

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



# **БЕСПИЛОТНЫЕ АППАРАТЫ «БПЛА – 2024»**

**Сборник статей  
Международного молодежного форума**



**Минск 2024**

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»



# БЕСПИЛОТНЫЕ АППАРАТЫ «БПЛА – 2024»

Сборник статей  
Международного молодежного форума

Минск, 22–26 апреля 2024 г.



Минск 2024

УДК 623.746.4-519(082)  
ББК 39.52я43  
Б53

**Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»** : сб. ст. Междунар. молодежного форума. Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за изд. И. В. Войтов. Минск : БГТУ, 2024. – 294 с. ISBN 978-985-897-184-7.

В издании представлены научные статьи, освещающие вопросы применения в различных сферах беспилотных летательных аппаратов, особенности их создания и управления. Рассмотрены общие вопросы использования БПЛА, особенности визуализации и распознавания объектов, математическое моделирование поведения БПЛА, особенности конструирования и изготовления деталей и узлов.

Адресовано практикам, преподавателям, научным работникам, аспирантам, студентам I и II ступени получения высшего образования, интересующимся современным состоянием и перспективами развития общества, науки и экономики.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*ВОЙТОВ Игорь Витальевич*, ректор Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор  
(председатель);

*АЛИБАЕВ Тимур Лазович*, ректор Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ;

*ФЛЕЙШЕР Вячеслав Леонидович*, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент;

*КАЛИНИЧЕНКО Александр Сергеевич*, директор центра «Научно-технологический парк БГТУ» Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук.

ISBN 978-985-897-184-7

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2024

– невысокий уровень шума, что обеспечивает сравнительно низкий фактор беспокойства диких животных и возможность скрытного наблюдения, не оказывая влияния на их поведение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новость БелТА от 01.06.2023. Ссылка в Интернет: <https://www.belta.by/society/view/sistema-osobo-ohranjaemyh-prirodnyh-territorij-belarusi-vkljuchaet-1338-objektov-569652-2023/>
2. Статья 20 Закона Республики Беларусь от 15 ноября 2018 г. № 150-3 "Об особо охраняемых природных территориях".
3. Povlsen P. et al. Using Drones with Thermal Imaging to Estimate Population Counts of European Hare (*Lepus europaeus*) in Denmark. *Drones* 2023, 7(1), 5; <https://doi.org/10.3390/drones7010005/>
4. Галковский С. Дрон считает стадо. Советская Белоруссия №228 от 29.11.2014.
5. Мильто А. Настоящий робот для охраны заказника. Белорусская лесная газета №10 от 14.03.2024.
6. Aucone E. et al. / *Science Robotics*, 2023. DOI: 10.1126/scirobotics.add5762

УДК 911.9+910.27

## ПРОГНОЗНОЕ ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГС “ЗАПАДНАЯ БЕРЕЗИНА”)

А.Л. КИНДЕЕВ, А.А. САЗОНОВ, И.С. КНЯЗЕВ, А.А. РАУШ  
Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Цифровая почвенная картография, как отдельное направление почвоведения, была сформирована в 2003 г. [1], заложенные идеи были реализованы в концептуальной модели SCORPAN (Soil (почва), Climate (климат), Organisms (организмы), Relief (рельеф), Parent material (почвообразующие породы), Age (возраст территории), Spatial position (положение в пространстве)). Модель ориентирована на практическое применение для создания цифровых почвенных карт.

С появлением общедоступных цифровых моделей рельефа (ЦМР) и развитием геоинформационных технологий получила развитие концепция прогнозного почвенного картографирования (ППК), суть которой сводится к возможности на основе небольшого числа измерений почвенных свойств прогнозировать их пространственную дифференциацию на определенной территории [4].

Ряд исследований последних лет показывает, что из всех факторов почвообразования главенствующую роль в прогножном почвенном картографировании отводится рельефу [2]. При этом особую важность представляют собой производные характеристики рельефа, рассчитываемые по ЦМР. Флоренским И. В. и соавторами было определено, что корреляционные взаимосвязи между почвенным покровом и рельефом местности проявляются через морфометрические показатели третьего порядка [3, 4], что делает выбор предикторов важным этапом прогнозного почвенного картографирования.

