



УДК 913: 551.4
DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-2-236-253

Морфометрический анализ рельефа северо-западной части Тамбовской области

Буковский М.Е., Кузьмин К.А.

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина
Россия, 392036, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: mikezzz@mail.ru, ka_kuzmin@mail.ru

Аннотация. Хорошо освоенная территория Окско-Донской равнины, в пределах которой расположена Тамбовская область, служит одним из важнейших районов аграрного производства страны. С точки зрения экологически устойчивого функционирования агроландшафтов, занимающих большую часть области, а также ответственного управления земельными ресурсами, актуальна задача комплексной оценки земельного фонда региона. В статье представлены результаты морфометрического анализа рельефа двух муниципальных округов на северо-западе Тамбовской области. Инструментами ГИС-приложений построена цифровая модель рельефа с пространственным разрешением ячейки 30 м, составлены гипсометрическая карта, морфометрические карты крутизны, экспозиции склонов, эрозионного потенциала рельефа (*LS*-фактора). Для территорий изученных муниципальных округов рассчитаны средневзвешенные значения абсолютной высоты, уклона, *LS*-фактора, а также степень вертикального и горизонтального расчленения рельефа. Исследованные территории северо-запада Тамбовской области отличаются равнинным рельефом с преобладающими уклонами местности менее $0,5^\circ$, слабой расчленённостью и малыми значениями оценок эрозионного потенциала. Результаты работы могут найти применение при организации рационального землепользования, картографированные значения морфометрических характеристик могут стать первичными материалами для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия на региональном уровне. Данные об эрозионном потенциале рельефа будут использованы для расчётов эрозионных потерь почвы от талой, дождевой, ирригационной эрозии.

Ключевые слова: рельеф, цифровая модель рельефа (ЦМР), морфометрический анализ, морфометрические характеристики, геоинформационная система (ГИС), земельный фонд, землепользование, Тамбовская область

Для цитирования: Буковский М.Е., Кузьмин К.А. 2024. Морфометрический анализ рельефа северо-западной части Тамбовской области. Региональные геосистемы, 48(2): 236–253. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-2-236-253

Morphometric Analysis of the Relief of the North-Western Part of Tambov Region

Mikhail E. Bukovskiy, Kirill A. Kuzmin

Tambov State University named after G.R. Derzhavin
33 Internatsional'naya St, Tambov, 392036, Russia
E-mail: mikezzz@mail.ru, ka_kuzmin@mail.ru

Abstract. The well-developed territory of the Oka-Don Plain, within which Tambov Region is located, serves as one of the most important areas of agricultural production in Russia. From the point of view of the environmentally sustainable functioning of agricultural landscapes that occupy most of the region, as well as competent land management, the task of a comprehensive assessment of the region's land fund is relevant. The article presents the results of a morphometric analysis of the relief of two municipal districts

in the north-west of the Tambov region: Michurinsky and Pervomaisky. Using GIS application tools, a digital elevation model with a spatial resolution of 30 m cell was built, a hypsometric map, morphometric maps of steepness, slope exposure, and erosion potential of the relief (LS-factor) were compiled. For rural councils of these municipal districts, the weighted average values of absolute height, slope, LS factor, as well as vertical and horizontal terrain dissection were calculated. The studied territories of the north-west of the Tambov region are distinguished by flat terrain, with prevailing terrain slopes of less than 0.5° , weak dissection and low erosion potential. In the territorial entities studied within the municipal districts, the weighted average slopes are in the range of $0.2\text{--}0.9^\circ$, and the horizontal dissection of the relief is in the range from 0.2 to 0.8 km/km^2 . The results of the work will find application in the organization of rational land use; mapped values of slopes, exposures and erosion potential can become primary materials for the design of adaptive landscape farming systems at the regional level. Data on the erosion potential of the relief will be used to calculate soil erosion losses from melt, rain, and irrigation erosion.

Keywords: relief, digital elevation model (DEM), morphometric analysis, morphometric variables, geographic information system (GIS), land fund, land use, Tambov Region

For citation: Bukovskiy M.E., Kuzmin K.A. 2024. Morphometric Analysis of the Relief of the North-Western Part of Tambov Region. Regional geosystems, 48(2): 236–253. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-2-236-253

Введение

Характеристики природной среды, которые необходимо учитывать для эффективной и сбалансированной хозяйственной деятельности, такие как гидрологический и тепловой режим почв, освещённость, снежный покров, интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов, в значительной степени определяются геоморфологической основой – рельефом.

