

## МОНИТОРИНГ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

*В. Е. Левкевич<sup>1</sup>, В. А. Лосицкий<sup>1</sup>, В. А. Мильман<sup>2</sup>, В. С. Решетник<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, Беларусь, v.lev20214@mail.ru

<sup>2</sup> Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, mailto:milman@newman.bas-net.by

### **Аннотация**

В настоящей работе приведены некоторые результаты исследований по оценке состояния эксплуатируемых водохозяйственных сооружений Беларуси с помощью средств дистанционной диагностики. Использование современных методов и средств дистанционной диагностики – космических и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – позволило в сочетании с наземными съемками сформулировать предложения по ведению комплексного мониторинга состояния водохозяйственных объектов страны.

**Ключевые слова:** водохозяйственные сооружения, водохранилища, дистанционная диагностика, мониторинг.

## MONITORING OF WATER FACILITIES AND STRUCTURES USING REMOTE DIAGNOSTICS

*V. E. Levkevich, V. A. Lositsky, V. A. Milman, V. S. Reshetnik*

### **Abstract**

This work presents some of the results of studies on assessing the state of operating water facilities in Belarus using remote diagnostics. The use of modern methods and means of remote diagnostics - space and unmanned aerial vehicles (UAVs) - made it possible, in combination with ground surveys, to formulate proposals for conducting comprehensive monitoring of the state of water facilities in the country.

**Keywords:** water facilities, reservoirs, remote diagnostics, monitoring.

**Введение.** В нашей стране в настоящее время находится в эксплуатации большое количество водохозяйственных объектов, к которым относятся прежде всего водохранилища, пруды, ограждающие дамбы и подпорные сооружения-плотины, водосбросы, польдерные и мелиоративные комплексы, включающие систему открытых каналов, трубы-переезды, шлюзы-регуляторы, насосные станции мелиоративного назначения и водоснабжения, водозаборы и др.

Создаваемые на базе мелиорируемых территорий, рек, озер водные объекты наряду с положительным эффектом оказывают отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Наиболее опасной и «агрессивной» стороной проявления этого эффекта являются различные виды эрозии: абразия – переработка (разрушение) естественных берегов и незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин, деформации и разрушение креплений откосов различного типа, русловая эрозия, характерная для русел рек и каналов, поверхностная эрозия, как водная, так и ветровая, присущая сельскохозяйственным и

лесным территориям. В результате развития указанных выше отрицательных явлений происходит изъятие сельхозземель и лесных угодий из оборота, разрушение селитебных территорий, нарушение условий жизнедеятельности населения, что приносит значительный ущерб народному хозяйству страны.

В настоящей работе приведены результаты исследований, целью которых явилась оценка принципиальной возможности комплексного использования данных дистанционного зондирования, получаемых космическими аппаратами орбитального базирования (КА), а также беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в сочетании с наземными съемками для решения задач мониторинга состояния водохозяйственных объектов и сооружений страны.

**Материалы и методы.** В основу исследований были положены материалы комплексных натурных обследований более 100 водохранилищ Беларуси и сооружений на них, полученных совместно Белорусским национальным техническим университетом, Объединенным институтом проблем информатики (ОИПИ) НАН Беларуси и другими организациями страны в сочетании с информацией, полученной беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), а также материалами космической съемки. Это позволило установить нарушения и дефекты в состоянии инженерных сооружений на ряде водохозяйственных и водных объектов [1–10].

Практика показала использование дистанционных методов в сочетании с традиционными наземными обеспечивает одновременную (в расчете на масштаб процесса) съемку большого района береговой зоны и контроль ее состояния (размер поля съемки в несколько квадратных километров) при небольшом временном смещении. Иначе говоря, имеется возможность постоянного обновления различных серий карт и баз данных (например, базы данных кадастра берегов). Эти методы на основе высокого информационного содержания материалов как космической съемки, так и с помощью БПЛА в сочетании с наземными позволяют получать как топографические, так и тематические карты для оперативного принятия инженерных решений. Вследствие высокой метрической точности многозональные снимки можно относительно просто совмещать с существующими картами.

