

П.В. Хомяков, Б.М. Усманов, p.hamster21@gmail.com  
*Институт экологии, биотехнологии и природопользования  
Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия*

## **СОВРЕМЕННЫЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Представлены результаты исследования рельефа дна Куйбышевского водохранилища современными методами. Изменение рельефа дна отслеживалось с помощью интерферометрического гидролокатора бокового обзора и эхолота-картплоттера, а также эхолота, установленного на беспилотный гидрографический комплекс Apache 4 pro. В результате разработана методика исследования дна водоема с целью уточнения его морфометрии, обсуждается возможность применения полученных данных.

*Ключевые слова:* водохранилище, гидрология, гидролокатор бокового обзора, батиметрическая съемка, рельеф дна.

P. Khomyakov, B. Usmanov, p.hamster21@gmail.com  
*Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management  
Kazan Federal University, Kazan, Russia*

## **CONTEMPORARY EXAMINATION OF THE BATHYMETRIC CHARACTERISTICS OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR SHALLOWS**

The generalized results of the Kuibyshev Reservoir bed relief survey using modern methods are presented. The change in the bottom topography was monitored using the interferometric Side-Scan Sonar and the echo sounder-chartplotter, as well as an echo sounder mounted on an Apache 4 pro unmanned watercraft. As a result, reservoir bottom survey technique was developed to update its morphometry, possibility of obtained data application is discussed.

*Keywords:* reservoir, hydrology, side-scan sonar, bathymetric survey, bottom relief.

### ***Введение***

Динамичный характер дна водохранилищ под влиянием заиливания, русловых течений, антропогенной деятельности и экзогенных склоновых процессов обуславливает необходимость регулярных и многократных исследований [8]. Такие работы имеют решающее значение для эффективного мониторинга и оценки изменений, позволяя глубже понять, как экологические, так и антропогенные воздействия. Сложность изучения рельефа дна водохранилищ усугубляется сложной и мелководной природой береговых линий, а также внутригодовой и межгодовой динамикой уровня воды. Традиционные методы исследования часто не позволяют получить подробную геопространственную информацию, необходимую для точной оценки.

Мелководной зоной водохранилища считается участок акватории, верхней границей которого является положение уровня при нормальном подпорном

уровне (НПУ), а нижней – 2-метровая глубина при любом положении уровня. На равнинных водохранилищах размер мелководных участков в маловодные годы может достигать 30–50% площади ложа водохранилища при НПУ. На мелководьях откладывается значительная часть приносимых рекой наносов и быстро формируется прибрежная отмель. Периодическое осушение и затопление ложа водохранилища способствует формированию на этой площади специфических условий обитания живых организмов, поэтому зону мелководий считают одним из важнейших биотопов водохранилища. Специфика мелководий определяется гидрологическим режимом водоёма, изрезанностью его береговой линии, степенью и характером зарастания, защищённостью от волнового воздействия, а также значительным влиянием прилегающих площадей [1].

К сожалению, большие площади прибрежной территории крупных водоемов остаются плохо охарактеризованными, поскольку они не наносились на карты с достаточной точностью и пространственным разрешением

Передовые гидрографические технологии планирования, реализации, постобработки и повторного представления результатов батиметрической съемки широко используются исследователями на крупных водоемах (океаны, моря, крупнейшие озера, водохранилища) [2]. Современные методы исследования позволяют проводить измерения рельефа дна и его структуры с точностью до дециметра. Приборы для исследования дна – многолучевой эхолот для получения цифровой модели местности (ЦММ); гидролокатор бокового обзора (ГБО) для получения общего изображения дна, профилограф для распознавания структуры дна и т. д. являются эквивалентами съемки поверхности суши с использованием LiDaR, БПЛА [3] и георадара [7]. Для решения задачи построения рельефа дна на больших площадях используется гидроакустический интерферометр (Интерферометрический гидролокатор бокового обзора, ИГБОЭ) [4; 9]. На локальных же участках, с преобладанием относительно небольших глубин эффективны картплоттеры – эхолоты, обеспечивающие помимо значений глубины, координаты точек съемки [5].

В работе представлены результаты гидрометрических исследований на различных участках мелководий Куйбышевского водохранилища образовавшегося в 1955-1957 гг. в результате заполнения русла р.Волги гидротехническими сооружениями Куйбышевского гидроузла [6].

