

ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М. Г. Ерунова¹, А. С. Кузнецова¹, А. А. Шпедт¹, О. Э. Якубайлик²

¹Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия

²Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск, Россия
marina@icm.krasn.ru

АННОТАЦИЯ. Основу геоморфометрического анализа с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) составляет анализ цифровых моделей рельефа (ЦМР). На основе ЦМР FABDEM была исследована территория опытно-производственного хозяйства Красноярского края, построена серия крупномасштабных карт ключевых геоморфологических показателей рельефа: крутизны и экспозиций склонов, кривизны (плановой и профиля) индекса расчлененности рельефа (TRI), топографического индекса влажности (TWI), LS-фактора, и др. Проведен геоморфологический анализ ОПХ «Михайловское», получены ключевые морфометрические параметры, которые хранятся в виде геопространственной базы данных хозяйства. Полученные результаты показали, что современная ЦМР FABDEM пригодна для получения информации об общих топографических особенностях рельефа как на уровне хозяйства, так и на уровне отдельных сельскохозяйственных полей. Использование ЦМР и ДДЗ открытого пользования позволяет осуществить полноценный сбор и анализ рельефа любой сельскохозяйственной территории.

Ключевые слова: Цифровое моделирование рельефа, ЦМР FABDEM, SAGA GIS, геоморфометрические параметры.

Активное внедрение в сельское хозяйство цифровых технологий и данных дистанционного зондирования Земли в настоящее время является фактически безальтернативной возможностью получения объективной и оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий.

Одним из важнейших факторов формирования агроландшафтов выступает рельеф территории, который во многом определяет локальные особенности распределения воды и солнечной радиации, энергию склоновых процессов. Он является важнейшей составляющей процесса почвообразования. Изучение структурно-геоморфологических особенностей рельефа учитывается при агроэкологической оценке земель и их мониторинге [1].

Традиционно главным источником количественной геоморфологической информации были результаты морфометрического анализа топографических карт.

С развитием аэрокосмических и информационных технологий на смену традиционным методам пришел новый – цифровое моделирование. Основу морфометрического анализа с использованием ДДЗ составляет анализ цифровых моделей рельефа (ЦМР); эти данные используются в качестве входных для количественной оценки характеристик земной поверхности [2].

Современные ЦМР основаны на ДДЗ, их точность постоянно повышается. Первые ЦМР, ставшие доступными 10–20 лет назад (SRTM, ASTER GDEM, MERIT, и др.), имеют точность (пространственное разрешение) порядка 50–90 метров. Сформированные в последние 5 лет ЦМР нового поколения (Copernicus, FABDEM) – 20–30 метров; эти данные уже позволяют оценивать морфометрические характеристики рельефа на уровне отдельных полей. Также становятся все более распространенными более точные ЦМР, основанные на съемке с помощью БПЛА, с точностью до 10 см.