**Результаты и обсуждение.** Применение традиционных наземных методов исследований и наблюдений является по характеру получаемой информации дискретной технологией, которая ограничивается сбором информации через достаточно большие интервалы времени. Поэтому в настоящее время практика показала при ведении комплексных мониторинговых наблюдений и съемок площадного объекта (водохранилища, озера, пруда, водохозяйственного объекта) целесообразно использовать дистанционные методы, отображающие динамику процессов, происходящих в прибрежной зоне на различных стадиях развития в сочетании с наземными. Повторные измерения, выполняемые через эквидистантные временные интервалы или по выбранным событиям, позволяют получить пространственно-временную характеристику того или иного процесса. За счет последовательного накопления данных об элементарном процессе по некоторым участкам побережья могут быть сделаны выводы как о динамике процесса в целом, так и о тенденциях его развития под

влиянием внешних воздействующих факторов и условий [6–15]. Причем данная технология обеспечивает возможность выявления пространственной связи морфологических, гидродинамических и гидрологических условий, характерных для объекта наблюдений.

Этот метод хорошо удовлетворяет требованиям охраны окружающей среды и водного хозяйства в прибрежных районах. На основе высокого информационного содержания материалов космической съемки возможно как топографическое, так и тематическое картирование прибрежных территорий. Для этого достаточно использовать космические снимки, получаемые, например, МКС с высоты около 250 км (масштаб оригинала М 1:2 000 000) в четырех спектральных диапазонах видимого излучения (от 460 до 680 нм), которые имеют разрешение по поверхности Земли, равное около 10 м для линейных объектов. Многозональные аэроснимки в масштабе 1:50000 с высокой точностью могут быть использованы для обновления топографических карт в масштабе 1:10000. Таким образом, имеется возможность постоянного обновления различных серий карт и баз данных (например, базы данных кадастра берегов).

При проведении космической съемки затопляемых территорий, к примеру, в период паводка целесообразно использовать информацию различного пространственного разрешения в разных спектральных диапазонах [4]. Со снимков среднего разрешения (сенсоры МСУ-СК, Modis) можно извлекать полезную информацию о состоянии пойм рек. По снимкам высокого разрешения (сенсоры LISS, ASTER, МСУ-Э космических аппаратов серии Landsat) более точно определяется положение урезов воды и с большей достоверностью выделяются затопленные участки поймы. Съемка в микроволновом диапазоне (RADARSAT) дает возможность получать информацию о наводнениях независимо от освещенности и облачности.

В безледный период 2020 г. была экспериментально апробирована методика регистрации деформации железобетонных креплений береговых склонов и откосов, оценки состояния дамб обвалования, плотин, оголовков водозаборов и очистных сооружений с помощью беспилотного летательного аппарата – квадрокоптера.

Использование квадрокоптера профессиональной серии позволило провести съемку с высоты до 100 м. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional, оснащенный системой позиционирования GPS, акселерометром, датчиком высоты, 3-х осевым стабилизирующим подвесом цветной видеокамеры 4К с разрешением 12 мегапикселей, позволил получить HD видео в онлайн-режиме и фотографии высокого разрешения. В процессе натурного эксперимента были проведены детальные съемки береговой линии протяженностью более 1500 м тестового Заславского водохранилища, креплений ограждающих дамб и откосов, польдерной насосной станции и технологического пруда-отстойника, а также ряда водозаборов на водохранилищах Вилейско-Минской водной системы.

Еще одной, не менее важной задачей в исследованиях явилось сравнение точности методов дистанционного зондирования и стандартных наземных

методов измерений в водохозяйственном строительстве. Также проводилось тематическое геоморфологическое дешифрирование фотоснимков для создания схем формирования берегов так называемых тестовых водохранилищ. В качестве тестовых водоемов были выбраны четыре водохранилища Минской области, по которым в течение ряда лет проводятся стационарные комплексные наблюдения за динамикой береговых процессов: Заславское, Криницы, Вяча и Дубровское [1, 2].

Проведение синхронных аэро- и наземных съемок в квазистационарном временном режиме (практически в реальном режиме времени) с временной синхронизацией позволило по конкретным участкам береговой линии водоемов и створам оценить сопоставимость и точность используемых методик. В качестве параметров дешифрирования материалов аэрофотосъемок использовался ряд специфических дешифровочных признаков, которые обеспечили максимальную сходимость полученных результатов, погрешность составила от 9 до 15 % [4].

