

УДК 528.92

DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012

Применение FABDEM и других современных цифровых моделей рельефа в системе аграрного мониторинга

Кузнецова Анна Сергеевна¹, Пушкарев Александр Александрович¹, Краснощеков Константин Вячеславович¹, Якубайлик Олег Эдуардович², Ерунова Марина Геннадьевна¹

¹Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Россия, Красноярск, anna.simakina.97@mail.ru

²Институт вычислительного моделирования СО РАН, Россия, Красноярск

Аннотация. В работе рассматривается получение морфометрических характеристик рельефа с применением современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных технологий для обеспечения системы аграрного мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН. В качестве исходных данных использованы новая цифровая модель рельефа (ЦМР) глобального масштаба FABDEM и высокоточные аэрофотоснимки, полученные при помощи съемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и специализированного геодезического оборудования. На их основе в геоинформационных системах (ГИС) QGIS, ArcGIS и Спутник Агро разработан ряд тематических карт, отображающих основные морфометрические характеристики рельефа. При составлении карт соблюдены требования, предъявляемые к картографическим материалам (выбор правильной картографической проекции, формата, типовой легенды и т.д.). Проведено сравнение морфометрических характеристик рельефа, подготовленных по набору данных FABDEM и съемке с БПЛА. Высокая степень сходства между ними демонстрирует, что ЦМР FABDEM является подходящим вариантом для получения информации о рельефе местности при отсутствии возможности проведения съемки с БПЛА. В результате получен большой объем информации об особенностях устройства рельефа поверхности опытно-производственного хозяйства (ОПХ) «Михайловское». Для хранения, распространения и анализа сведений об устройстве поверхности исследуемого объекта тематические карты, сохраненные в формате проектов qgis, импортированы в систему аграрного мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН. Совместное использование тематических карт о рельефе местности и данных, уже входящих в систему (спутниковые данные, вегетационные индексы, почвенные и климатические характеристики), позволит учесть состояние сельскохозяйственных угодий при разработке стратегий по управлению и использованию земель сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: агромониторинг, информационные системы, FABDEM, БПЛА, картографирование

Цитирование: Кузнецова А.С. Применение FABDEM и других современных цифровых моделей рельефа в системе аграрного мониторинга / А.С. Кузнецова, А.А. Пушкарев, К.В. Краснощеков, О.Э. Якубайлик, М.Г. Ерунова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 4(32). – С. 139-147. – DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012.

Введение. Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей экономики в мире и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности. За последние два десятилетия агропроизводство столкнулось с рядом проблем, таких, как изменение климата, экстремальные погодные условия, растущий спрос на продукты питания и т. д. [1, 2]. Для решения текущих проблем в сельскохозяйственный сектор необходимо внедрять новые технологии, которые позволят отслеживать происходящие изменения.

В настоящее время для эффективного управления землями сельскохозяйственного назначения активно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы аграрного мониторинга [3-5]. В большинстве случаев существующие системы направлены на сбор, хранение, обработку, распространение и анализ данных ДЗЗ и информационных продуктов, получаемых на их основе. Спутниковые данные используют для мониторинга посевных и уборочных работ, а также для других агротехнических мероприятий, выполняемых на полях [6]. Информация о вегетационных индексах и метеорологических условиях позволяет проводить оценку состояния сельскохозяйственных посевов и степени

влияния совокупности факторов на урожайность [7, 8]. Однако для точного анализа на уровне сельскохозяйственных угодий в информационных системах аграрного мониторинга необходимо учитывать особенности рельефа местности [9].

Рельеф местности влияет на интенсивность освещения и прогревания поверхности, термический и ветровой режимы, распределение осадков, протекание эрозионных процессов, почвообразование и другие аспекты [10, 11]. Влияние рельефа описывается морфометрическими характеристиками, такими, как уклон, крутизна и форма склонов, экспозиция относительно сторон света. От них зависит выбор сельскохозяйственных культур, технологии обработки почв, системы орошения и дренажа.