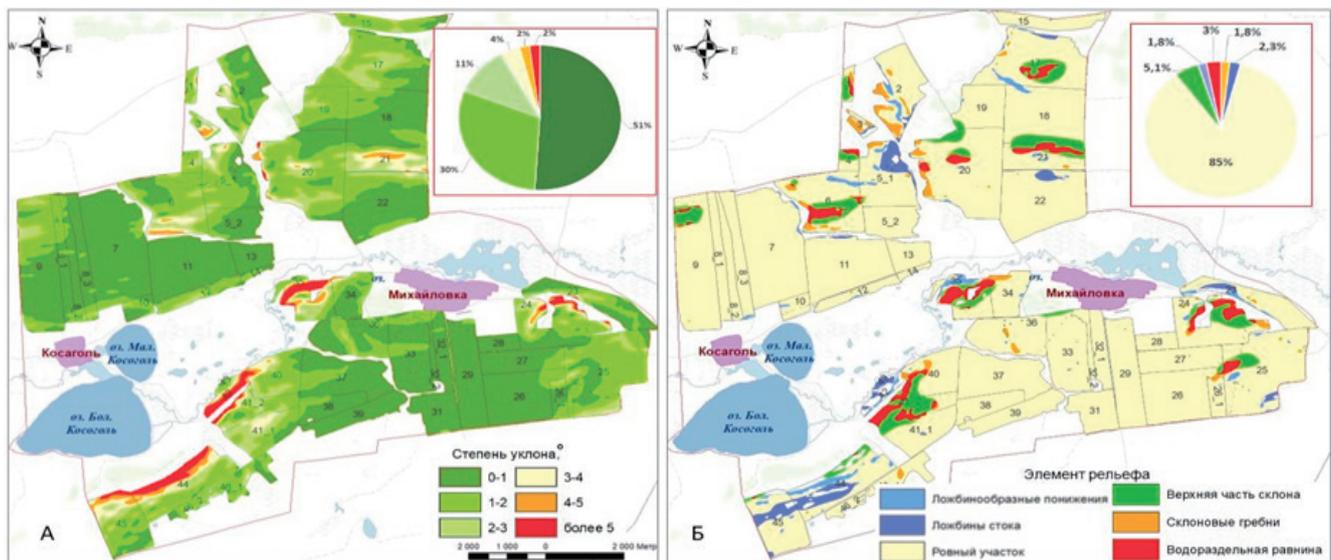


Рисунок 1. Тематическая карта с диаграммой занимаемых площадей (%) – а) угла наклона; б) элементов рельефа

Цифровое моделирование рельефа позволяет проводить анализ рельефа изучаемой территории с целью получения морфометрических параметров [3]. Применение таких параметров используется в исследованиях сельскохозяйственных земель относительно недавно, например, топографический индекс влажности (TWI) применяют в качестве показателя влажности почвы [4], показатель экспозиции склонов применяют для выявления сезонного изменения NDVI посевных площадей [5]. Крутизна и экспозиция склонов применяется для совершенствования методики определения природно-ресурсного потенциала земель, предназначенных для сельскохозяйственного производства, путем введения поправочных коэффициентов на рельеф [6], и т.д. Геоморфометрические параметры рельефа могут выступать в качестве источника для прогнозирования целого ряда экзогенных процессов [7], позволяют оценивать вероятность и интенсивность их развития. Использование цифрового моделирования рельефа дает возможность создания тематических карт важнейших геоморфометрических параметров рельефа.

Целью данной работы является цифровое моделирование рельефа на основе FАВDEM и получение морфометрических параметров на уровне сельскохозяйственного поля. Выполнение геоморфометрического анализа рельефа территорий агрохозяйств СО РАН с использованием данных дистанционного зондирования.

Условия, материалы и методы. В качестве объекта исследования выбрано опытно-производственное хозяйство (ОПХ) «Михайловское», которое является базовым ОПХ ФИЦ КНЦ СО РАН. Данное хозяйство расположено в северо-западной части Ужурского района в 30 км от районного центра г. Ужур, 250 км от г. Красноярск. Общая площадь ОПХ составляет 15209 га, в том числе площадь сельскохозяйственных угодий – 11294 га.

В качестве базового источника для определения морфометрических характеристик поверхности использовалась ЦМР FАВDEM. Для обеспечения корректности расчетов оригинальная FАВDEM была перепроецирована из географической системы координат в метрическую проекцию (Универсальная поперечного Меркатора (UTM) в открытой ГИС QGIS.

Геоморфометрический анализ ЦМР выполнялся с использованием функциональных возможностей набора инструментов «Basic terrain analysis» SAGA GIS [8]. Для выделения форм рельефа использовался инструмент классификации SAGA TPI Based Landform Classification.

