

комбинированных гидрологических моделей на гибких сетках может дать существенный прирост надежности и точности прогноза паводков [2]. В следующих исследованиях планируется объединить эти модели и провести комплексную оценку точности прогноза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-45-596031 р\_НОЦ\_Пермский край).*

### **Библиографический список**

1. Костарев С.В., Ветров А.Л., Тиунов В.Е., Быков А.В. Синоптическая типизация случаев сильных дождей в Пермском крае // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №3(46). С. 56–64. doi 10.17072/2079-7877-2018-3-56-64

2. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области 2019 года. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 6. с. 48-65. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-6-4

УДК 910.3

И.И. Гайнуллин<sup>1</sup>, Б.М. Усманов<sup>2</sup>, [gainullis@gmail.com](mailto:gainullis@gmail.com)

<sup>1</sup>Университет Иннополис, г. Иннополис, Россия,

<sup>2</sup>Казанский Федеральный Университет, г. Казань, Россия

## **ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, КАК ФАКТОР РАЗРУШЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ**

Представлены результаты многолетних исследований, проведенные в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища (левобережья р. Кама), в месте расположения Измерского комплекса разновременных памятников археологии, Республика Татарстан. Проведена оценка скорости переформирования береговой линии, выявлены наиболее динамичные участки. В работе использованы архивные аэрофотоснимки, космоснимки высокого разрешения и результаты полевых исследований.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, переработка берегов, объекты археологического наследия, мультидисциплинарные исследования.

I. Gainullin<sup>1</sup>, B. Usmanov<sup>2</sup>, [gainullis@gmail.com](mailto:gainullis@gmail.com)

<sup>1</sup>Innopolis University, Innopolis, Russia,

<sup>2</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

## **KUIBYSHEV RESERVOIR SHORE TRANSFORMATION AS A FACTOR OF ARCHAEOLOGICAL HERITAGE OBJECTS DESTRUCTION**

The article presents the results of long-term research carried out in the shoreline zone of the Kuibyshev reservoir (left bank of the Kama river), at the location of the Izmer's complex of multitemporal archeological sites, territory the Republic of Tatarstan. The assessment of the shoreline transformation has been carried out, the most dynamic areas have been identified. In the work, we used archival aerial images, high-resolution satellite images and results of field surveys.

*Keywords:* Kuibyshev reservoir, coastal processing, objects of archaeological heritage, multidisciplinary research.

### ***Введение***

Куйбышевское водохранилище, крупнейшее в системе Волго-Камского каскада, возникло в 1957 г. в результате завершения строительства Жигулевской ГЭС. Водоохранилище охватывает территорию Чувашской, Татарской республик, Ульяновской и Самарской областей. Водоохранилище имеет площадь 6450 км<sup>2</sup>, объем воды 58 км<sup>3</sup>, длину около 510 км, среднюю глубину 9,3 м [4].

Создание водохранилища принципиально изменило весь ландшафтный облик дна долины Средней Волги. Под водой оказались пойма Камы и низкие надпойменные террасы ниже ее устья, вследствие чего при организации водохранилища и его эксплуатации было разрушено и затоплено значительное количество объектов историко-культурного назначения, включая археологическое наследие [1].

Еще со времен палеолита большие реки и их плодородные равнины притягивали людей, поскольку вода, несомненно, является самым важным ресурсом, и решающим фактором при размещении поселений. Всего вокруг Куйбышевского водохранилища выявлено 1289 объектов культурного наследия. Многие из них были утрачены или находятся под угрозой уничтожения [3].

В этих условиях мы предполагаем оценивать интенсивность разрушения археологических памятников, приуроченных к разрушающейся береговой линии, применяя методику изучения экзодинамических процессов в зоне воздействия крупных равнинных водохранилищ, с использованием анализа архивной аэрофотосъемки, данных ДЗЗ из космоса и результатов полевых исследований.