Современные достижения в области геоинформационных технологий и ДЗЗ способны обеспечить потребность сельского хозяйства в картографических сведениях о рельефе местности. Для получения морфометрических характеристик сельскохозяйственных угодий высокого пространственного разрешения используют БПЛА [12]. В глобальном масштабе для изучения рельефа требуется ЦМР, получаемая при помощи космических измерений. К распространенным ЦМР глобального масштаба в открытом доступе относятся продукты MERIT DEM (с разрешением ~90 м), SRTM (с разрешением ~30 м) и другие [13]. Наиболее новой и точной ЦМР глобального масштаба считается FABDEM (Forest And Buildings removed Copernicus DEM). Это первая глобальная ЦМР, в которой удалены высоты деревьев и зданий [14].

Целью данной работы является получение морфометрических характеристик рельефа с использованием современных методов ДЗЗ и геоинформационных технологий для обеспечения системы аграрного мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН [15].

1. Объект, материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования выбрано ОПХ «Михайловское» филиала ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН. Территория хозяйства расположена в северо-западной части Ужурского района, в 30 км от районного центра г. Ужур, 250 км от г. Красноярск. Общая площадь ОПХ «Михайловское» составляет 15209 га, в том числе площадь сельскохозяйственных угодий – 11294 га.

В начале работы была подготовлена цифровая карта сельскохозяйственных угодий ОПХ «Михайловское» в ГИС QGIS на основе высококачественного космического снимка. В качестве базовой проекции используется система координат WGS 84 / UTM zone 46N. Цифровая карта угодий (полей) состоит из 51 объекта, каждый объект содержит информацию о номере поля, севообороте и площади (га).

Аэрофотосъемка территории ОПХ проведена при помощи камеры Sony RX1, установленной на борту F1xar 007 в ходе полевых исследований в 2022 году. Съемка осуществлялась с высоты 300 м. Пространственное разрешение полученных снимков – 4 см/пиксель. Для увеличения точности координат центров аэрофотоснимков дополнительно использовались геодезический RTK приемник Emlid Reach M2, установленный на борту БПЛА, и ГНСС приёмник Emlid Reach RS2, стационарно расположенный на земле. В программе TOPOSETTER полученные с приемников данные сопоставлялись со снимками Sony RX1. Это способствовало увеличению точности координат центров каждого кадра с 3-5 м (при использовании стандартных GPS) до 7-10 см.

Массив изображений, полученный в ходе аэрофотосъемки с БПЛА, был обработан в программном обеспечении Agisoft Metashape Professional. Изображения камеры Sony RX1 проходят два этапа предварительной обработки: выравнивание и оптимизацию. Далее для каждого снимка строятся карты глубины и создается плотное облако точек. По плотному облаку точек проводится классификация точек рельефа. Точки «земли» отделяются от других точек (растительности, зданий, опор ЛЭП и др.). Результатами обработки исходных снимков

являются ортофотоплан местности и ЦМР с пространственным разрешением 4 см и 15 см соответственно.

В качестве исходных данных среднего разрешения для получения морфометрических характеристик рельефа на территории исследования использовалась ЦМР FABDEM. ЦМР разработана Бристольским университетом и доступна по всему миру с шагом сетки в 1 угловую секунду (приблизительно 30 м на экваторе) [14].

По ЦМР FABDEM среднего разрешения, ортофотоплану местности и ЦМР высокого разрешения выполнялось картографирование морфометрических характеристик рельефа в ГИС QGIS, ArcGIS и Спутник Агро.

Технология разработки тематических карт по набору данных FABDEM в ГИС QGIS состоит из нескольких этапов: перепроецирование исходного слоя FABDEM и его обрезка по границам хозяйства; использование инструментов морфометрического анализа «создать изолинии», «экспозиция» и «крутизна»; вычисление преобладающей экспозиции полей при помощи модуля «зональная статистика».

Вычисление тематической карты индекса Topographic Wetness Index (TWI) проведено в ГИС ArcGIS [16]. В первую очередь были подготовлены топографические слои: удельная площадь водосбора участка и угол наклона с использованием инструментов «flow direction», «flow accumulation» и «slope».

В ГИС Спутник Агро подготовлены тематические карты по ЦМР и ортофотоплану местности высокого пространственного разрешения при помощи инструментов программы «моделирование водных стоков» и «расчет уклонов».

