

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

16–18 сентября 2020 г., г. Пермь

### Том I

Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных  
процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии



Пермь 2020

УДК 911.3/3:528.9  
ББК 28.5+26.1  
Ц752

Ц752 Цифровая география : материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.) : в 2 т. Т. 1 : Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии / научные редакторы С. В. Пьянков, С. А. Бузмаков, Н. А. Калинин, Н. Н. Назаров, С. В. Копытов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 477 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-3504-7  
ISBN 978-5-7944-3505-4 (Т. 1)

Рассматриваются вопросы использования данных дистанционного зондирования Земли при изучении различных природных процессов, объектов и явлений; теоретические и методические аспекты геоинформационного обеспечения и инфраструктуры пространственных данных при решении задач устойчивого развития и рационального природопользования. Особое внимание уделено решению водно-экологических, геоморфологических, метеорологических проблем, опыту разработки веб-картографических сервисов.

Конференция посвящена 65-летию географического факультета Пермского университета и 100-летию со дня рождения первого декана – профессора Б.А. Чазова.

УДК 911.2/3: 528.9  
ББК 28.5+26.1

Digital geography: proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation (Perm, September, 16–18, 2020): in 2 vols. Vol.1: Digital and GIS–technologies in the study of natural processes, ecology, nature management and hydrometeorology / Scientific editors S.V. Pyankov, S.A. Buzmakov, N.A. Kalinin, N.N. Nazarov, S.V. Kopytov; Perm State University. – Perm, 2020. – 477 pp.: ill.

There are considered the questions of use of remote sensing data in the study of various natural processes, objects and phenomena; theoretical and methodical aspects of geoinformation support and spatial data infrastructure in solving problems of sustainable development and rational nature management. Particular attention is paid to the solution of water-ecological, geomorphological, meteorological problems, the experience of developing web cartographic services.

The conference is dedicated to the 65th anniversary of the Faculty of Geography of Perm State University and the 100th anniversary of the birth of the first dean, Professor B.A. Chazov.

*Печатается по решению оргкомитета конференции*

*Мероприятие проводится при финансовой поддержке РФФИ,  
проект № 20-05-20035*

Научные редакторы:  
С.В. Пьянков, С.А. Бузмаков, Н.А. Калинин, Н.Н. Назаров, С.В. Копытов

ISBN 978-5-7944-3504-7  
ISBN 978-5-7944-3505-4 (Т. 1)

© ПГНИУ, 2020

Низкая эффективность методов машинного обучения для решения данной задачи говорит о необходимости усложнения моделей и использования других архитектур для улучшения точности вы-

явления облачности на снимках высокого пространственного разрешения. Более сложная архитектура в данном исследовании не использовалась, в связи с недостаточностью вычислительных ресурсов.

#### Библиографический список

1. Алгоритм FMask, реализация для Python [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pythonfmask.org/en/latest/> (дата обращения: 21.01.2020).
2. Camps-Valls, G. Machine Learning in Remote Sensing Data Processing // Proceedings of the 2009 IEEE Signal Processing Society Workshop. United States, 2009.
3. Heenkenda M., Joyce K., Maier S., Bartolo R. Mangrove Species Identification: Comparing WorldView-2 with Aerial Photographs // Remote Sensing. 2012. Vol. (6). P. 6064–6088.
4. Improving Cloud Detection with Machine Learning [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d-7cf13> (дата обращения: 21.01.2020).
5. Level-1C Cloud masks Sentinel-2 MSI Technical guide. URL <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/cloud-masks> (дата обращения: 21.01.2020).
6. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree / Guolin K. [and others] // Proceeding of 31st Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). California, United States. 2017. P. 3149–3157.
7. Qiu S., Zhu Z., Binbin H. Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsat 4–8 and Sentinel-2 imagery // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol (231).
8. Sentinel cloud detector. URL: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (дата обращения: 21.01.2020).
9. Zhe Z., Curtis E.W. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol (118). P. 83–94.

УДК 904. 910.27

Б.М. Усманов<sup>1</sup>, И.И. Гайнуллин<sup>2</sup>, Д.Р. Шарипова<sup>1</sup>, busmanof@kpfu.ru  
<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия  
<sup>2</sup>АНО «НИЦ «Страна городов», г. Казань, Россия

#### МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА РАЗРУШЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ НА БЕРЕГУ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В статье представлены исследования, проведенные в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища, в месте расположения средневекового городища периода Волжской Булгарии, 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 берега, средневековое городище, цифровая система анализа береговой линии.