Вклад рельефа в дифференцированную организацию географического пространства отображают его морфометрические характеристики. Именно морфометрические факторы являются ключевыми в определении интенсивности экзогенных геоморфологических процессов, а также направления и объёма поверхностного стока [Безгодова, 2023]. Известно порядка двух сотен морфометрических характеристик [Ласточкин, 2004], но в большинстве исследований, связанных с количественной оценкой свойств земной поверхности, уделяют особое внимание нескольким показателям: абсолютная высота над уровнем моря, уклон поверхности, экспозиция, горизонтальное и вертикальное расчленение рельефа. Их можно назвать ведущими характеристиками, так как непосредственно от них зависит протекание многих природных и социально-экономических процессов. Изучение и картографирование данных величин является одной из традиционных задач в геоморфологии, но также имеет практическое значение для землепользования и земледелия. Так на основании многочисленных полевых опытов и наблюдений А.Н. Каштановым сформулирована теория агроэкологической неравнозначности склонов, отличающихся крутизной, длиной, формой и экспозицией [Каштанов, Явтушенко, 1997]. Все морфометрические величины взаимно изменяют и дополняют влияние друг друга на микроклиматические условия и особенности проявления экзогенных процессов [Каштанов, Явтушенко, 1997; Рычагов, 2006; Канатьева и др., 2012].

В умеренном климате с усилением расчленённости рельефа возрастает дренирование территории поверхностными водами. Вследствие того, что величины расчленённости важны для понимания эрозионной опасности рельефа, от их значений во многом зависит размещение систем земледелия для равнинных территорий [Кирюшин, 2011].

Ёмкую агроэкологическую нагрузку несёт крутизна склонов. Так как фактор уклона формирует поверхностный сток и во многом определяет опасность развития эрозии, он должен обязательно учитываться при проектировании систем земледелия. Проявление



эрозии, как отмечал М.Н. Заславский [1983], может наблюдаться при уклоне $0,5^\circ$ и даже $0,3^\circ$ при выпадении ливней на сильно переувлажнённую почву, или при стоке талых вод по поверхности оттаявшей почвы. Обычно на длинных склонах водная эрозия проявляется при уклонах $1-2^\circ$, а при уклонах $3-5^\circ$ можно наблюдать весьма заметное развитие эрозионных процессов [Кирюшин, 2011]. В почвоведении значения уклонов связывают со степенью смывности почв [Казаков, Милюткин, 2010; Лисецкий и др., 2012; Курбанов и др., 2019; Ларионов и др., 2022]. Для разных природных зон зависимость смывности почв от крутизны будет несколько отличаться.

По отношению к господствующим воздушным потокам склоны имеют наветренные и подветренные экспозиции. Так в условиях возвышенного рельефа может проявляться барьерный эффект, когда, например, ветровые склоны получают больше атмосферных осадков из влагонесущих потоков. При этом температура поверхности склона может зависеть не только от его прогреваемости, но и от адвекции тёплых и холодных воздушных масс. Кроме того, наветренные склоны удерживают меньше снега, чем подветренные. Из-за повышенной инсоляции на склонах южных экспозиций снеготаяние будет происходить интенсивней, чем на склонах северных экспозиций, вследствие этого увеличивается сток и уменьшается объём впитываемой влаги. Поэтому на южных склонах, как правило, сильнее выражены эрозионные процессы, вызванные стоком талых вод.

В сельскохозяйственной деятельности экспозиция склонов может иметь большое значение при ведении полевых работ и выборе выращиваемых культур. Из-за разницы в потерях влаги на испарение, при прочих равных условиях, склоны северных экспозиций наиболее увлажнённые, а склоны южных экспозиций – наиболее сухие. В засушливые годы на склонах северной экспозиции будут наблюдаться более благоприятные условия для посевов. Обратная ситуация сложится в годы с повышенным увлажнением. Поля, расположенные на субгоризонтальных междуречьях и на склонах разной экспозиции, будут готовы к весенним полевым работам в разные сроки. Даже когда сев проводился в одно время, растения на таких полях будут находиться в разных фазофазах [Рычагов, 2006].