2. Результаты. На основе набора данных FABDEM были получены следующие тематические карты:

- ЦМР и тематическая карта горизонталей (с расстоянием между горизонталями 10 м) демонстрируют устройство поверхности территории и позволяют определять характер перепада высот. Такого рода информация необходима для планирования размещения сельскохозяйственных угодий, прогнозирования развития эрозионных процессов и их воздействия на сельскохозяйственные угодья.
- Тематическая карта экспозиции содержит данные о рассчитанных показателях преобладающей экспозиции для всех сельскохозяйственных угодий ОПХ «Михайловское». Карта классифицирована по восьми румбам экспозиции для определения полей с более благоприятным световым и термическим режимом.
- Тематическая карта уклонов служит для визуализации уклонов местности, разграниченных по группам, с целью определения участков на местности с высокими уклонами. Информация о значении уклона, его расположении и протяженности крайне важна при определении назначения сельскохозяйственных угодий и проведении технических операций (укос сенокосов, сбор урожая, подкормка).
- Завершающим результатом построения карт по набору данных FABDEM является тематическая карта индекса TWI. Индекс TWI представляет собой устойчивый индекс влажности, учитывающий следующие ключевые компоненты: общую площадь водосбора и уклон склона. Обычно используется для определения гидрологических путей потока и всестороннего учета влияния характеристик местности на распределение влаги.

Высокое пространственное разрешение и точность привязки аэрофотоснимков способствовали построению ЦМР и тематической карты уклонов в границах сельскохозяйственных угодий с более высокой точностью и детальностью. Кроме этого, по данным БПЛА подготовлены тематические карты поверхностного стока и накопления воды,

содержащие линейные и площадные объекты соответственно. Визуализация сети водотоков и участков, на которых задерживается вода, помогает понять направление водотоков и определить переувлажненные участки на сельскохозяйственных угодьях.

Тематические карты, отображающие основные морфометрические характеристики рельефа ОПХ «Михайловское», разработанные в различных ГИС, были приведены к единым параметрам и системе координат (WGS 84 / UTM zone 46N) в программе QGIS. Исходные слои преобразованы в форматы GeoTIFF и shape. Каждому из них подобрана типовая легенда. Готовые тематические карты сохранены в качестве проектов qgs формата. Для хранения, распространения и анализа сведений об устройстве рельефа поверхности исследуемого объекта полученные тематические карты импортированы в систему аграрного мониторинга.

Информационная система аграрного мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН предназначена для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения Красноярского края. Сочетает в себе удобный и понятный интерфейс для пользователей. Направлена на распространение данных компьютерных моделей (информация о климатических характеристиках), спутниковых снимков и продуктов, получаемых на их основе (вегетационные индексы), тематических карт (цифровые карты полей, агрохимические характеристики почвы и др.).

Импорт тематических карт в систему осуществляется через веб-форму создания нового слоя на странице администрирования. Форма предусматривает заполнение основных полей (название, описание, доступ, локация, тип данных) и загрузку архива с подготовленным проектом. Последующие этапы загрузки проектов полностью автоматизированы. После отправки формы проект проверяется на наличие ошибок и помещается в специализированное хранилище. Данное хранилище находится в области видимости QGIS сервера, который, в свою очередь, отвечает за визуализацию тематических карт в системе аграрного мониторинга.

Благодаря тематическим картам, построенным на основе набора данных FABDEM и съемки с БПЛА, получен большой объем информации об особенностях рельефа территории хозяйства «Михайловское» в целом. Высоты поверхности исследуемой территории колеблются в пределах от 295 м до 500 м (рис. 1а). Большинство сельскохозяйственных угодий расположено на северных, южных и юго-восточных склонах (рис. 1б). Также были определены сельскохозяйственные угодья, где находятся крупные участки с высокими значениями уклонов, и выявлено большое количество гидрологических путей потока по индексу TWI.