Наземная и дистанционная информация, получаемая в результате мониторинговых съемок, после обработки импортировалась в виде обобщенных массивов данных, представляющих собой таблицы специальной формы с перечнем основных эксплуатационных, морфологических, гидрологических и прочих характеристик, а также специальных чисто мониторинговых показателей. Сопоставление вышеупомянутых сведений, подтвержденных цифровой информацией, позволяет отслеживать динамику всех процессов, корректировать кратко текущие – (от 2 до 5 лет) и долгосрочные (от 10 до 25 лет) прогнозы и производить их корректировку [16–20]. Этот подход использовался при мониторинговых наблюдениях за берегоукрепительными и очистными сооружениями, а также водозаборами.

В настоящее время известны различные типы информационных систем. Для условий Беларуси была разработана предметно ориентированная база данных (БД) искусственных водных объектов. БД предназначена для повышения эффективности контроля (надзора) за техническим состоянием гидротехнических сооружений на объектах водохранилищного фонда Беларуси. БД позволяет автоматизировать процесс оценки обстановки для принятия управленческого решения [4, 20].

Для совместного анализа пространственно-распределенных данных используются геоинформационные системы (ГИС). ГИС являются основой для формирования других информационных систем, также работающих с пространственно-распределенными данными. ГИС объединяют картографические материалы в растровом и векторном виде, а также семантическую информацию по объектам картографирования в виде базы данных. При построении тематических карт мониторинга сооружений использовались как оригинальные продукты типа *Map Info*, *Arc View*, так и оригинальные разработки белорусских разработчиков ОИПИ НАН Беларуси.

Опытным путем установлено, что для мониторинга берегов водохранилищ и ограждающих сооружений (дамб) должны выделяться репрезентативные участки прибрежной и береговой территории. При выборе характерных,

репрезентативных участков должны учитываться геологические, морфологические и гидрологические особенности береговых склонов. Протяженность участков может быть различной.

Для пространственных объектов дистанционная диагностика с использованием современных КА облегчает и ускоряет процесс мониторинга водохранилищ, а крупномасштабная съемка с помощью БПЛА наиболее удобна для оценки и инвентаризации состояния откосов подпорных сооружений и их креплений, а также разрушения и деформаций береговой линии (рис.1). Проведенные в последние годы натурные исследования водохранилищного фонда страны (2010–2020гг.) позволили оценить состояние эксплуатации береговых водозаборов дамб обвалования прудов очистных сооружений (рис.1).



а) Очистные сооружения



б) Разрушение верхового откоса дамб

**Рисунок 1** - Состояние пруда отстойника и деформация откоса ограждающей дамбы

В республике наиболее распространены поверхностные водозаборы раздельного и совмещенного типов (рис. 2) и поверхностные водозаборы с «прямым отбором» воды для обеспечения рыбхозов, мелиоративных объектов, а также малых ГЭС. К таким сооружениям относятся водозаборы на водохранилищах: Любанское, Локтыши, Погост, Селец, Дубровское, Осиповичское и других.



**Рисунок 2** – Поверхностный водозабор на водохранилище Дрозды

Обследование ряда объектов показало, что конструкции и отдельные узлы водозаборных сооружений находятся в хорошем и удовлетворительном

состоянии. В некоторых случаях наблюдается износ бетонных и металлических конструкций. Это касается коррозии сороудерживающих решеток и закладных деталей, нарушения целостности некоторых элементов бетонных конструкций, что связано с воздействием ветрового волнения и ледового покрова.

**Заключение.** Полученные экспериментальные данные и материалы съемок позволили установить следующее:

- возможно и целесообразно для экономии сил и средств ведение мониторинга состояния водохозяйственных сооружений, отдельных конструкций и водохозяйственных комплексов с помощью БПЛА, оснащенных камерами высокого разрешения, обеспечивающих фиксацию и наблюдение за процессом деформации водохозяйственных сооружений (водозаборов, очистных сооружений) на водных объектах Беларуси;

- для оценки влияния водных объектов на прилегающие территории возможно использование комбинированного способа мониторинга, сочетающего в себе комплексный анализ спутниковой информации, съемок БПЛА и наземных обследований с последующей интеграцией на основе ГИС-систем.