B. Usmanov<sup>1</sup>, I. Gainullin<sup>2</sup>, D. Sharipova<sup>1</sup>, busmanof@kpfu.ru  
<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia  
<sup>2</sup>Research Centre "Country of Cities", Kazan, Russia

#### MONITORING AND ASSESSING OF ARCHAEOLOGICAL SITES DESTRUCTION ON THE KUIBYSHEV RESERVOIR SHORE

The paper presents the research undertaken in the coastal area of Kuibyshev Reservoir in the location of the Volga Bulgaria medieval fortified settlement, Republic of Tatarstan, Russia. The aim of the research is to assess the erosion rate of the shoreline, to identify the most dynamic parts. Soviet aerial images, high-resolution satellite images and field surveys were used for this study.

*Keywords:* Kuibyshev reservoir, shore erosion, medieval hillfort, digital shoreline analysis system.

**Введение.** Куйбышевское водохранилище является крупнейшим водохранилищем в системе Волго-Камского каскада. Среди искусственных водохранилищ России почти по всем показателям оно отличается самыми высокими значениями переформирования прибрежной зоны. Именно поэтому необходимо осуществлять постоянный сбор информации о состоянии и тенденциях развития опасных экзогенных процессов, представляющих опасность для разрушения берегов. Одним из последствий развития таких процессов является разрушение археологических памятников. Актуальными также остаются вопросы, связанные с изъятием больших площадей из землепользования, несоответствие границ кадастрового деления и реального положения береговой линии.

**Район исследования.** Район исследования расположен в Спасском муниципальном районе Республики Татарстан, на левом берегу Куйбышевского водохранилища, в 1,5 км к северо-западу от с. Измери [5]. Ранее здесь находился уникальный памятник, относящийся к Булгарской культуре (X–XIII вв.), укрепленное поселение «Девичий городок». В результате за-

полнения Куйбышевского водохранилища памятник был полностью разрушен.

Комплексные исследования береговой линии у с. Измери с целью получения оперативных данных о современном состоянии археологических памятников в зонах интенсивных берегоформирующих процессов ведутся с 2012 г. 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 [2].

**Материалы и методика.** Для оценки интенсивности переформирования берега использовались разные источники информации. Положение береговой линии в 1958 и 1980 годы получено по данным архивной аэрофотосъемки (спецфонд библиотеки КФУ); в 2012, 2013 и 2014 гг. – при помощи

тахеометра Trimble M3. В 2015 году съемка берегового уступа проводилась с использованием ГНСС-приемника Trimble Geoexplorer Geo XR. Начиная с 2017 года полевые исследования включают съемку квадрокоптером DJI Phantom 4.

Для количественной оценки смещения береговой линии 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) [3]. Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии [4].

Была создана база геоданных в программе ArcGIS, в которую были внесены слои береговых линий (shorelines) в виде .shp-файлов. Затем на береговой части строилась базовая линия (baseline), на ос-

нове которой были выбраны следующие параметры построения трансект-разрезов (transects): расстояние между трансектами – 10 м, их длина – 380 м. В автоматическом режиме были построены трансекты, в пределах крайних положений береговой линии (1958 г. и 2017 г.)

По полученным трансектам в автоматическом режиме были рассчитаны такие показатели береговых линий, как линейная скорость переработки (м/год), смещение береговой линии (м) и следующие статистические характеристики: коэффициенты линейной регрессии скорости, взвешенной линейной регрессии скорости, их коэффициенты детерминации, стандартные ошибки и доверительные интервалы. Также получена таблица данных о местах пересечения трансект с береговой линией за каждый год.

**Анализ полученных результатов.** Для проведения исследований по данным с модуля DSAS были построены карты-схемы смещения береговой линии по 3 периодам (рис. 1): в 1 периоде 22 года, во 2 – 32 года, а в 3 – 5 лет. Линейные скорости в мысовой части в каждом периоде в среднем остаются постоянно высокими, а в береговой части исследуемого участка они увеличиваются с каждым периодом. Исходя из этого следует, что интенсивность переформирования берега растет.