Таким образом, разный гидротермический режим у склонов с отличающейся экспозицией создаёт определённые трудности, ведь непостоянные условия увлажнения на разных элементах рельефа требуют от агропроизводителей гибкости в проведении мероприятий по снегозадержанию, размещении сортов культур, изменении доз удобрений, корректировке сроков посева и норм высева семян [Каштанов, Явтушенко, 1997; Кирюшин и др., 2021; Просяников, 2023].

Помимо основных морфометрических величин существуют различные топографические индексы, вычисляемые алгоритмами специализированных инструментов ГИС-приложений. В вопросе изучения хорошо освоенных сельскохозяйственных районов с большой долей распаханых земель большое значение обретает расчёт и анализ *LS*-фактора (безразмерная величина), характеризующего эрозионный потенциал рельефа, где *L* – фактор влияния длины склона, а *S* – фактор влияния крутизны склона. В различных работах [Ларионов, 2000; Иванов, Ермолаев, 2017; Лисецкий и др., 2018; Полякова и др., 2021] можно встретить синонимичные названия *LS*-фактора: индекс потенциала плоскостной эрозии, коэффициент эрозионного потенциала рельефа, фактор рельефа, рельефная функция *LS*. Этот безразмерный коэффициент является одной из переменных универсального уравнения эрозии почвы, подробно описанного в работе Wischmeier, Smith [1978]. Впоследствии алгоритмы расчёта *LS*-фактора адаптировались для реализации в ГИС-среде [Desmet, Govers, 1996; Zhang et al., 2013; Moisa et al., 2022].

От количественных показателей рельефа зависят особенности использования земель, пути их аграрного и иного хозяйственного освоения. Достоверные данные о структуре конкретных территорий по геоморфологическим условиям необходимы для эффективного и экологически обоснованного использования земельных и водных ресурсов на

всех уровнях управления: от частного землевладения до региональных ведомств по вопросам природных ресурсов, сельского хозяйства и территориального планирования.

Объекты и методы исследования

Агропромышленная специализация Тамбовской области вместе с чёткой тенденцией интенсификации сельского хозяйства, в том числе развития орошаемого земледелия, определяют востребованность решения задачи по комплексной оценке земельного фонда региона с получением достоверных данных о его структуре. В данной работе был проведён морфометрический анализ рельефа двух муниципальных округов Тамбовской области, расположенных друг за другом в верхнем и среднем течении реки Воронеж. Анализ является частью исследования структуры и современной динамики использования земельного фонда региона на уровне муниципальных образований и их территорий. Можно отметить, что количественное изучение морфометрической структуры земельного фонда области на таком уровне детализации ранее не проводилось, основные морфометрические показатели рельефа не картографировались. Таким образом, актуальность исследования обусловлена недостаточностью данных о земельном фонде Тамбовской области в части его геоморфологической структуры.

Первомайский и Мичуринский муниципальные округа (МО) расположены на северо-западе Тамбовской области, занимая соответственно 1655,2 км² и 940,7 км². На муниципальном уровне Первомайский МО делится на 11 территорий, Мичуринский МО – на 14 территорий (рис. 1).

В схеме ландшафтного районирования данная часть области относится к Воронежскому физико-географическому району северной лесостепи [Дудник, 1980]. Климатические особенности подзоны северной лесостепи, благоприятные почвенные условия зональной полосы выщелоченных чернозёмов [Дудник, 2002], а также сложившаяся социально-экономическая структура сформировали здесь зерново-плодоводческий агропромышленный комплекс с развитым скотоводством [Инякина, 2009]. В распределении земель по категориям в данных муниципальных образованиях преобладают земли сельскохозяйственного назначения, 72,4 % у Мичуринского МО и 74,1 % у Первомайского МО. В структуре угодий преобладают пашня (53,1 и 43,7 %), кормовые угодья (15,6 и 26,7 %), леса и лесные насаждения (20,1 и 16,3 %) у Мичуринского и Первомайского МО соответственно [Доклад о состоянии и использовании ..., 2023].