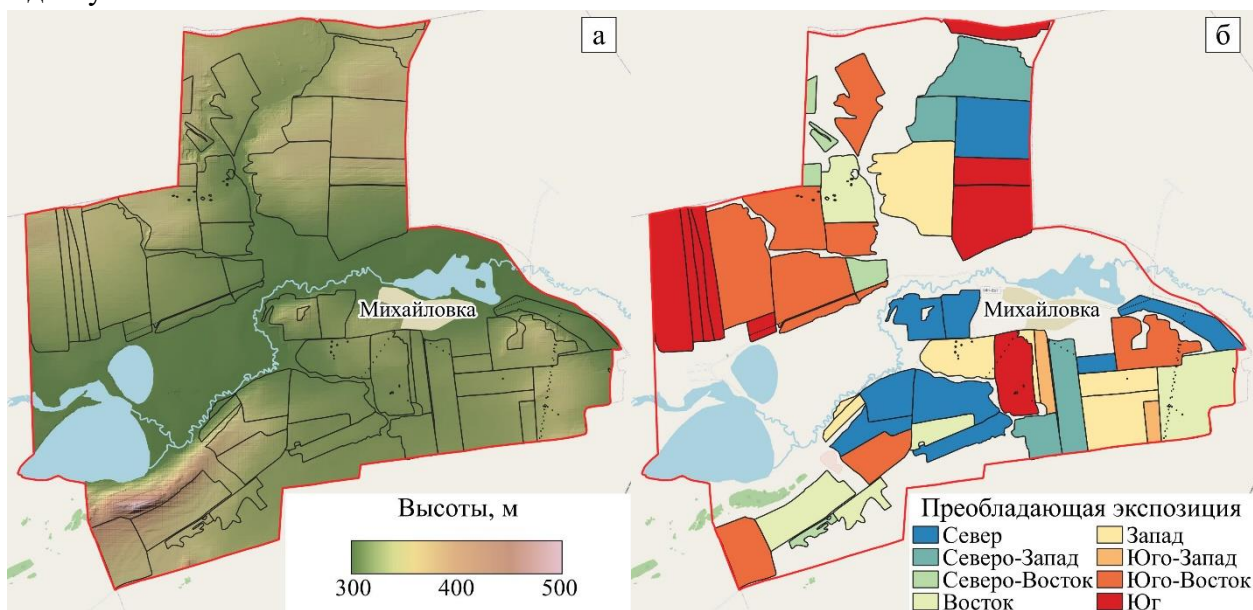


Рис. 1. Тематические карты по набору данных FABDEM: а – карта высот; б – карта преобладающей экспозиции полей

Проведение полевых работ БПЛА корректирует использование ЦМР глобального масштаба. Так, например, по данным FABDEM определена группа полей ОПХ «Михайловское» с высокими значениями уклонов (рис. 2а). Построение тематической карты по данным БПЛА (рис. 2б) позволило уточнить значения уклонов и их расположение, а также выявить новые области с высокими значениями уклонов.

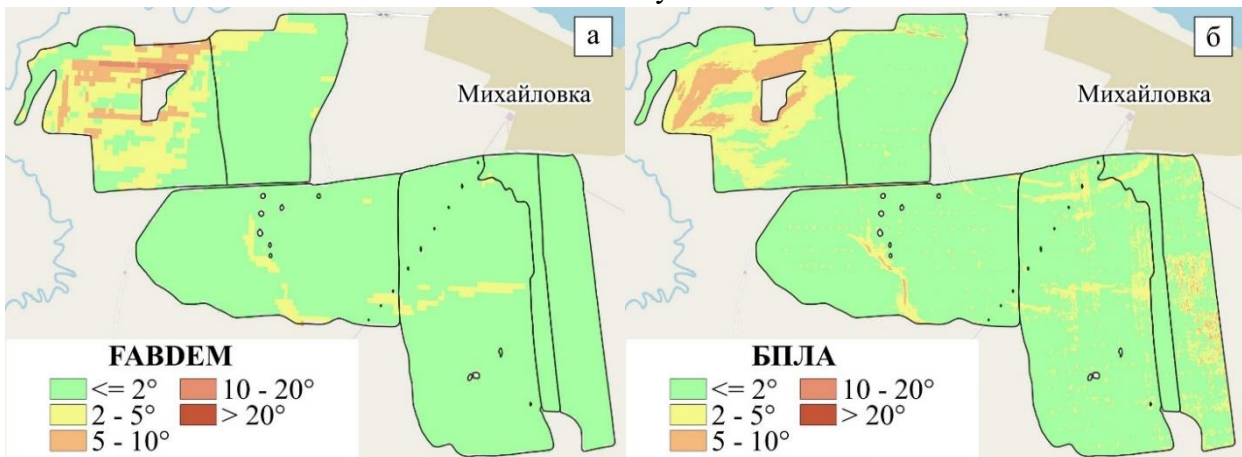


Рис. 2. Фрагменты тематических карт уклонов на примере группы полей ОПХ «Михайловское»

В качестве еще одного примера приведены тематические карты индекса TWI (рис. 3а) и поверхностного стока воды (рис. 3б), которые предоставляют сведения о гидрологических путях потока воды. Тематическая карта индекса TWI подходит для определения путей потоков в границах полей на крупных территориях. При этом тематическая карта, построенная по данным БПЛА, демонстрирует пути потоков воды и их ответвления с более высокой точностью.

