

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩ И ИХ ВОДОСБОРОВ**

## **MODERN PROBLEMS OF RESERVOIRS AND THEIR CATCHMENTS**

Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
(г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.)



Пермь 2021

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.

## ***Введение***

Создание водохранилищ приводит к принципиальной перестройке природных систем. Изменяется водный сток и режим реки, сток взвешенных наносов, создается особенный микроклимат, трансформируются береговые ландшафты. На порядки увеличиваются скорости береговых экзогенных процессов. На акватории водохранилища в связи с увеличением площади водного зеркала резко усиливаются абразионные и оползневые процессы. Часто именно этот комплекс рельефообразующих процессов (вместе с эрозионными и гравитационными) применительно к водохранилищам называют процессом переработки берегов. Из всех перерабатываемых берегов водохранилищ России приблизительно 78% разрушаются по абразионному типу, а остальные 22% – по абразионно-оползневому, абразионно-карстовому и другим типам [2]. При разрушении берегов в водохранилище поступает большое количество наносов. Это приводит к быстрому его заилению, уменьшению глубин и ухудшению экологического состояния водоема.

Объектом исследования является Куйбышевское водохранилище – одно из крупнейших водохранилищ мира. Исследования акцентированы на абразионно-оползневых процессах как самых значительных по площади проявления и интенсивности в переработке берегов. Развитие абразионных и оползневых склоновых процессов вблизи населенных пунктов часто приводит к чрезвычайным ситуациям, связанным с угрозой разрушения зданий, сооружений и коммуникаций, нарушению и изъятию из землепользования сельскохозяйственных и прочих земель. В связи с этим, необходима разработка эффективных методов мониторинга этих опасных экзогенных процессов.

В настоящее время существует большой набор методов для регистрации и оценки интенсивности экзогенных процессов. Одним из наиболее широко используемых и известных методов мониторинга оползневых процессов является наземная съемка с помощью тахеометров. Использование постоянных реперов, на основе которых осуществляется позиционирование базовой станции, позволяет осуществлять измерения динамики оползневого процесса с миллиметровой точностью. Преимуществом данного метода съемки является высокая точность, недостатком – съемка занимает много времени, следовательно, можно снять ограниченное количество точек, расположенных в доступных местах.

Ни один из классических методов не дает исчерпывающей информации по количественной характеристике и механизму опасных процессов на склонах. Наиболее эффективными для изучения оползневых процессов представляются методы, обеспечивающие моделирование рельефа труднодоступных оползневых участков, и возможность проводить повторную съемку за счет точной привязки одновременных данных.

Среди всех современных методов мониторинга экзогенных процессов стремительно развиваются методы с использованием беспилотных летательных аппаратов. Возможность получения трехмерной (3D) информации о местности с высокой точностью и высоким пространственным разрешением открывает

новые горизонты исследования оползневых процессов [3]. Использование современных ГНСС-приемников для регистрации наземных марок и новых ГНСС-коптеров позволяет достигать погрешности привязки, не превышающей 3-5 мм по высоте, чего более чем достаточно для задач построения рельефа интенсивно перерабатываемых берегов.

В статье показаны результаты оценки интенсивности абразионных и оползневых процессов на участке правого берега Куйбышевского водохранилища у пристани г. Тетюши (Республика Татарстан). В XI–XIV вв. Тетюши были одним из городов Волжской Булгарии [1], а затем Булгарского улуса Золотой Орды, археологические остатки которого расположены в черте современного города. Возникновение городища именно на этом мысу было связано и с наличием поблизости источника воды.

Город находится в понижении между двумя массивами среднего плато правобережья Волги. Это понижение связано с плиоценовой долиной одного из верховий реки Улема (правого притока Свияги), срезанной волжским склоном в процессе его отступления на запад. Волжский склон у Тетюш достигает высоты 90 м с крутыми (до 25–30°) склонами. Такие высоты, расчлененные оврагами, имеют гористый характер, что отражается и в местных названиях (Тетюшские горы).

Главная геологическая достопримечательность Тетюш – развитие в толще верхнего отдела пермской системы резко выраженных линейных складок, которые давно исследуются, а их происхождение обсуждается учеными многие десятилетия. Крутизна волжского склона обусловила здесь и интенсивное развитие склоновых гравитационных процессов оползней, а также обвалов и осыпей. Особо распространены оползни разного типа, создающие угрозу отдельным сооружениям в прибрежной части городской застройки. В 2002 г. здесь сошел крупный оползень (рис. 1), что и обусловило интерес к изучению данного склона.