Анализ геометрических свойств рельефа выделился из общей геоморфологии и стал междисциплинарным научным направлением. Методики морфометрического анализа, тесно связанные с картографическим методом исследования [Симонов, 1998] и опирающиеся на функциональные возможности программ для создания и работы с ГИС, активно используются во многих естественных науках. Основным приёмом при этом служит цифровое моделирование рельефа [Флоринский, 2016; Павлова, 2017; Новаковский, Пермяков, 2019].

В классическом определении Ю.Б. Баранова и А.М. Берлянта [Баранов и др., 1999] ЦМР является средством цифрового представления трёхмерных пространственных объектов (рельефа, поверхностей) в виде трёхмерных данных как совокупности высот, или отметок глубины, или иных значений аппликата. Информация о высоте может содержаться в узлах регулярной сети, образующей матрицу высот, либо нерегулярной сети, или в виде совокупности записей горизонталей или иных изолиний.

Для выполнения настоящего исследования необходимо было определиться с несколькими методическими вопросами:

1. Выбрать источник данных для цифрового моделирования рельефа;

2. Принять методику построения ЦМР, включая вопросы о пространственном разрешении модели, алгоритме интерполяции данных и выборе программной среды для моделирования;

3. Определить набор исследуемых морфометрических величин с их обоснованными градациями.