В связи с этим, определяющую роль в итоговом моделировании играет точность исходной ЦМР. Достижение наилучших результатов в построении ЦМР может быть достигнуто с помощью воздушного лазерного сканирования, позволяющего “увидеть” рельеф с геодезической точностью под растительность и в труднодоступных местах (пойменные и заболоченные территории, буреломы и тд.). Такая информация позволяет выделять мелкоконтурные почвенные ареалы, как у автоморфных почв, так и полугидроморфных в ложбинах стока, гидроморфных на затопляемых территориях.

В настоящем исследовании воздушное лазерное сканирование осуществлялось с применением беспилотного летательного аппарата (БЛА) “DJI Matrice 300 RTK”, оснащенного лазерным сканером “DJI Zenmuse L1”. В результате проведенного обследования и обработки данных была получена цифровая модель рельефа на территорию географической станции БГУ «Западная Березина» (рис. 1). Для фильтрации шумов, вызванных избыточной детальностью модели, полученный растр был генерализован до разрешения в 3 метра на пиксель.

При разработке модели ППК в качестве предикторов были отобраны наиболее часто используемые в отечественных и зарубежных исследованиях морфометрические показатели рельефа, такие как уклон, общая кривизна поверхности, профильная кривизна поверхности, тангенциальная кривизна поверхности, кривизна Казаратти, Гауссова кривизна поверхности, кривизна контура, геодезическое кручение изолиний, направление потока, топографический позиционный индекс в окрестности 3 и 5 пикселей, топографический индекс влажности, индекс баланса геомассы, индекс сходимости (конвергенции), а также спектральные

индексы MTVI2, RTVICore и SAVI. Спектральные индексы рассчитывались по данным многозональной космической съемки. Предикторы были объединены в едином многомерном наборе растровых данных, формируя таким образом многомерное пространство признаков.