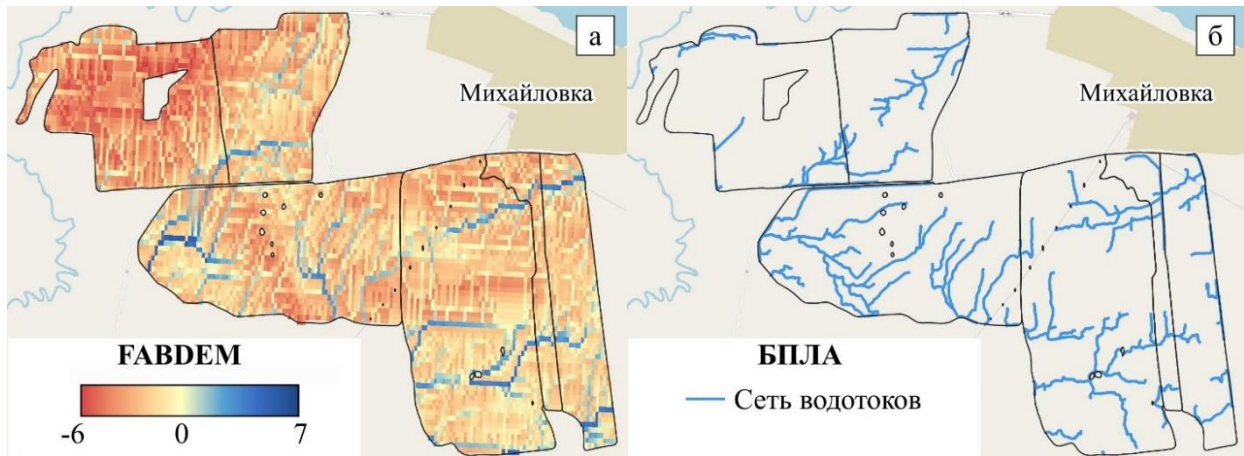


Рис. 3. Фрагменты тематических карт с распределением путей потоков воды: а – индекс TWI; б – карта поверхностного стока воды

Высокое разрешение аэрофотоснимков позволяет строить высокоточные тематические карты, характеризующие особенности рельефа местности. К сожалению, не для каждой территории сельскохозяйственного производства возможно проведение съемки с БПЛА. Это связано с различными географическими, экономическими, социальными и другими факторами.

Сравнение морфометрических характеристик рельефа, подготовленных по набору данных FABDEM и съемке с БПЛА, демонстрирует высокую степень сходства между ними. Это указывает на то, что новая и точная ЦМР FABDEM является подходящим вариантом для

получения информации о рельефе местности при отсутствии возможности проведения съемки с БПЛА. При этом точечное проведение работ по сбору информации при помощи БПЛА отдельных участков повысит качество проведения аграрного мониторинга.

Заключение. В результате выполненных работ при помощи современных методов ДЗЗ и геоинформационных технологий получен ряд тематических карт, отображающих основные морфометрические характеристики рельефа ОПХ «Михайловское». Для их подготовки использованы новая и точная ЦМР глобального масштаба FABDEM и аэрофотоснимки с высокой точностью координат центров. В будущем планируется получить морфометрические характеристики рельефа и на другие сельскохозяйственные территории Красноярского края, включив их в информационную систему аграрного мониторинга ФИЦ КНЦ СО РАН.

Обеспечение системы аграрного мониторинга морфометрическими характеристиками рельефа предоставит доступ специалистам аграрного сектора к полноценной информации об особенностях рельефа местности. Совместное использование карт о рельефе местности и данных, уже входящих в систему, позволит учесть состояние сельскохозяйственных угодий при разработке стратегий по управлению и использованию земель сельскохозяйственного назначения.