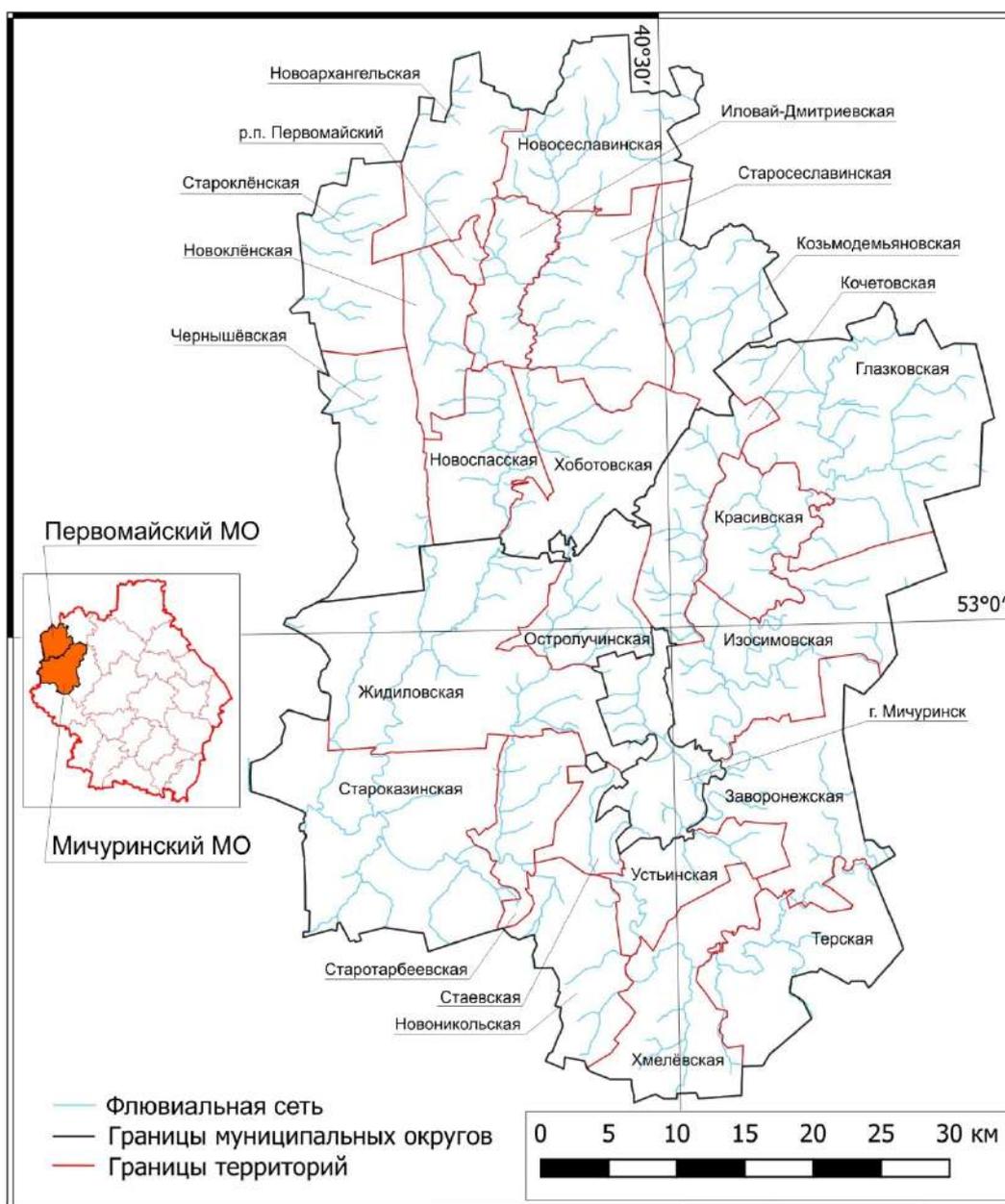


Рис. 1. Административно-территориальное деление
Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области
Fig. 1. Administrative-territorial division of Pervomaysky and Michurinsky municipal districts
of the Tambov region

Источниками данных для цифрового моделирования рельефа выступают топографические карты, материалы полевых съёмок и спутникового позиционирования, фотограмметрическая обработка снимков, как правило, произведённых с беспилотного летательного аппарата (БПЛА), а также данные космических съёмок. Каждый из источников имеет свои достоинства и недостатки, и выбор будет зависеть от цели и задач конкретного

исследования, сроков выполнения, допустимой точности, пространственного охвата, кроме того, могут сказываться финансовые и технические возможности исследователей.

Цифровые данные о рельефе, полученные со спутников, основываются на таких технологиях, как лидар, мультиспектральная съёмка, радиолокационная интерферометрия [Новаковский, Пермяков, 2019]. Такие матрицы высот имеют определённое ограничение по пространственному разрешению, но благодаря глобальному охвату и доступности получили широкое признание.

У глобальных ЦМР в силу ограничений спутникового зондирования существует проблема включения в рельеф высокой растительности и других «нерельефных» структур, что осложняет морфометрический анализ лесных и лесостепных ландшафтов. В полной мере сложности в анализе рельефа на основе данных ДЗЗ имели бы место при изучении территорий Тамбовской области, общая лесистость которой составляет примерно 10,6 % [Доклад о состоянии окружающей среды ..., 2023]. Крупные лесные массивы занимают значительные площади в центральной, северной и западной части региона и закрывают от дистанционного наблюдения рельеф многочисленных речных долин и балок. В специализированных программах для морфометрического анализа, таких как *SAGA GIS*, реализованы процедуры удаления фрагментов с искажённой высотой и последующего заполнения пустот интерполяционными методами. Возможно и ручное редактирование растров с высотами. Однако подобные процедуры корректировки хорошо подойдут для удаления локальных неточностей, таких как небольшие лесные массивы, лесозащитные насаждения вдоль полей, балок, искусственных водоёмов, объектов инфраструктуры.

Оцифровка топографических карт остаётся одним из основных источников информации о рельефе для цифрового моделирования [Павлова, 2017; Шихов и др., 2017]. Процедура создания ЦМР из данных топографической карты подразумевает перевод в векторный формат изолиний высоты (горизонталей), отметок высоты, урезов водных объектов, тальвегов речной сети. От выбора масштаба исходных картографических материалов будет зависеть детальность и достоверность извлекаемых картографических и морфометрических величин.

Выбор масштаба используемых карт связан с допустимой степенью генерализации топографических данных, зависит от целей исследования и направленности использования результатов. Как отмечает В.И. Кирюшин [2011], задачи агроэкологического районирования и проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия удобно решать созданием региональных агрогеоинформационных систем на базовом картографическом материале масштаба 1:100000 – 1:200000. При масштабе 1:100000 достаточно определённо отражается распределение агроэкологических групп земель и соответствующих им систем земледелия и агротехнологий. Существует возможность адресного вложения инвестиций, определения приоритетов, расчёта необходимых ресурсов, логистических затрат и объёмов производимой продукции. При более мелких масштабах эти возможности ограничены и приобретают обзорный характер.