#### **Список цитированных источников**

1. Левкевич, В. Е. Динамическая устойчивость берегов водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 307 с.
2. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, наливных и озерных водохранилищ Беларуси: / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.
3. Левкевич, В. Е. Гидро- морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2018. – 143 с.
4. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 172 с.
5. Бузук, А. В. Результаты лабораторных исследований деформаций откосов с берегоукрепительными сооружениями водохранилищ и их влияние на безопасность объекта в чрезвычайных ситуациях / А. В. Бузук // Вестн. Командн.-инженер. ин-та. МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 79–86.
6. Золоторев, Г. С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Г. С. Золоторев. – АН СССР, 1955. – Т. 12. – С. 188–235.
7. Михневич, Э. И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э. И. Михневич. – Минск : Ураджай, 1988. – 240 с.
8. Левкевич, Е. М. Из опыта эксплуатации креплений верховых откосов земляных плотин и берегов водохранилищ БССР / Е. М. Левкевич, Г. П. Сапожников. – Минск, 1977. – С. 97–105.
9. Шайтан, В. С. Исследование ветровых волн на водохранилище / В. С. Шайтан. – Москва : Гостстройиздат, 1962.
10. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев : «Наукова думка», 1973. – 416 с.

11. Максимчук, В. Л. Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ / В. Л. Максимчук. – Киев : Будівельник, 1981. – 112 с.
12. Бузук, А. В. Критерий устойчивости откосов подпорных сооружений и берегов водохранилищ с деформированным железобетонным креплением / А. В. Бузук // Мелиорация. – 2018. – №4(86) – С 24–30.
13. Кобяк, В. В. Результаты лабораторных и натурных исследований береговых процессов водохранилищ Беларуси // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 15–224.
14. Шайтан, В. С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. ВНИИ / ВОДГЕО. – М. : Стройиздат, 1974. – 352 с.
15. Канарский, В. С. Устойчивость и прочность откосов земляных сооружений / В. С. Канарский // М. : Энергоиздат, 1982. – 146 с.
16. Анисимова, Н. А. Динамика переработки береговых склонов Горьковского водохранилища / Н. А. Анисимова, С. В. Тарасова // Наука и техника на речном транспорте : спец. вып. – М., 2003. – С. 111–113.
17. Соболев С. В. Анализ переформирования абразионных берегов Горьковского водохранилища за период 1957–2010 гг. с прогнозом на следующее десятилетие / С. В. Соболев, Л. Б. Иконников, Д. Н. Хохлов // Гидротехническое строительство. – М. : 2011. – № 12. – С. 13–20.
18. Соболев, И. С. Модификация метода Е. Г. Качугина для вариантного компьютерного прогноза переформирования абразионных берегов эксплуатируемых равнинных водохранилищ / И. С. Соболев, Д. Н. Хохлов // Вестник МГСУ. Серия «Информационные системы и логистика в строительстве». – М. : 2012. – № 10. – С. 281–286.
19. Хабидов, А. Ш. Управление состоянием берегов водохранилищ / А. Ш. Хабидов [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 239 с.
20. Назаров, Н. Н. Географическое изучение берегов и акваторий камских водохранилищ / Н. Н. Назаров // Географ. вестн. – 2006. – № 2. – С. 18–36.

УДК 631.6 (09)

### КТО ПЕРВЫЙ

*В. М. Лукашевич, В. И. Желязко, А. Н. Тиванов*

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Беларусь, lukashevich\_vikt@mail.ru

**Аннотация.** На основании исторических материалов возможно проследить тенденцию развития устройства первого керамического дренажа в Европе и России. Первая система закрытого керамического дренажа на территории России была построена в 1853 г. на территории современной Белорусской сельскохозяйственной академии А. Н. Козловским через 10 лет после того, как в Англии в 1843 г. Д. Рид впервые изобрел гончарную дренажную трубу. Через год, т.е. в 1854 г., гончарный дренаж был построен также в Новгородской области.