Список источников

1. Wu L., Elshorbagy A., Helgason W. Assessment of agricultural adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective, *Agricultural Water Management*, 2023, v. 284, 108343.
2. Blickensdorfer L., Schwieder M., Pflugmacher D., et al. Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany, *Remote Sensing of Environment*, 2022, v.269, 112831.
3. Fritz S., See L., Laso Bayas J.C., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps, *Agricultural Systems*, 2019, v.168, pp. 258-272.
4. Денисов П.В. Возможности и опыт использования информационной системы Вега-PRO для мониторинга сельскохозяйственных земель / П.В. Денисов, К.А. Трошко, Е.А. Лупян и др. // Вычислительные технологии. Электрон. журн., 2022. – Т. 27. – № 3. – С. 66-83. – DOI: 10.25743/ICT.2022.27.3.006.
5. Zahran S.A.E.-S., Saeed R.A.-H., Elazizy I.M. Remote sensing based water resources and agriculture spatial indicators system, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2022, v.25, pp. 515-527.
6. Гаврилов В.К. Возможности спутникового мониторинга для оценки состояния сельскохозяйственных земель и их инвестиционной привлекательности / В.К. Гаврилов, М.В. Зимин, Н.А. Моисеева // Управление рисками в АПК. Электрон. журн., 2021. – № 1(39). – С. 8-21. – DOI: 10.53988/24136573-2021-01-01.
7. Плотников Д.Е. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым / Д.Е. Плотников, Е.С. Ёлкина, Е.А. Дунаева [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. Электрон. журн., 2020. – № 1(21). – С. 64-82. – DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
8. Степанов А.С. Влияние климатических характеристик и значений вегетационного индекса NDVI на урожайность сои (на примере районов Приморского края) / А.С. Степанов, Т.А. Асеева, К.Н. Дубровин // Аграрный вестник Урала. Электрон. журн., 2020. – № 1(192). – С. 10-19. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-10-19.
9. Rebelo C., Nascimento J. Measurement of soil tillage using UAV high-resolution 3D Data. *Remote Sensing*, 2021, v.13, no.21, 4336.
10. Плисенко О.А. Расчет основных геоморфологических параметров элементарных поверхностей рельефа на основе ЦРМ в цифровой платформе точного земледелия Адыгеи / О.А. Плисенко, Т.П. Варшанина // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. Электрон. журн., 2021. – № 4(291). – С. 125-134. – DOI: 10.53598/2410-3225-2021-4-291-125-134.
11. Мажитова Г.З. Совершенствование методики крупномасштабного агроландшафтного картографирования на основе применения беспилотных летательных аппаратов / Г.З. Мажитова, С.В. Пашков, С.В. Крыцкий // Региональные геосистемы. Электрон. журн., 2020. – Т. 44. – № 1. – С. 64-74. – DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-64-74.
12. Пашков С.В. Применение ГИС-технологий и аэрофотосъемки для геоинформационного картографирования и моделирования рельефа агроландшафтов / С.В. Пашков, Г.З. Мажитова // Известия

Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. Электрон. журн., 2020. – Т. 34. – С. 82-95. – DOI: 10.26516/2073-3402.2020.34.82.

13. Uuemaa E., Ahi S., Montibeller B., et al. Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM), Remote Sensing, 2020, v.12, no.21, 3482.
14. Hawker L., Uhe P., Paulo L., et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed, Environmental Research Letters, 2022, v.17, no. 2, 024016.
15. Pushkarev A.A., Yakubailik O.E. A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data. CEUR Workshop Proceedings, Novosibirsk, 2021, pp. 231-237.
16. Копецký М., Мачек М., Wild J. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition, Science of the total environment, 2021, v.757, 143785.

Кузнецова Анна Сергеевна. Младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН». AuthorID: 1123552, SPIN: 4915-3961, ORCID: 0000-0002-8351-7536, anna.simakina.97@mail.ru, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50.

Пушкарев Александр Александрович. Младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН». AuthorID: 1019386, SPIN: 5344-5762, ORCID: 0009-0000-5790-966X, flash550@yandex.ru, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50.

Краснощеков Константин Вячеславович. Младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН». AuthorID: 1005418, SPIN: 2937-3719, ORCID: 0000-0001-9477-4127, krasko@icm.krasn.ru, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50.

Якубайлик Олег Эдуардович. Кандидат физико-математических наук, зам. директора по научной работе Института вычислительного моделирования СО РАН. AuthorID: 99904, SPIN: 7820-4178, ORCID: 0000-0002-2668-4776, oleg@icm.krasn.ru, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44.