### ***Материалы и методы исследования***

На предполевом этапе определялась исследуемая площадь акватории, размеры участка, на электронную карту наносились галсы, имеющие привязку на местности к стационарным географическим объектам. Перед батиметрическим обследованием производилась съемка уреза воды (береговой линии) на всем протяжении исследуемого участка и определялся абсолютный уровень воды на день съемки комплектом GNSS-приемников E-Survey E300 Pro с точностью 2 см. Для этого один приемник устанавливался на ближайшем геодезическом пункте с известными координатами и высотой (рис. 1а), второй – на линии уреза воды в месте проведения батиметрических исследований (рис. 1б).

Батиметрическая съемка проводилась различными видами оборудования. Два из них – интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ГБО) ГИДРА ТМ4 и эхолот-картплоттер Garmin GPS Map 178С – устанавливались на борт ПВХ лодки (рис. 1в).

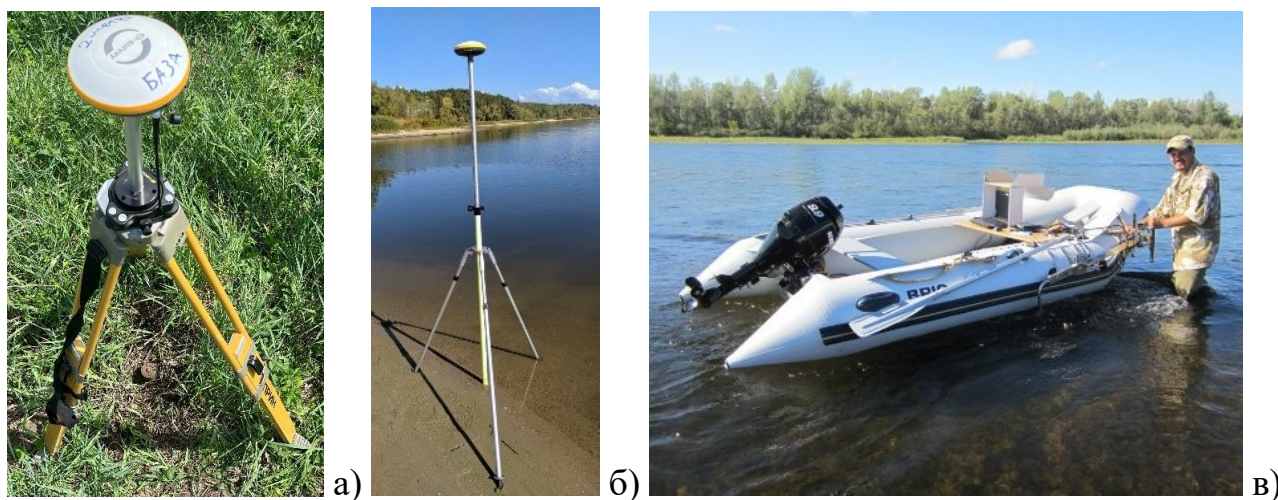


Рис.1. ГНСС приемник E-Survey E300 Pro на геодезическом пункте (а), на урезе воды (б), установка ГБО Гидра ТМ4 на лодку (в)

Осенью 2024 г. введен в эксплуатацию беспилотный гидрографический комплекс Apache 4 Pro (БПВА), состоящий из наземной станции управления и судна, оснащенного двухчастотным эхолотом, ГНСС приемником, а также мультитачником качества воды Y4000 (рис. 2). Особенностью съемки БПВА является автономная работа, лодка плавает по заранее построенному маршруту, оператор осуществляет контроль на случай возникновения препятствий.