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

Для оценки интенсивности абразионно-оползневых процессов на берегах водохранилища использовались разнообразные источники информации и методы наблюдения. В качестве основного метода изучения переформирования берега выбран анализ смещения бровки оползневого уступа. В 2002, 2003, 2005 и 2006 гг. проводилась топографическая съемка в условной системе координат. Для обеспечения повторности съемки с помощью тахеометров была создана сеть опорных точек-реперов, на основе которой производилось позиционирование. Координаты опорных точек фиксировались с помощью тахеометра Trimble M3, что обеспечивало высокую точность привязки результатов повторной съемки.



Рис. 1. Наблюдательный участок в 2006 г. (слева) и 2009 г. (справа)

С 2019 г. для съемки участка используется беспилотный летательный аппарат (БПЛА) DJI Phantom 4. Съемка осуществлялась с использованием наземных опорных точек, полученных с помощью ГНСС-приемника Emlid Reach RS+, работающего в режиме кинематики реального времени от базовой станции, расположенной на расстоянии не более 20 км.

Для количественной оценки смещения береговой линии использовалась цифровая система анализа береговой линии (DSAS) как расширение-модуль программного обеспечения ArcGIS. 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) [4]. Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии [5]. Была создана база геоданных в программе ArcGIS, в которую были внесены линии бровки. В качестве базовой линии была взята линия бровки стенки срыва оползня 2003 г., на основе которой были выбраны следующие параметры построения трансект-разрезов: расстояние между трансектами – 1 м, радиус поиска – 300 м. По полученным трансектам в автоматическом режиме были рассчитаны показатели линейной скорости переработки (м/год).

#### ***Анализ результатов***

В связи с большой крутизной исследуемого склона и глинисто-мергельным составом отложений здесь наблюдается активное проявление широкого спектра экзогенных геодинамических процессов (ЭГП) (рис. 1). По обнаженным крутым уступам берегов происходят осыпание и обваливание грунта. Однако доминирует сложный комплекс оползневых процессов. У подножия склона наблюдается большое тело старого оползня и язык оползня произошедшего в 2002 г. Анализ совмещенной топосхемы с ситуацией на 2003, 2005 и 2006 гг.

показал, что по сравнению с периодом 2003-2005 гг., когда берег на протяжении 30 м "отступил" на расстояние от 1 до 6 м, за период 2005-2006 гг. бровка отступила на незначительное расстояние – 0,5-1 м. Средняя скорость отступления берега на участке около пристани г. Тетюши за время ведения мониторинга методом топографической съемки составляет от 0,5 до 2 м/год. Скорости изъятия земель на участке Тетюши – пристань снижаются с 1798 м<sup>2</sup> в год схода оползня, до 100 м<sup>2</sup>/год в период с 2003-2005 гг., и, наконец, 40 м<sup>2</sup> за 2006 год.

В результате совмещения ортофотоплана, полученного с помощью БПЛА в 2019 г., с наблюдениями 2003-2006 гг. (рис.2А) была создана геобазы данных положения верхней бровки стенки срыва оползня, на основе которых были рассчитаны изменения скорости обрушения стенки срыва оползня (рис.2Б). Сопоставление разновременных срезов показало тенденцию к замедлению средних скоростей отступления стенки срыва – например, с 2003 по 2005 гг. средняя скорость отступления равнялась 0,98 м/год, к 2006 г. снизилась до 0,75 м/год и еще больше снизилась до 0,48 м/год к 2019 г.