Результаты и обсуждение. На основе набора данных FАВDEM для территории ОПХ была получена ЦМР. Для проведения геоморфометрического анализа ЦМР была обрезана по границе хозяйства и по границам отдельных полей. Для исследуемой территории хозяйства была построена

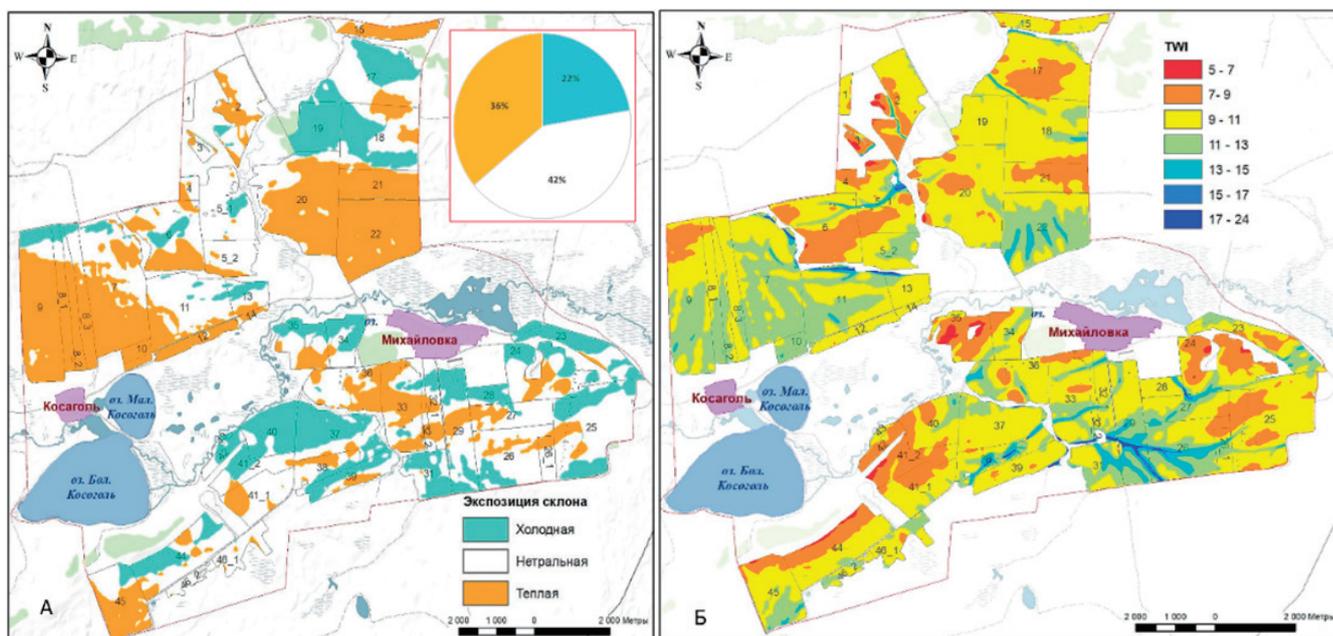


Рисунок 2. Тематическая карта а) экспозиции склонов; б) топографического индекса влажности (TWI)

серия крупномасштабных карт ключевых геоморфологических показателей рельефа: крутизна, экспозиция, кривизна (плановая и профиля), индекс расчлененности рельефа (TRI), LS-фактор, топографический индекс влажности (TWI), аналитическая отмывка холмов и т.д. (Рис. 1, 2). Полученные карты были конвертированы в растры формата GRID, представляющие собой регулярные сетки с шагом 10 м. Был выполнен геостатистический анализ данных. Выявление диапазона влияния каждого показателя осуществлялось с помощью извлечения зональной статистики по ячейкам регулярной сети рабочим модулем QGIS.

Для ОПХ «Михайловское» и в отдельности для каждого поля получены статистические данные геоморфометрических параметров. По каждому полю были рассчитаны средние, максимальные, минимальные значения показателя (рис. 1). Так, например, параметр «угол наклона» используется для оценки потенциального стока и эрозионной опасности. На рисунке 1а представлена тематическая карта уклонов, построенная по классификации для равнинных территорий ОПХ [9]. Поля территории, находящиеся на склонах с крутизной до 3°, занимают 92% территории (плоские поверхности – 51%, очень пологие – 30%, пологие 11%). Участки с крутизной склонов 3...5° составляют 6%. Площади с крутизной склонов выше 5° – 2% территории всех полей. Для каждого поля также получена статистика содержания этого пока-

зателя (минимум, максимум, среднее). Аналогично были проанализированы другие геоморфологические показатели. На рисунке 1б представлена карта элементов рельефа, полученная на основе алгоритма с учетом уклоном, максимальной кривизной, минимальной кривизной, кривизной профиля [10], так 85% территории полей ОПХ «Михайловское» представляют ровные участки. На рисунке 2а представлен параметр «экспозиция склона», который используется для оценки теплообеспеченности и влагообеспеченности. На полях ОПХ преобладают территории с «нейтральными» склонами (западные и восточные) – 42% от общей площади, «теплые» – 22% и «холодные» – 22%.