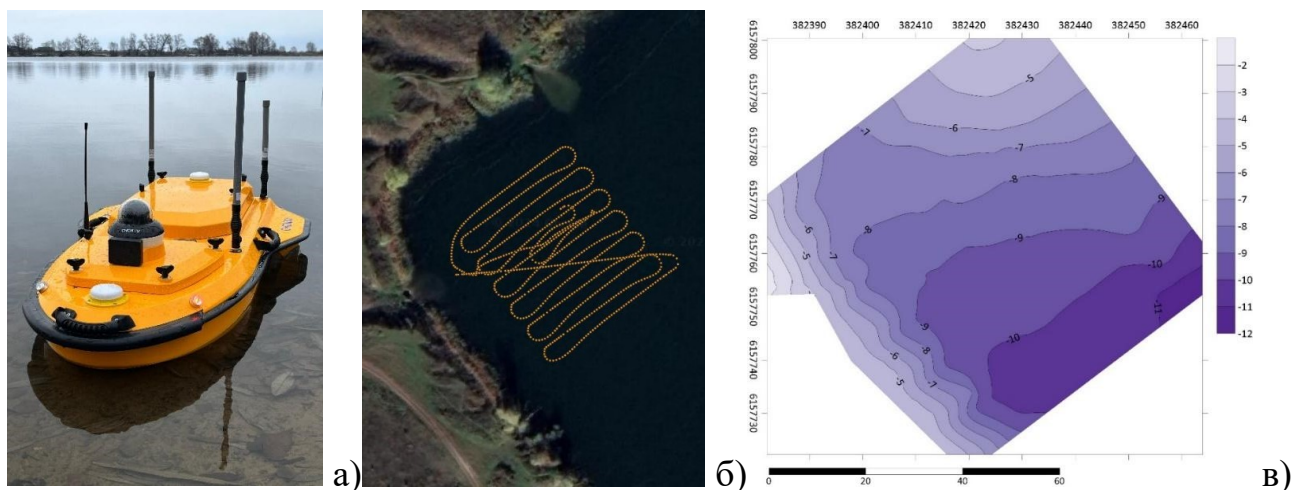


Рис. 2. Беспилотный гидрографический комплекс Apache 4 Pro (в), проектное расположение галсов (а) и карта глубин по данным БПВА (б)

## Результаты

Проведенные работы преследовали разные задачи, что определяло различие в характеристиках участков, условиях съемки, порядке и содержании исследований, а также используемом оборудовании.

Так, решались задачи выявления ям, оставшихся после гидромеханизированных работ по добыче песка и гравия в месте добычи песчано-гравийной смеси (ПГС) (рис. 3а), оценка состояния дна вдоль берега культурно-исторического комплекса остров-града Свияжск (рис. 3б).