Для изучения был выбран комплекс памятников близ с. Измери, в Спасском муниципальном районе Республики Татарстан, включающий разновременные объекты от стоянок палеолита до средних веков, включая ныне разрушенное городище "Девичий городок".

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

Для оценки интенсивности переформирования берега использовались разные источники информации.

Организация оценки включает в себя следующие этапы:

- 1) выбор приоритетных участков, наиболее подверженных разрушению;
- 2) сбор информации (литературные, картографические источники, архивные данные, архивные аэро- и космоснимки и т. д.);
- 3) полевой этап, основной задачей которого являются топосъемка местности и береговой линии. В 2012, 2013 и 2014 гг. съемка проводилась при помощи тахеометра Trimble M3, в 2015 г. – с использованием ГНСС-приемника

Trimble Geoplotter Geo XR. Начиная с 2017 года полевые исследования включают съемку квадрокоптером DJI Phantom 4;

4) камеральная обработка (построение тематических карт), дешифрирование разновременных снимков (береговая линия, экзогенные процессы) с целью выявления опасности разрушения памятников;

5) включение данных в ГИС, обеспечивающую работу с полученными данными по памятникам археологии Республики Татарстан.

Одной из приоритетных задач, которую можно решить с помощью рассматриваемых методов, представляется оценка интенсивности разрушения памятников археологии вследствие переработки берегов Куйбышевского водохранилища. Основной мерой опасности переработки является ее разрушительная сила, которую достаточно полно характеризует интенсивность процесса, установленная в виде среднесуточных линейных, площадных или объемных скоростей берегоразрушений за единицу времени (м/год, га/год, м<sup>3</sup>/м·год и т.п.) с учетом общей пораженности ими береговой линии [2].

Для количественной оценки трансформации берегов использовался расширение-модуль ArcGIS – цифровая система анализа береговой линии (DSAS) [5].

### *Анализ результатов*

1. Палеолитическая стоянка "Беганчик" расположена на останце террасы, превращающемся при высоком уровне воды в остров, на левом берегу слияния рр. Камы и Волги, в устье реки Актай. Высота над уровнем моря составляет 54-60 м. Северная часть стоянки является очень крутым обрывом (высотой 5-7 м), который постоянно разрушается. Предыдущие предварительные исследования показали, что скорость смещения береговой линии составляет около 2–3 м/год. Полевые исследования проводились авторами в 2017 г.

В результате анализа архивной аэрофотосъемки 1958-1980 гг. и космосъемки последующих лет, было выявлено, что северная часть стоянки не подвергалась активной эрозии в период 1958-2014 гг., так как участок был защищен от воздействия волн островом, располагавшимся в 60-90 м к северо-западу от стоянки. Этим обусловлены относительно низкие значения (1,5-1,9 м/год) отступления береговой линии. После исчезновения этого острова скорость ежегодной эрозии значительно увеличилась. Исследования показали, что максимальных значений отступление береговой линии достигло в период 2014-2017 гг. – 5,68 м/год. Значения переработки берегов на данном участке в настоящее время могут характеризоваться как чрезвычайно опасные.

В отличие от северного берега, западный берег находился под прямым воздействием течения реки Кама, так что удельные потери земель на этом участке чрезвычайно высоки. По удельному показателю потерь земель можно отметить, что максимальные разрушения произошли в период с 1958 по 2008 г., когда примерно 70% восточной части участка было размывто, после чего процесс эрозии стабилизировался. Этого связано с тем, что часть силы течения реки была перераспределена по северо-западному участку, что объясняет резкое

уменьшение скорости берегоразрушения. Отступление береговой линии в целом сейчас стабилизировалось, варьируется в пределах 2 м/год. Таким образом, этот участок можно отнести к умеренно-опасной категории.

2. Комплекс Измерских памятников археологии (селищ и могильников) расположен на левом берегу Куйбышевского водохранилища, в 1,5 км к северо-западу от с. Измери. Ранее здесь также находился уникальный памятник, относящийся к Булгарской культуре (X-XIII вв.), городище "Девичий городок". В результате заполнения Куйбышевского водохранилища к 1980 г. памятник был полностью разрушен.