Масштаб исходного картографического материала во многом обуславливает пространственное разрешение создаваемой ЦМР, то есть размер пикселя растровой модели. Определение подходящего размера ячейки также важно, как и выбор картографической основы, поэтому данному вопросу уделено внимание в ряде работ. Анализируя принципы выбора размера ячейки, Т. Hengl [2006] делает вывод, что для отображения большей части картографируемых изменений рельефа шаг сетки должен равняться как минимум половине среднего расстояния между горизонталями в пределах изучаемой области. Минимальный шаг сетки можно получить по гистограмме вариации расстояния между горизонталями с 5%-ной вероятностью. В соответствии с указанной выше работой, для условий расчленённого рельефа отчётливое разрешение ЦМР на основе картографических данных масштаба 1:50000 находится в диапазоне от 12 до 53,5 м, а при масштабе 1:5000 – от 1,6 до 13,3 м.



Другие авторы [Шихов и др., 2017] указывают на оптимальный размер ячейки растра ЦМР, равный 0,2 мм (примерная толщина горизонтали) в масштабе исходной карты. Например, при получении данных с карты масштаба 1:100000 размер ячейки составит 20 м, а 1:25000 – 5 м.

Для условий эрозионного рельефа Среднерусской возвышенности А.Г. Нарожней и Ж.А. Буряк [2016] установлено, что для цифрового моделирования и морфометрического анализа по топографическим картам масштабов 1:25000 и 1:200000 оптимальным размером ячейки, обеспечивающим точность без избыточности данных, будет 30 м и 200 м соответственно.

От шага сетки ЦМР будет зависеть точность извлекаемых морфометрических величин. С уменьшением пространственного разрешения погрешность ЦМР увеличивается, особенно для районов со сложным расчленённым рельефом. В работе J.P. Walker, G.R. Willgoose [1999] отмечается варьирование параметров рельефа при изменении шага сетки, по сравнению с более устойчивыми параметрами русловой сети.

При сравнении моделей рельефа, построенных на основе карт масштаба 1:200000 и 1:50000, К.А. Мальцевым [2006] установлено, что значения уклонов, рассчитанные по ЦМР масштаба 1:200000, несколько занижены в сравнении с уклонами, вычисленными по ЦМР масштаба 1:50000. В исследовании А.Г. Нарожней и Ж.А. Буряк [2016] показано, что изменение пространственного разрешения ЦМР наибольшим образом влияет на показатель крутизны. При разрешении модели 200 м, полученной из карты масштаба 1:200000, склоны речных долин, балок и оврагов отображаются некорректно, сливаясь с соседними гипсометрическими уровнями приводораздельных склонов и водоразделов. Наиболее крутые склоны, крутизной более 5° почти полностью нивелируются. Таким образом, чем больше расчленён рельеф, тем более значительные ошибки возникают при расчёте крутизны при уменьшении масштаба карты. По этой же причине от масштаба ЦМР зависит распределение вертикальной расчленённости рельефа. При этом в меньшей степени от масштаба зависит пространственное распределение экспозиции. Процентные доли от занимаемой площади у склонов разной ориентации при уменьшении масштаба слабо изменяются.

Для выполнения исследования регионального охвата в качестве исходных картографических материалов для цифрового моделирования рельефа были взяты карты масштаба 1:100000. Шаг сетки ЦМР составил 30 м, что соответствует выбранному масштабу карты и делает реализуемую ЦМР сопоставимой по пространственному разрешению с глобальными спутниковыми данными о рельефе, например, такими как *SRTM*.

Для построения ЦМР был использован инструмент «Topo to Raster» из модуля для пространственного моделирования и анализа «*Spatial Analyst*» программной среды *ArcGIS*. Инструмент основан на хорошо зарекомендовавшем себя среди ГИС-специалистов методе М. Хатчинсона [Hutchinson, 1989], впервые реализованном в разработанной им программе для построения ЦМР ANUDEM. Данный метод интерполяции предназначен для создания гидрологически корректных ЦМР по топографическим картам. На интерполяцию значений высот накладываются ограничения в виде связанной сети водных потоков, барьерных контуров и полигонов, что позволяет получить ЦМР с корректным представлением гидрографической сети и связанной структурой водосборов.

После подготовки ЦМР потребовалось создать векторный слой с границами муниципальных образований. Границы муниципальных округов и их сельсоветов были построены автоматически в векторном формате с помощью программы для обработки геодезических данных «ПроГео» по координатным точкам, взятым из приложений к Законам Тамбовской области об установлении границ муниципальных образований. Из исследования исключались территории городских поселений: города Мичуринск, являющегося самостоятельным городским округом, и рабочего посёлка Первомайский.