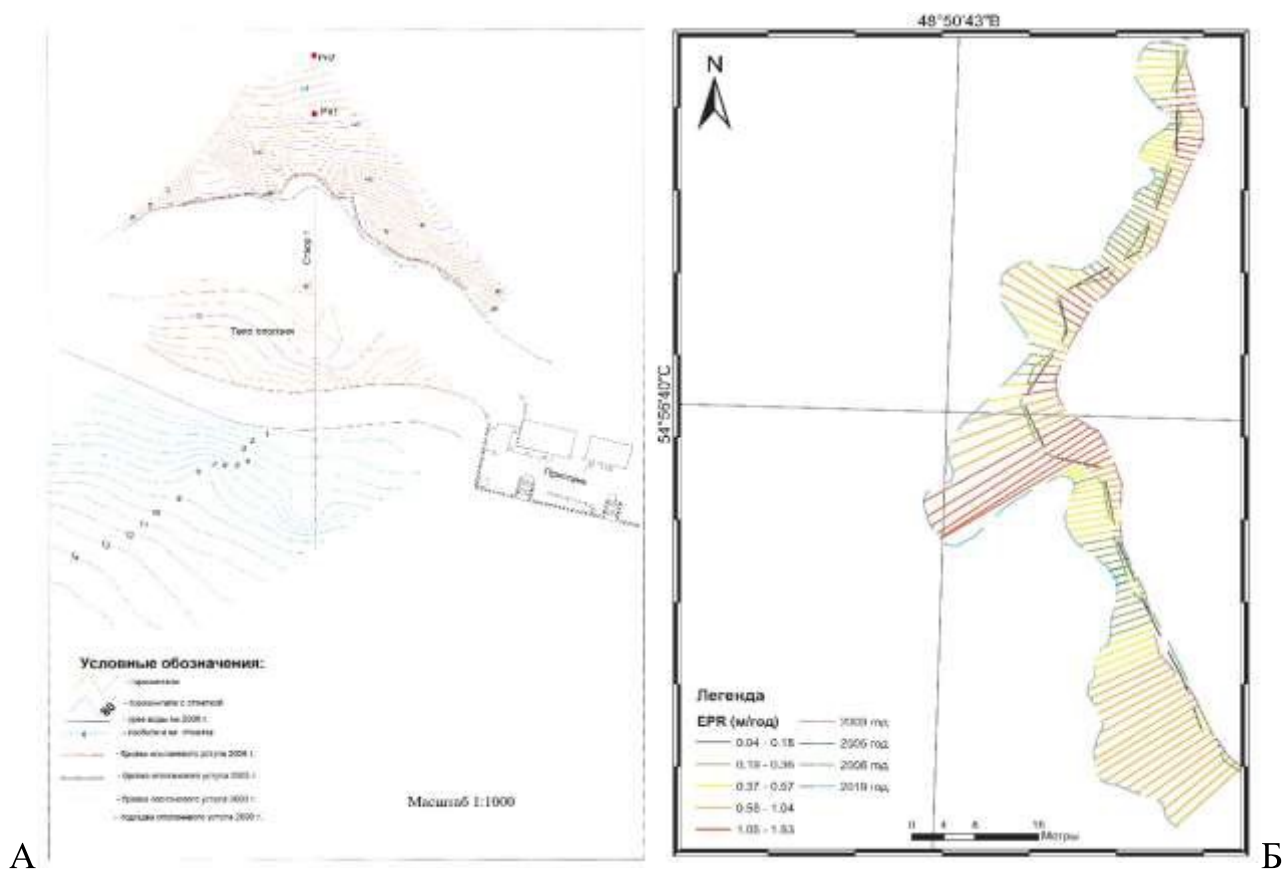


Рис.2. Результаты тахеометрической съемки в период 2003-2006 гг. (А) и измерения скорости отступления бровки оползня в 2005, 2006 и 2019 гг. (Б)

Со стороны водохранилища тело старого оползня размывается под действием волн, вследствие чего грунтовые массы смещаются вниз по абразионному уступу высотой 3-4 м. Крутизна уступа 40-80°. По полученным полевым данным, бровка уступа сместилась в сторону водохранилища в результате подмыва тела оползня. Продукты разрушения волновыми процессами

транспортируются в водохранилище и, аккумулируясь, образуют прибрежную отмель.

### **Выводы**

Проведенные исследования показали, что пространственная динамика границ стенки срыва оползневого тела на исследуемом участке имеет устойчивый тренд к уменьшению скорости отступления, начавшийся в период 2002-2006 гг., связанный с постепенным выравниванием профиля склона после сошедшего в 2002 г. крупного оползня и относительной стабилизацией склоновых процессов. Тем не менее, новые наблюдения показали, что склон все еще не стабилизировался, сохраняя потенциал к разрушению.

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

### **Библиографический список**

1. *Иванов М. А.* и др. Использование архивных пространственных данных при анализе истории землепользования территории болгарских городищ Предволжья Республики Татарстан // Региональные Геосистемы. 2020. Т. 44. № 4. С. 388–403.
2. *Руденко К.А.* Тетюшское II городище в Татарстане. Казань: Изд-во «Заман», 2010. 152 с.
3. *Gafurov A.M.* Small catchments DEM creation using Unmanned Aerial Vehicles // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2018. Т. 107. № 1. С. 012005.
4. *Himmelstoss E.A.* и др. Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Version, 2018.
5. *Oyedotun T.D.* T. Shoreline geometry: DSAS as a tool for Historical Trend Analysis. // Geomorphol. Tech. Online Ed. 2014.

УДК 556.53

О.В. Горелиц<sup>1</sup>, Г.С. Ермакова<sup>1</sup>, В.Н.Крыжов<sup>2</sup> [gorelits@mail.ru](mailto:gorelits@mail.ru)

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт им.Н.Н. Зубова, г. Москва

<sup>2</sup>Росгидромет, г. Москва, Россия

## **АНОМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРИТОКА К ВОДОХРАНИЛИЩАМ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2019-2020 ГГ.**

Рассмотрены особенности режима приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада в осенне-зимний период 2019-2020 гг. На основе анализа многолетних характеристик за весь период эксплуатации каскада дана оценка аномального превышения притока в октябрь-марте 2019-2020 гг. Показана связь аномалий осенне-зимнего притока к каскаду с осенней и