Комплексные исследования береговой линии у с. Измери с целью получения оперативных данных о современном состоянии памятников археологии в зонах интенсивных берегоформирующих процессов ведутся авторами с 2012 г.

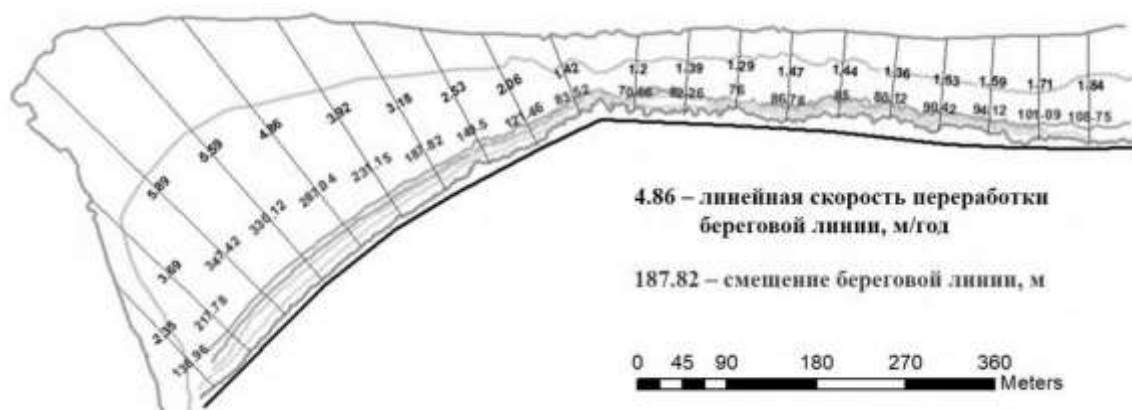


Рис. 1. Карта-схема смещения береговой линии на участке "Девичий городок"

Длина наблюдательного участка в районе разрушенного городища "Девичий городок" и селища "Девичий городок I" – 600 м. Береговой уступ на изучаемом участке абразионно-обвального типа, сложен толщей лессовидных суглинков глыбистой структуры, с многочисленными вертикальными трещинами, возникающими в процессе набухания и усадки суглинков. Берег сильно изрезан, имеет характерный клифовый уступ крутизной до 90° и высотой до 7–9 м.

Для количественной оценки смещения береговой линии в районе Измерского комплекса памятников использовалась цифровая система анализа береговой линии (DSAS) как расширение-модуль программного обеспечения ArcGIS. Основное применение DSAS заключается в использовании полилинейных слоев в качестве представления конкретного объекта береговой линии в определенный момент времени. На основе сопоставления позиций береговой линии составляется ряд статистических показателей ее изменений: изменение положения береговой линии (NSM), огибающие изменения береговой линии (SCE), скорость конечной точки (EPR), скорость линейной регрессии (LRR) и взвешенная скорость линейной регрессии (WLR).

Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии. Для проведения исследований по данным с модуля DSAS были построены карты-схемы смещения береговой линии на участке месторасположения городища "Девичий городок" и Измерских селищ и могильников по 3 периодам: в 1 периоде 22 года (1958-1980 гг.), во 2 – 32 года (1980-2012 гг.), а в 3 – 5 лет (2012-2017 гг.). Линейные скорости в мысовой части в каждом периоде в среднем остаются постоянно высокими, а в береговой части исследуемого участка они увеличиваются с каждым периодом. За весь период исследования максимальные значения переработки наблюдаются в мысовой части (рис. 1) – смещение береговой линии 347,42 м, а средняя скорость – 5,9 м/год, минимальные между мысовой частью и береговой – смещение 70,66 м, а скорость – 1,2 м/год.