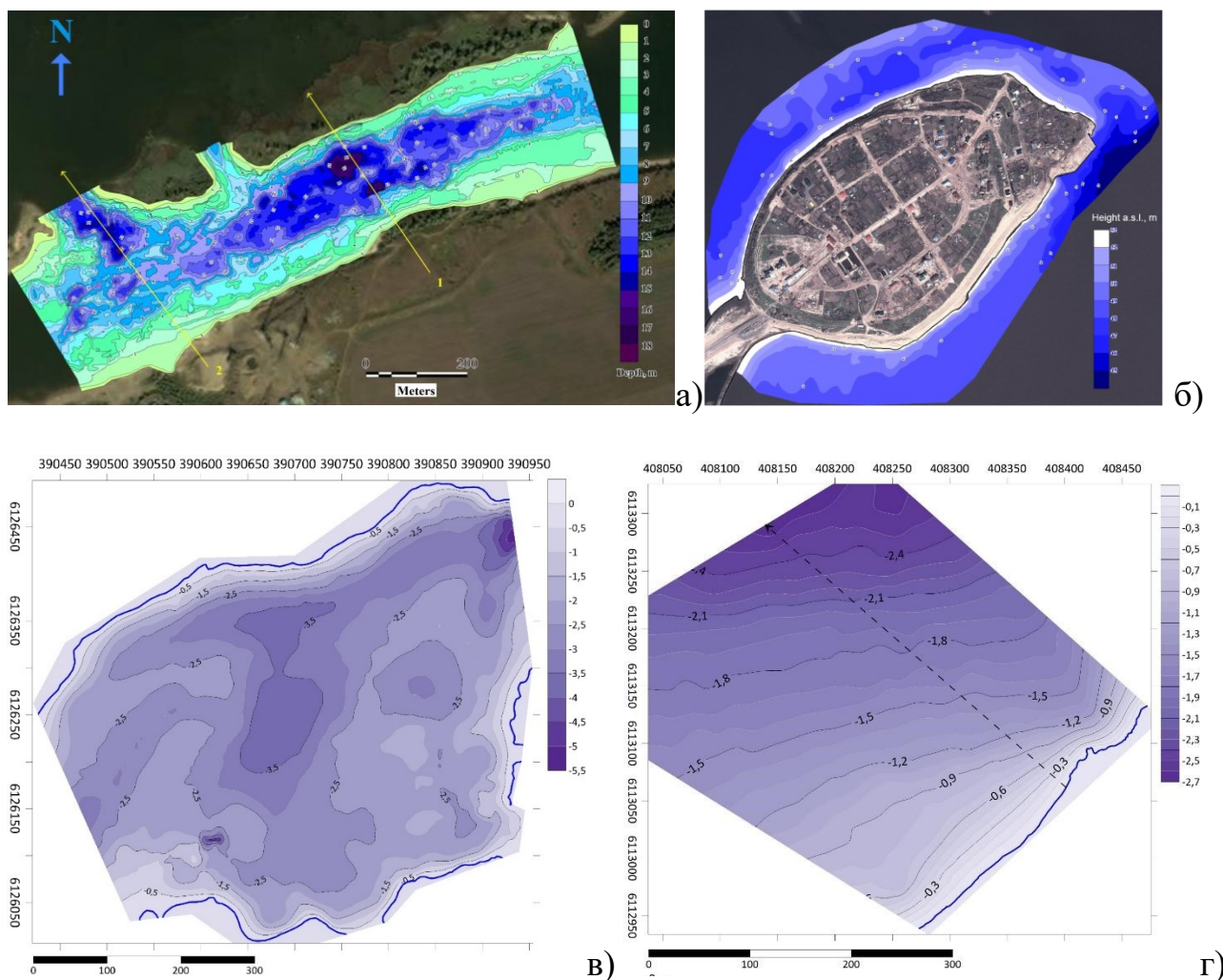


Рис. 3. Результаты батиметрических исследований участков  
Сакони (а), Свияжск (б), Саралы (в), Измери (г)

Также с использованием картплоттера и эхолота, установленного на БПВА ведутся работы по получению морфометрических характеристик и учета неоднородностей рельефа дна Куйбышевского водохранилища в рамках работ проводимых для целей полигона "Карбон-Поволжье" и создания актуальной батиметрической карты мелководий (Рис. 3 в, г).

Проведенные исследования подчеркивают необходимость регулярного проведения детальных исследований дна водохранилищ, что может быть полезным для решения различных задач, изучение динамики рельефа дна под воздей-

ствием природных и антропогенных факторов, геоинформационное обеспечение водных участков карбоновых полигонов, проведение инженерно-гидрологических изысканий, мониторинг состояния трубопроводов, обнаружение подводных артефактов, в том числе объектов историко-культурного наследия.

*Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004*

### Библиографический список

1. Законнов В.В., Иванов Д.В., Законнова А.В., Кочеткова М.Ю., Маланин В.В., Хайдаров А.А. Пространственная и временная трансформация донных отложений в водохранилищах Средней Волги // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 3. С. 1–9.
2. Хомяков П.В., Усманов Б.М. Оценка состояния дна Куйбышевского водохранилища в местах добычи ПГС // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2021. С. 190–195.
3. Gafurov A., Yermolayev O., Usmanov B. Creation of high-precision digital elevation models using the GNSS UAV // InterCarto InterGIS. 2021. Vol. 27, iss. 2. P. 327–339.
4. Galvez D.S., Papenmeier S.H., Hass C., Bartholomae A., Fofonova V., Wiltshire K.H. Detecting shifts of submarine sediment boundaries using side-scan mosaics and GIS analyses. Marine Geology. 2020. Vol. 430. 106343.
5. Khomyakov P.V., Usmanov B.M. Assessment of the Kuybyshev Reservoir bed state: A case study // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 834, iss. 1. Art. №012023.
6. Nicu I.C. Shoreline dynamics and evaluation of cultural heritage sites on the shores of large reservoirs: Kuibyshev reservoir, Russian Federation. Water. 2019. Vol. 11, iss. 3. Art № 591.
7. Rudowski S., Wróblewski R., Dworniczak J., Szeffler K., Hac B., Gajewski Ł. Subaqueous geomorphology: options, tasks, needs Bulletin of Geography Physical Geography Series. 2019. Vol. 16. P. 89–97.
8. Souza L., Silva M., Hiller T., Wolfe D., Brison L.N. Reservoir monitoring using a multiphase echo sounder: A case study. IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics). 2015. P. 1–4.
9. Zheng L., Tian K. Detection of small objects in sidescan sonar images based on POHMT and Tsallis entropy. Signal Processing. 2018. Vol.142, iss. 3. P. 168–177.