Гипсометрическая карта выполнена с шагом ступеней 10 м, что соответствует сечению рельефа с учётом дополнительных горизонталей исходных топографических карт масштаба 1:100000. Высота определяется в Балтийской системе высот.

При картографировании крутизны, экспозиции и *LS*-фактора были приняты градации, оптимальным образом соответствующие равнинному характеру территории региона и прикладному применению результатов исследования.

Создание морфометрических карт крутизны и экспозиции склонов выполнено в программе *QGIS* инструментами анализа рельефа по входному растру ЦМР. Значения ячеек полученных выходных растров крутизны и экспозиции классифицировались согласно принятым градациям. Для уклонов принята градация, основанная на делении, предложенном В.И. Кирюшиным для агроэкологической классификации земель [2011] с некоторыми дополнениями. В частности, из категории равнинных земель с уклоном $< 1^\circ$ было решено выделить категорию $< 0,5^\circ$ – наименее подверженные водной эрозии субгоризонтальные поверхности. Экспозиция рассматривалась в четырёх категориях: северная, южная, в категорию «нейтральной» объединены восточная и западная экспозиции, а также субгоризонтальные территории с уклонами $< 0,5^\circ$, для которых экспозиция не определялась.

Морфометрическая карта эрозионного потенциала рельефа (*LS*-фактора) также построена из начального растра ЦМР. Для расчёта *LS*-фактора был применён алгоритм, описанный в работе Desmet, Govers [1996], и реализованный в инструменте программы *SAGA GIS*. Значения *LS*-фактора классифицированы согласно следующей градации: $< 0,1$, $0,1-0,5$, $0,5-1$, > 1 .

Инструментом «зональной статистики» в пределах каждой территории МО рассчитывалась вертикальная расчленённость посредством разности максимальной и минимальной высоты по растру ЦМР, и густота расчленения по векторному слою с тальвегами. Сеть тальвегов, снятая с исходных топографических карт масштаба 1:100000, содержит как речную, так и овражно-балочную сеть, поэтому получаемая характеристика горизонтальной расчленённости будет являться густотой флювиальной сети. При этом следует учесть, что в совокупность временных и постоянных русел, перенесённых с карты масштаба 1:100000, не будут входить наиболее мелкие звенья овражно-балочной сети, выпадающие при таком уровне генерализации.

Тем же инструментом «зональной статистики» для Первомайского и Мичуринского МО и их территорий получены средневзвешенные значения абсолютной высоты, крутизны, *LS*-фактора.

Результаты и их обсуждение

Ниже представлены гипсометрическая карта (рис. 2), морфометрические карты крутизны (рис. 3), экспозиций склонов (рис. 4), распределения *LS*-фактора (рис. 5) на территории двух МО Тамбовской области.

В таблице представлены средневзвешенные значения абсолютной высоты, крутизны, *LS*-фактора, вертикальная и горизонтальная расчленённость рельефа для территорий МО.

Территории северо-западных МО Тамбовской области можно охарактеризовать как довольно плоскую равнину со слабо расчленённым рельефом (см. рис. 2, 3). Средние высоты над уровнем моря у данных муниципалитетов составили порядка 143 и 156 м. В распределении уклонов здесь преобладают уклоны менее $0,5^\circ$, в Мичуринском МО занимающие более 56 % площади, а в Первомайском МО – 79 %. У некоторых территорий Первомайского МО земли с уклонами менее $0,5^\circ$ занимают более 80–90 % площади.

Доля земель с уклонами $0,5-1^\circ$ составляет 15,7 % в Первомайском МО, и 27 % – в Мичуринском МО. Для земель с уклонами $1-2^\circ$ составляет 4,8 % в Первомайском МО и 12,6 % в Мичуринском МО.

Эродированные и эрозионноопасные склоны крутизной более 2° занимают 4,1 и 0,45 % территории Мичуринского и Первомайского МО соответственно, и приурочены к террасам речных долин и склонам балок. Наибольших значений уклоны достигают на склонах долин рек Воронеж и его притоков: Польной и Лесной Воронеж, Турмасовка, Кочетовка, Алешня, Иловой. С учётом пространственного разрешения растровой ячейки 30 м зафиксированы максимальные уклоны чуть более 7° в Мичуринском МО.