### **Выводы**

Исследование является продолжением работы авторов по мониторингу состояния находящихся под угрозой исчезновения объектов культурного наследия, расположенных на береговой линии Куйбышевского водохранилища. Объединение архивных данных с результатами, собранными в результате полевых исследований, позволяет с высокой точностью определять скорости разрушения территории археологических памятников, расположенных на берегах крупных водоемов.

Для мониторинга состояния памятников, расположенных в зоне влияния Куйбышевского водохранилища, целесообразно использовать программы для автоматических расчетов данных для быстрого и эффективного обновления информации о состоянии объектов культурного наследия и информирования заинтересованных органов. Проводимые исследования могут стать частью программы по оценке рисков разрушения объектов культурного наследия при поддержке государственных органов охраны памятников и разработанной системе управления культурным наследием.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-09-40114 Древности. Страна городов"– комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами.*

### **Библиографический список**

1. *Гайнуллин И.И., Дёмина Ю.В., Усманов Б.М.* Опыт применения ГИС-технологий для оценки интенсивности разрушения археологических памятников в зоне влияния Куйбышевского водохранилища // Краткие сообщения Института археологии. М., 2012. Вып. 226. С. 54-63
2. *Рагозин А.Л., Бурова В.Н.* Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. 1995. С. 45–46.
3. *Nicu I.C., Usmanov B., Gainullin I. and Galimova M.* Shoreline Dynamics and Evaluation of Cultural Heritage Sites on the Shores of Large Reservoirs: Kuibyshev Reservoir, Russian Federation // Water. 2019. Vol. 11, P. 591.

4. *Usmanov B., Nicu I.C., Gainullin I. and Khomyakov P.* Monitoring and assessing the destruction of archaeological sites from Kuibyshev reservoir coastline, Tatarstan Republic, Russian Federation. A case study // *Journal of Coastal Conservation*. 2018. Vol. 22, P. 417–429

5. *Oyedotun T.D.T.* Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis // *British Society for Geomorphology. Geomorphological Techniques*. 2014. Chap. 3, Sec. 2.2.

УДК 910.3

А.М. Гафуров, О.П. Ермолаев, Б.М. Усманов, [gafurov.kfu@gmail.com](mailto:gafurov.kfu@gmail.com)  
*Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия*

### **ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА БЕРЕГАХ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ**

Целью работы являлось обследование и проведение мониторинга опасных экзогеодинамических процессов береговой полосы Куйбышевского водохранилища. В качестве основного метода использовались полевые инструментальные исследования, включающие топогеодезическую съемку характерных морфологических элементов склона с установкой грунтовых реперов, видео- и фотодокументация процессов. С 2019 г. в качестве основного метода исследования выбрана съемка беспилотным летательным аппаратом. Приведены результаты многолетних исследований участка у г. Тетюши, Республика Татарстан. В результате обработки ситуационных планов 2003-2006 гг. и результатов съемки с беспилотного летательного аппарата в 2019 г. получены количественные данные об интенсивности склоновых процессов в месте схода крупного оползня.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, оползни, БПЛА, инструментальные методы.

A. Gafurov, O. Yermolaev, B. Usmanov, [gafurov.kfu@gmail.com](mailto:gafurov.kfu@gmail.com)  
*Kazan Federal University, Kazan, Russia*

### **ASSESSMENT OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE KUYBYSHEV RESERVOIR BANKS USING INSTRUMENTAL METHODS**

The aim of the work was to survey and monitor dangerous exogeodynamic processes on the Kuibyshev reservoir bank. Field instrumental studies including topographic survey of specific morphological elements of the slope with ground control points, video and photo records of the processes were used as the main method. Since 2019, unmanned aerial vehicle surveys have been chosen as the main method of research. The paper presents the results of long-term studies of the site near Tetyushi, Republic of Tatarstan. As a result of 2003-2006 situational plans processing and results of UAV survey in 2019 we obtained quantitative data on the intensity of slope processes in the mass landslide site.

*Keywords:* Kuibyshev Reservoir, landslides, UAV, instrumental methods.