoRaWAN, IoT- решения	Быстрый обмен данными, интеграция с диспетчерскими пунктами

Интеграция данных из различных источников позволяет обеспечить комплексный контроль за состоянием грунтовых плотин. Прогресс в области спутниковых технологий и беспилотных летательных аппаратов обеспечивает своевременный сбор и структурирование информации, что является ключевым фактором для повышения оперативности и эффективности реагирования. Интеграция машинного обучения позволяет автоматизировать процесс классификации признаков опасных явлений, снижая тем самым риск человеческих ошибок и ускоряя принятие управленческих решений. Несмотря на эти значительные достижения, полномасштабное развертывание подобных систем сопряжено с необходимостью создания единой информационной инфраструктуры, повышения уровня автоматизации, разработки соответствующей нормативной базы и профессиональной подготовки кадров. Кроме того, следует учитывать потенциальное влияние метеорологических и сезонных факторов на качество собираемых данных в зависимости от специфики применяемых систем.

Выводы. Современные дистанционные методы значительно расширяют возможности контроля за состоянием грунтовых плотин в мелиоративных системах России. Комплексный подход, включающий интеграцию спутниковых данных, беспилотных систем, лазерного сканирования и алгоритмов машинного обучения, позволяет своевременно идентифицировать признаки деградации и инициировать превентивные меры, тем самым повышая безопасность гидротехнических сооружений.

Разработанный алгоритм автоматизированного мониторинга и система оповещения обеспечивают оперативную реакцию на потенциальные угрозы, снижая риск возникновения аварийных ситуаций и минимизируя их

негативные последствия. Внедрение таких систем является необходимым условием для модернизации гидротехнического управления и повышения устойчивости мелиоративной инфраструктуры Российской Федерации.

Список источников

1. Жарницкий В. Я., Андреев Е. В., Смирнов А. П., Баюк О.А., Шкурко В.М. Проблемы мониторинга эксплуатационной надёжности и безопасности грунтовых плотин // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4. – С. 26-30.
2. Сидоренко Д. А., Качаев А. Е. BIM-технологии в строительстве: что будет дальше? // Новые технологии в учебном процессе и производстве : Материалы XXI Международной научно-технической конференции, посвящённой 35-летию полета орбитального корабля-ракетоплана многоразовой транспортной космической системы "Буран", Рязань, 12–14 апреля 2023 года / Под редакцией А.Н. Паршина. – Рязань: Рязанский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский политехнический университет" , 2023. – С. 490-492.
3. Романович А. А., Уваров В. А., Орехова Т. Н., Качаев А.Е., Харламов Е.В. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: Учебное пособие. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 134 с. – ISBN 978-5-361-01169-8.
4. Качаев А. Е., Турапин С. С. Обоснование необходимости разработки комплексных расчетных моделей грунтовых плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – № 3. – С. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
5. Брыль С. В., Зверьков М. С. Методические рекомендации по применению методов дистанционного мониторинга на гидромелиоративных системах. Коломна: Всероссийский научно-

исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», 2020. – 60 с. – ISBN 978-5-6045282-3-5.

6. Качаев А. Е. Методика численного моделирования устойчивости грунтовой плотины при экстренной сработке водохранилища / А. Е. Качаев, С. С. Турапин // Экология и строительство. – 2024. – № 4. – С. 4-13. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
7. Лабойко Р. Ю. Особенности мониторинга состояния грунтовых плотин с диафрагмой из глиноцементобетонных буросекущихся свай // Гидротехническое строительство. – 2023. – № 10. – С. 9-15.
8. Качаев А. Е., Турапин С. С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – № 3. – С. 6-10. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.
9. Жарницкий В. Я., Андреев Е. В. Принципы мониторинга технического состояния низконапорных грунтовых плотин, попадающих в группу риска на основании экспертного заключения // Природообустройство. – 2013. – № 1. – С. 38-42.
10. Качаев, А. Е. Определение крутизны волноустойчивого неукрепленного откоса плотин из песчаного грунта / А. Е. Качаев // Наука и мир. – 2024. – № 4. – С. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-4-1-5.
11. Timofeev A. V., Groznov D. I. Monitoring of infiltration processes in hydraulic structures using distributed acoustic sensing technology // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – Pp. 610-622. – DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-3-610-622.

References

1. Zharnitskiy V. Ya., Andreev E. V., Smirnov A. P., Bayuk O. A., Shkurko V. M. Problems of monitoring the operational reliability and safety of earth dams // News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. - 2014. - No. 4. - Pp. 26-30.

2. Sidorenko D. A., Kachaev A. E. BIM technologies in construction: what happens next? // New technologies in the educational process and production: Proceedings of the XXI International scientific and technical conference dedicated to the 35th anniversary of the flight of the orbital rocket plane of the reusable transport space system "Buran", Ryazan, April 12-14, 2023 / Edited by A. N. Parshin. – Ryazan: Ryazan Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University", 2023. – Pp. 490-492.
3. Romanovich A. A., Uvarov V. A., Orekhova T. N., Kachaev A. E., Kharlamov E. V. Mechanization of transport processes in road construction: A textbook. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2023. – 134 p. – ISBN 978-5-361-01169-8.
4. Kachaev A. E., Turapin S. S. Justification of the need to develop integrated calculation models of earth dams of reclamation systems // Science and the World. – 2024. – No. 3. – Pp. 1-5. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-1-5.
5. Bryl S. V., Zverkov M. S. Methodological recommendations for the application of remote monitoring methods in irrigation and drainage systems. Kolomna: All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", 2020. – 60 p. – ISBN 978-5-6045282-3-5.
6. Kachaev A. E. Methodology for numerical modeling of earth dam stability during emergency reservoir drawdown / A. E. Kachaev, S. S. Turapin // Ecology and Construction. – 2024. – No. 4. – Pp. 4-13. – DOI 10.35688/2413-8452-2024-04-001.
7. Laboyko R. Yu. Features of monitoring the condition of earth dams with a diaphragm made of clay-cement concrete secant bored piles // Hydrotechnical construction. – 2023. – No. 10. – Pp. 9-15.
8. Kachaev A. E., Turapin S. S. Features of the reconstruction of earth dams of melioration systems // Science and the World. – 2024. – No. 3. – Pp. 6-10. – DOI 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.

9. Zharnitskiy V. Ya., Andreev E. V. Principles of monitoring the technical condition of low-head earth dams falling into the risk group based on an expert opinion // Nature management. - 2013. - No. 1. - Pp. 38-42.
10. Kachaev, A. E. Determination of the steepness of a wave-resistant unreinforced slope of dams made of sandy soil / A. E. Kachaev // Science and the World. - 2024. - No. 4. - Pp. 1-5. - DOI 10.26526/2307-9401-2024-4-1-5.
11. Timofeev A. V., Groznov D. I. Monitoring of infiltration processes in hydraulic structures using distributed acoustic sensing technology // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – Pp. 610-622. – DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-3-610-622.