Ерунова Марина Геннадьевна. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН». AuthorID: 116643, SPIN: 5424-1229, ORCID: 0000-0002-1922-1036, marina.erunova@gmail.com, Россия, г. Красноярск, Академгородок, д. 50.

UDC 528.92

DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.012

Application of FABDEM and other modern digital elevation models in the agricultural monitoring system

Anna S. Kuznetsova¹, Alexander A. Pushkarev¹, Konstantin V. Krasnoshchekov¹, Oleg E. Yakubailik², Marina G. Erunova¹

¹Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center of the SB RAS, Russia, Krasnoyarsk, anna.simakina.97@mail.ru

²Institute of Computational Modelling SB RAS, Russia, Krasnoyarsk

Abstract. The paper considers obtaining morphometric characteristics of the relief using modern methods of remote sensing of the Earth and geoinformation technologies to provide the agricultural monitoring system of the FRC KSC SB RAS. The new digital terrain model (DEM) of the global scale FABDEM and high-precision aerial photographs obtained by shooting from an unmanned aerial vehicle (UAV) and specialized geodetic equipment were used as initial data. Based on them, a number of thematic maps have been developed in the geoinformation systems QGIS, ArcGIS and Sputnik Agro, displaying the main morphometric characteristics of the relief. When making maps, the requirements for cartographic materials are met (choosing the correct cartographic projection, format, standard legend, etc.). The morphometric characteristics of the relief prepared using the FABDEM data set and UAV imagery were compared. The high degree of similarity between them demonstrates that the FABDEM DEM is a suitable option for obtaining information about the terrain in the absence of the possibility of shooting from a UAV. As a result, a large amount of information was obtained about the features of the device of the surface relief of the Mikhailovskoye agricultural experimental production facility (EPF). To store, distribute and analyze information about the structure of the surface of the object under study, thematic maps saved in the qgis project format were imported into the agricultural monitoring system of the FRC KSC SB RAS. The joint use of thematic

maps on the terrain and data already included in the system (satellite data, vegetation indices, soil and climatic characteristics) will allow taking into account the state of agricultural land when developing strategies for the management and use of agricultural land.