На рисунке 2б представлен индекс топографической влажности (TWI), который количественно определяет изменение влажности почвы. Более высокие значения TWI (тенденция к синему цвету) представляют собой дренажные впадины, а низкие значения (тенденция к красному цвету) представляют собой возвышенности.

Заключение. Для исследуемых территорий проведено цифровое моделирование рельефа на основе ЦМР FADDEM и набора инструментов SAGA GIS. Проведен геоморфометрический анализ территории ОПХ «Михайловское», получены ключевые геоморфометрические параметры, которые хранятся в виде геопространственной базы данных хозяйства, а также в виде набора тематических карт

ключевых параметров рельефа данной территории. Полученные результаты показали, что современная ЦМР FABDEM пригодна для получения информации об общих топографических особенностях рельефа как на уровне хозяйства, так и на уровне отдельных

сельскохозяйственных полей. Использование ЦМР и ДДЗ открытого пользования позволяет осуществить полноценный сбор и анализ рельефа любой сельскохозяйственной территории.

GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE RELIEF OF AGRICULTURAL TERRITORIES BASED ON REMOTE SENSING DATA

M. G. Erunova¹, A. S. Kuznetsova¹, A. A. Shpedt¹, O. E. Yakubailik²

¹Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia

²Institute of Computational Modelling, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk, Russia
marina@icm.krasn.ru

ABSTRACT. The basis of geomorphometric analysis using Earth remote sensing (ERS) data is the analysis of digital model (DEM). Based on the FABDEM DEM, the territory of the experimental production farm of the Krasnoyarsk Territory was studied, a series of large-scale maps of key geomorphological relief indicators were built: steepness and exposure of slopes, curvature (planned and profile), relief index (TRI), LS coefficient, topographic humidity index (TWI), etc. A geomorphological analysis of the Mikhailovskoye farm was carried out, key morphometric parameters were obtained, which are stored in the form of a geospatial database of the farm. The results showed that the modern FABDEM DEM is suitable for obtaining information about the general topographical features of the terrain both at the farm level and at the level of individual agricultural fields. The use of DEM and ERS allows for a full-fledged collection and analysis of the relief of any agricultural area.

Keywords: Digital Elevation Modeling, DEM FABDEM, SAGA GIS, geomorphometric parameter

Литература

- 1 Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Методическое руководство. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 785 с.
- 2 Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. 2022. 17 (2). 024016. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f
- 3 Wilson, J.P. (2012) Digital Terrain Modeling. *Geomorphology*, 137, 107–121.
- 4 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.
- 5 Шинкаренко С. С., Бодрова В. Н., Сидорова Н. В. Влияние экспозиции склонов на сезонную динамику вегетационного индекса NDVI посевных площадей // *Известия НВ АУК*. 2019. № 1 (53).
- 6 Шпедт А. А., Ерунова М. Г., Злотникова В. В. Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов с использованием ГИС-технологий // *Земледелие*. 2023. № 8. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-8-9-13
- 7 Полякова Е. В. Учет геоморфометрических параметров рельефа при ведении хозяйственной деятельности на территории Архангельской области // *Евразийский Союз Ученых*. 2019. № 3–2 (60).
- 8 Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // *Geosci. Model Dev*. 8. pp. 1991–2007, DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015, 2015.
- 9 Жучкова В. К. Раковская Э. М. Методы комплексных физико-географических исследований. Учебн. пос. для студентов ВУЗов. М.: Академия, 2004. 368 с.
- 10 Schmidt J., Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position // *Geoderma*. 2004. 121 (3–4). pp. 243–256