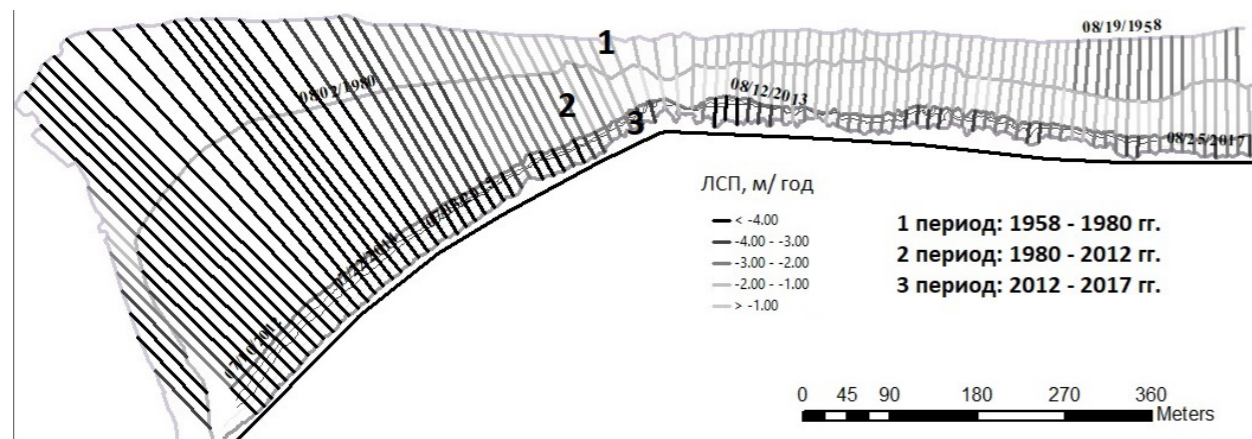


Рис. 1. Карта-схема смещения береговой линии

За весь период исследования максимальные значения переработки наблюдаются в мысовой части (рис. 2) – смещение береговой линии 347,42 м, а средняя скорость – 5,9 м/год, минимальные между мысовой частью и береговой – смещение 7,66 м, а скорость – 1,2 м/год.

По статистическим данным из модуля DSAS была построена таблица средних скоростей переработки по периодам вре-

мени, по стадиям развития переработки и по участкам (мыс и берег). Для оценки интенсивности переработки берега на исследуемом участке использовалась типизация берегов по степени опасности развития процесса их переработки, предложенная А.Л. Рагозиным [1]. Как можно увидеть (табл. 1) интенсивность переработки довольно сильно возросла за 5 лет и из опасной стала весьма опасной.

На публичной кадастровой карте видно, что граница кадастрового деления не совпадает с границей берега по космоснимку. За последние несколько лет часть берега разрушилась (по границе

линии можно предположить, что данные кадастровой карты последний раз обновлялись в 2015–2016 гг.), их землепользования изъято около 4 га земель сельскохозяйственного назначения (рис. 3).

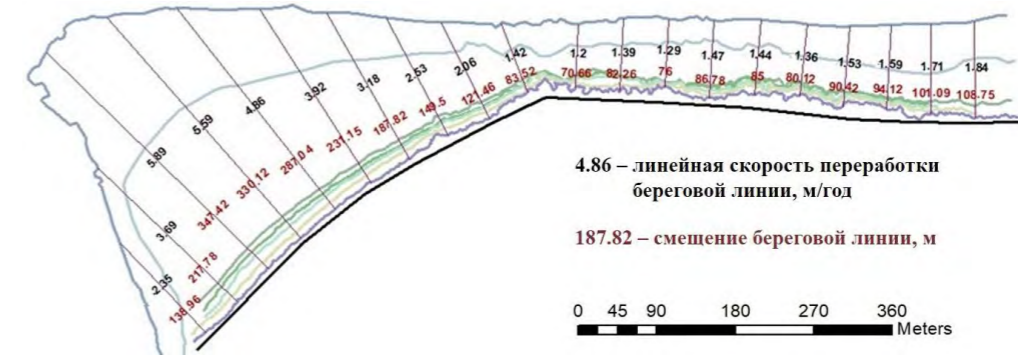


Рис. 2. Карта смещений и скоростей переработки береговых линий по трансектам с шагом в 50 м за весь исследуемый период времени

Таблица 1. Значения средних линейных скоростей по участкам и стадиям развития, оцененных по степени опасности

| Период    | Лет в периоде | Участок | Средняя скорость переработки берегов, м/год | Средняя скорость переработки по отдельным участкам, м/год |          |
|-----------|---------------|---------|---|---|----------|
|           |               |         |   | 1 стадия  | 2 стадия |
| 1958-1980 | 22            | мыс     | 2.7   | 3.7   | –        |
|           |               | берег   |   | 1.7   | –        |
| 1980-2012 | 32            | мыс     | 2.3   | –   | 3.5      |
|           |               | берег   |   | –   | 1.2      |
| 2012-2017 | 5             | мыс     | 3.8   | –   | 5        |
|           |               | берег   |   | –   | 2.8      |
| 1958-2017 | 59            | –       | 2.6   | –   | –        |

|  |                |  |                  |
|--|----------------|--|------------------|
|  | Весьма опасный |  | Умеренно опасный |
|  | Опасный        |  | Малоопасный      |