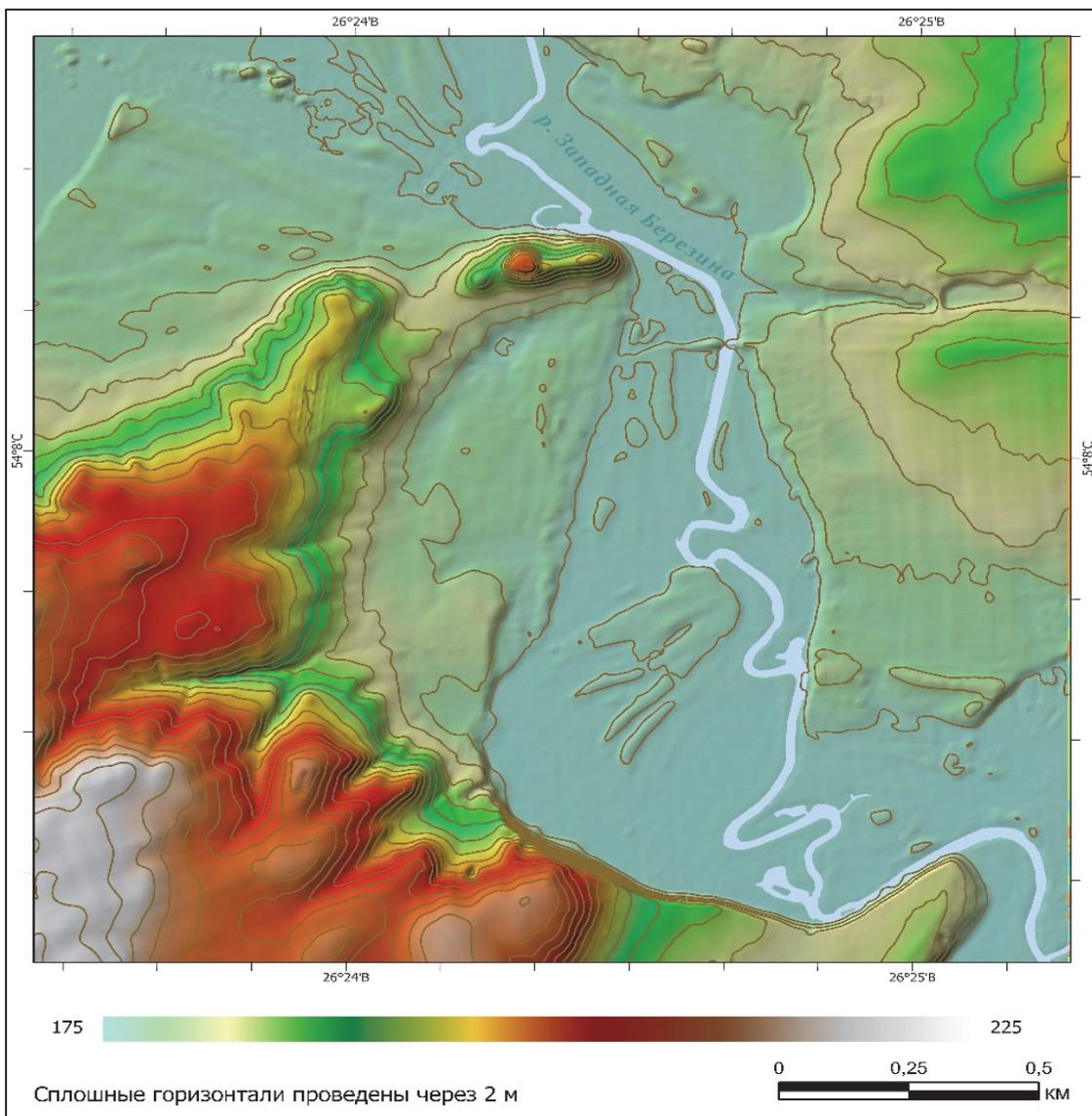


Рис. 1. Цифровая модель рельефа на исследуемый участок

В основе предлагаемой методики лежит метод машинного обучения «случайный лес», реализованный в ГИС ArcGIS Pro, который хорошо себя зарекомендовал в задачах классификации изображений. Для обучения модели использовались данные о почвенных разрезах, полученные во время проведения учебных полевых почвенных практики студентами БГУ. Результатом моделирования стала карта почв исследуемого участка на уровне типов (рис. 2)