Keywords: agromonitoring, information systems, FABDEM, UAV, mapping

References

1. Wu L., Elshorbagy A., Helgason W. Assessment of agricultural adaptations to climate change from a water-energy-food nexus perspective, *Agricultural Water Management*, 2023, v.284, 108343.
2. Blickensdörfer L., Schwieder M., Pflugmacher D., et al. Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany, *Remote Sensing of Environment*, 2022, v.269, 112831.
3. Fritz S., See L., Laso Bayas J.C., et al. A comparison of global agricultural monitoring systems and current gaps, *Agricultural Systems*, 2019, v.168, pp. 258-272.
4. Denisov P.V., Troshko K.A., Lupjan E.A. et al. Vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informacionnoj sistemy Vega-PRO dlya monitoringa sel'skoxozyajstvennyx zemel [Potential and experience of Vega-PRO information system use for monitoring of agricultural lands]. *Computational Technologies*, 2022, vol.27, no. 3, pp. 66-83, DOI: 10.25743/ICT.2022.27.3.006.
5. Zahran S.A.E.-S., Saeed R.A.-H., Elazizy I.M. Remote sensing based water resources and agriculture spatial indicators system, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2022, v.25, pp. 515-527.
6. Gavrilov V.K., Zimin M.V., Moiseeva N.A. Vozmozhnosti sputnikovogo monitoringa dlya ocenki sostoyaniya sel'skoxozyajstvennyx zemel i ix investicionnoj privlekatel'nosti [Satellite monitoring capabilities for assessing the state of agricultural land and its investment attractiveness]. *Upravlenie riskami v APK [Risk management in the AIC]*, 2021, no.1(39), pp. 8-21, DOI: 10.53988/24136573-2021-01-01.
7. Plotnikov D.E., Jolkina E.S., Dunaeva E.A. [et al.] Razvitie metoda avtomaticheskogo raspoznavaniya ozimy x kul'tur na osnove sputnikovyx dannyx dlya ocenki ix sostoyaniya na territorii Respubliki Krym [Development of the method for automatic winter crops mapping by means of remote sensing aimed at crops state assessment over the Republic of Crimea]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoj nauki [Tauride Bulletin of Agrarian science]*, 2020, no.1(21), pp.64-82, DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
8. Stepanov A.S., Aseeva T.A., Dubrovin K.N. Vliyanie klimaticheskix xarakteristik i znachenij vegetacionnogo indeksa NDVI na urozhajnost' soi (na primere rajonov Primorskogo kraja) [The influence of climatic characteristics and values of NDVI at soybean yield (on the example of the districts of the Primorskiy region)]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2020, no. 1(192), pp. 10-19, DOI: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-10-19.
9. Rebelo C., Nascimento J. Measurement of soil tillage using UAV high-resolution 3D Data. *Remote Sensing*, 2021, 13(21), 4336.
10. Plisenko O.A., Varshanina T.P. Raschet osnovnyx geomorfologicheskix parametrov elementarnyx poverxnostej rel'efa na osnove CzRM v cifrovoj platforme tochnogo zemledeliya Adygei [Digital relief model based calculation of basic geomorphological parameters of elementary relief surfaces in digital platform of Adygea precision agriculture]. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tehnicheckie nauki [Bulletin of the Adygea state university. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences]*, 2021, no.4(291), pp. 125-134, DOI: 10.53598/2410-3225-2021-4-291-125-134.
11. Mazhitova G.Z., Pashkov S.V., Kryckij S.V. Sovershenstvovanie metodiki krupnomasshtabnogo agrolandshaftnogo kartografirovaniya na osnove primeneniya bespilotnyx letatel'nyx apparatov [Improvement of the methodology of large-scale agrarian landscape mapping based on uav application]. *Regional'nyye geosistemy [Regional Geosystems]*, 2020, v.44, no.1, pp.64-74, DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-64-74.
12. Pashkov S.V., Mazhitova G.Z. Primenenie GIS-tekhnologij i aerofotos'emki dlya geoinformacionnogo kartografirovaniya i modelirovaniya rel'efa agrolandshaftov [Application of GIS technologies and aerial photography for geoinformation mapping and modelling of relief of agroland landscapes]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle [The bulletin of Irkutsk state university. Series Earth sciences]*, 2020, v.34, pp.82-95, DOI: 10.26516/2073-3402.2020.34.82.
13. Uemaa E., Ahi S., Montibeller B., et al. Vertical accuracy of freely available global digital elevation models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM), *Remote Sensing*, 2020, v.12, no.21, 3482.
14. Hawker L., Uhe P., Paulo L., et al. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed, *Environmental Research Letters*, 2022, v.17, no.2, 024016.
15. Pushkarev A.A., Yakubailik O.E. A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data. *CEUR Workshop Proceedings, Novosibirsk*, 2021, pp. 231-237.
16. Kopecký M., Macek M., Wild J. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition, *Science of The Total Environment*, 2021, v.757, 143785.

Kuznetsova Anna Sergeevna. Junior Researcher, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS. AuthorID: 1123552, SPIN: 4915-3961, ORCID: 0000-0002-8351-7536, anna.simakina.97@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50.

Pushkarev Alexander Aleksandrovich. Junior Researcher, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS. AuthorID: 1019386, SPIN: 5344-5762, ORCID: 0009-0000-5790-966X, flash550@yandex.ru, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50.

Krasnoshchekov Konstantin Viacheslavovich. Junior Researcher, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS. AuthorID: 1005418, SPIN: 2937-3719, ORCID: 0000-0001-9477-4127, krasko@icm.krasn.ru, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50.

Yakubailik Oleg Eduardovich. Candidate of Physico-mathematical Sciences, Deputy Director for Scientific Work, Institute of Computational Modeling SB RAS. AuthorID: 99904, SPIN: 7820-4178, ORCID: 0000-0002-2668-4776, oleg@icm.krasn.ru, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, building 44.

Erunova Marina Gennadiyevna. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS. AuthorID: 116643, SPIN: 5424-1229, ORCID: 0000-0002-1922-1036, marina.erunova@gmail.com, Russia, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50.

Статья поступила в редакцию 15.08.2023; одобрена после рецензирования 29.11.2023; принята к публикации 16.12.2023.

The article was submitted 08/15/2023; approved after reviewing 11/29/2023; accepted for publication 12/16/2023.