**Заключение.** Переформирование берегов водохранилищ является сложным процессом, который зависит от многих природных и антропогенных факторов. Поскольку высокая интенсивность их переработки приводит к негативным последствиям, необходимо осуществлять постоянный сбор информации о состоянии и тенденциях развития экзогенных процессов, представляющих опасность для разрушения берегов. Проблема пе-

реформирования берегов водохранилищ актуальна и для кадастровой деятельности. Необходим постоянный сбор данных и мониторинг для корректировки границ. Для того, чтобы отслеживать постоянные изменения, и чтобы сведения на кадастровых картах были актуальными, следует осваивать программы для автоматических расчетов данных и своевременно вносить полученные результаты на карты.



Рис. 3. Исследуемый участок на публичной кадастровой карте

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

#### Библиографический список

1. 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.
2. Gaynullin I., Sitdikov A., Usmanov B. Destructive abrasion processes study in archaeological sites placement (Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs, Russia) // International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences & Arts SGEM. Bulgaria. 2014. P. 339–346.
3. Himmelstoss E.A. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide / Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change. 2009.
4. 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.
5. Usmanov B., Nicu I.C., Gainullin I. 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, Is.2. P. 417–429.

УДК 528.7; 551.32

И.В. Флоринский<sup>1</sup>, Т.Н. Скрыпицына<sup>2</sup>, Д.П. Бляхарский<sup>3</sup>,  
О.Т. Ишалина<sup>3</sup>, А.С. Киселева<sup>2</sup>, iflor@mail.ru

<sup>1</sup>Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Пушкино, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

#### ЦИФРОВОЙ МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКОВ ПО ДАННЫМ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В статье кратко рассматривается вновь начатый российско-китайский проект, целью которого является разработка теории и методики цифрового моделирования и анализа микрорельефа поверхности ледников по данным беспилотной аэрофотосъемки сверхвысокого разрешения. Аргументируется актуальность исследования, приводится обзор основных работ по применению цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии в гляциологии. Описаны цели и задачи, выполняемые российской стороной, а также используемые материалы и методы.

**Ключевые слова:** моделирование рельефа, геоморфометрия, фотограмметрия, беспилотная аэрофотосъемка, ледник.

I. Florinsky<sup>1</sup>, T. Skrypitsyna<sup>2</sup>, D. Bliakharskii<sup>3</sup>,  
O. Ishalina<sup>3</sup>, A. Kiseleva<sup>2</sup>, iflor@mail.ru

<sup>1</sup>Institute of Mathematical Problems of Biology, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

#### DIGITAL MICROTOPOGRAPHY OF GLACIERS FROM UNMANNED AERIAL SURVEY DATA: STATEMENT OF THE PROBLEM

We briefly describe a newly launched Russian-Chinese project aimed at developing a theory and methodology for digital modeling and analysis of the glacier microtopography using very high resolution data from unmanned aerial surveys. We argue the relevance of the study and review key publications on the application of digital terrain modeling and geomorphometry in glaciology. Finally, we discuss the goals and tasks performed by the Russian side, as well as materials and methods used in the study.

**Keywords:** terrain modeling, geomorphometry, photogrammetry, unmanned aerial survey, glacier.

**Актуальность.** Области оледенения являются важными объектами междисциплинарных исследований. Это связано с рядом политических, экономических и научных факторов.

Во-первых, одной из важнейших задач государства является обеспечение развития территорий Арктики – зоны стратегических интересов России. Не менее важной геополитической задачей является обеспечение присутствия Российской Федерации в Антарктическом регионе. Серьезным политическим инструментом становится доступ к источникам пресной воды, которыми являются ледники.

Во-вторых, области оледенения оказывают существенное влияние на изменения климата на глобальном и региональном уровне. С другой стороны, динамика ледников является косвенным индикатором региональных климатических изменений.

В-третьих, ледники находятся в непрерывном движении, что приводит к постоянным изменениям геометрии их поверхностей, что проявляется на разных масштабных уровнях (от макро- до микрорельефа). Эти изменения могут быть как медленными, так и катастрофическими. В частности, на поверхности ледников образуются трещины, которые представляют опасность для исследователей. В этой связи актуально безопасное изучение, оперативный мониторинг и компьютерное моделирование ледников.

В последней четверти прошлого века произошло изменение подходов наблюдения за ледниками: от полевых работ к дистанционному зондированию. Для этих целей все чаще применяется беспилотная аэрофотосъемка (БАФС). Одним из перспективных подходов является изучение ледников с использованием их цифровых