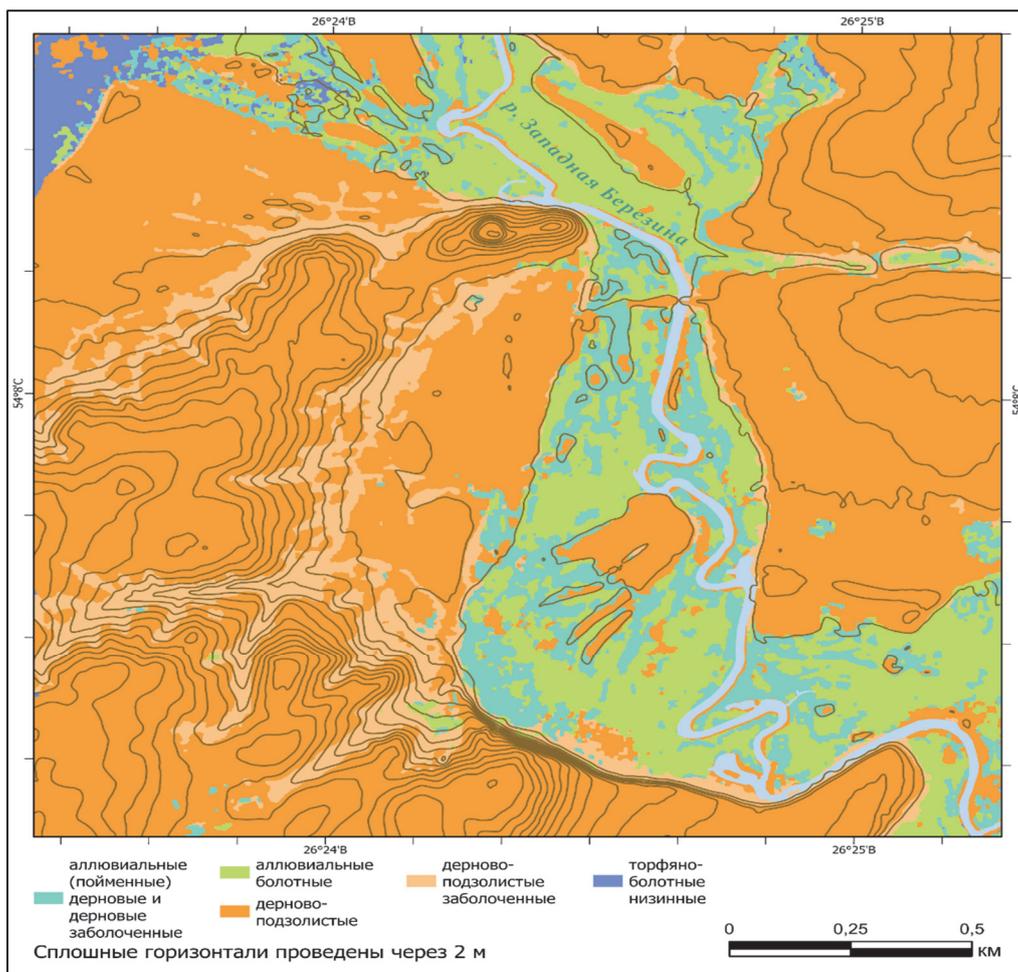


Рис. 2. Цифровая почвенная карта

Точность модели оценивалась по 495 случайно расположенным точкам, значения в которых сравнивалось с эталонной картой. Эталонном для оценивания точности классификации стала почвенная карта на территорию геостанции “Западная Березина”, составленная традиционным методом.

Разработанная модель при определении автоморфных почв позволила достичь точности в 92,68%, заметно хуже результаты при определении глеевых почв (точность 46,15%), и хуже всего удастся определить ВИУ и глееватые почвы (точность 34,11%). Результаты классификации по типам почв показали общую точность классификации по типам почв 64,24%, что говорит об эффективности методики, используемой для автоматической классификации почв.

Таким образом, данные, полученные с помощью воздушного лазерного сканирования, могут являться основной не только для проведения технических работ по инвентаризации объектов, но и для фундаментальных научных изысканий в области почвоведения и географии почв,

позволяя моделировать почвенных покров на различных территориях и масштабах, а также, в перспективе, являться основой для определения пространственного перераспределения веществ в элементарных ландшафтно-геохимических системах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *McBratney A. B, Mendonça Santos M. L., Minasny B.* On digital soil mapping / *A. B. McBratney, M. L. Mendonça Santos, B. Minasny* // *Geoderma*. 2003. – №1-2. – P. 3–52

2. Improved digital soil mapping with multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran / *S. Fatholouloumi [et al.]* // *Science of the Total Environment*. 2020. – Т. 721. – 14 p.

3. *Флоринский, И.В.* Картографирование почвы на основе цифрового моделирования рельефа (по данным кинематических GPS-съемок и почвенных наземных съемок) / *И.В. Флоринский* // *Исследование Земли из космоса*. – 2009, № 6. – С. 56-65.

4. Прогнозное почвенное картографирование на основе цифрового моделирования рельефа / *И.В. Флоринский [и др.]* // *Геоинформатика*. – 2009, № 1. – С. 22-32.

УДК 631.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ

Г.А. ЕФИМЕНКО, М.Ю. МУХИНА

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В последние годы беспилотные аппараты, также известные как дроны или беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стали все более популярными в различных отраслях промышленности, включая лесное и сельское хозяйство. Их использование в этих отраслях приводит к существенному увеличению эффективности, снижению затрат и улучшению производительности. В данном реферате рассмотрим примеры использования беспилотных аппаратов в лесном, сельском хозяйстве и других отраслях.