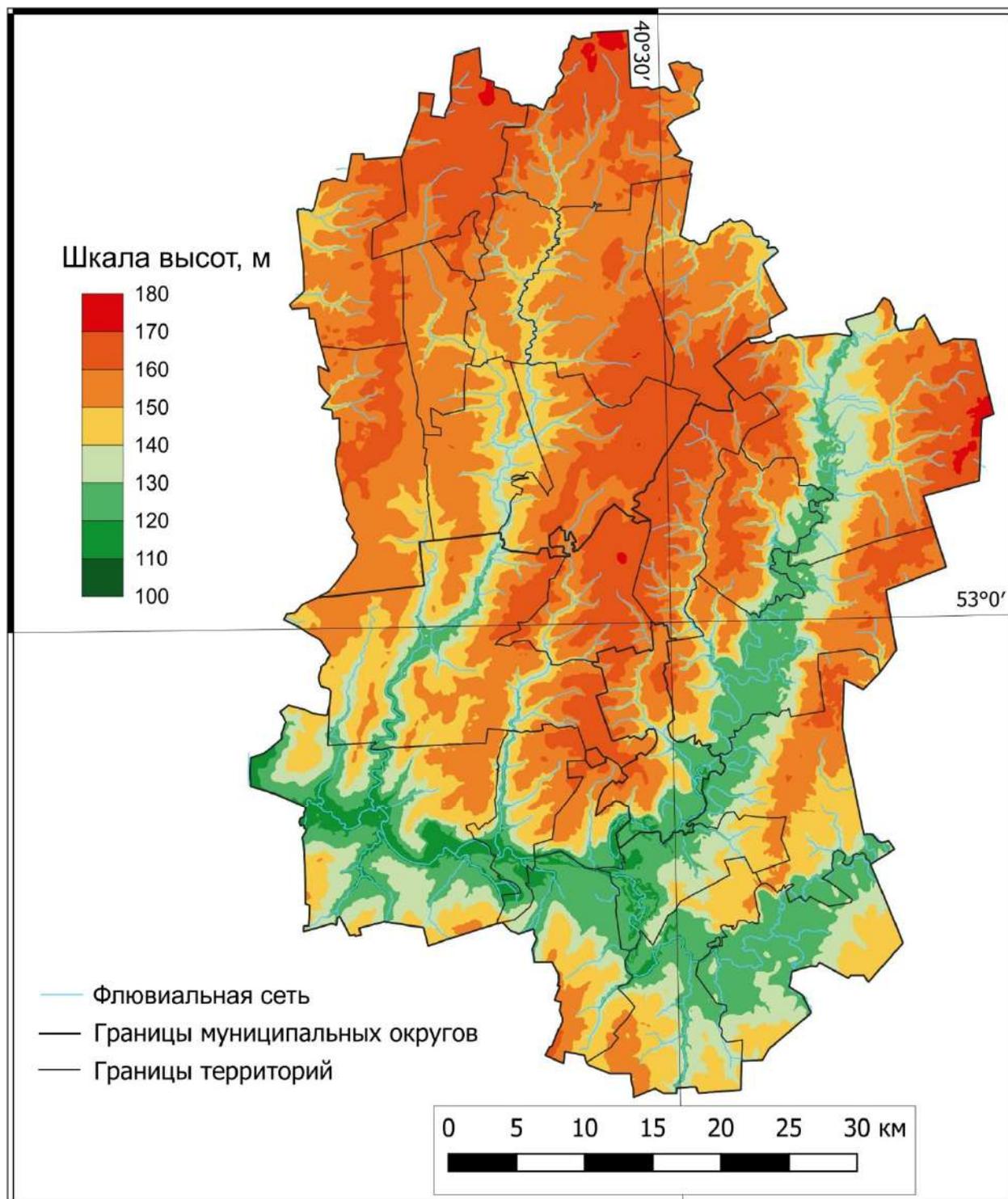


Рис. 2. Гипсометрическая карта Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области
Fig. 2. Hypsometric map of Pervomaisky and Michurinsky municipal districts of the Tambov region

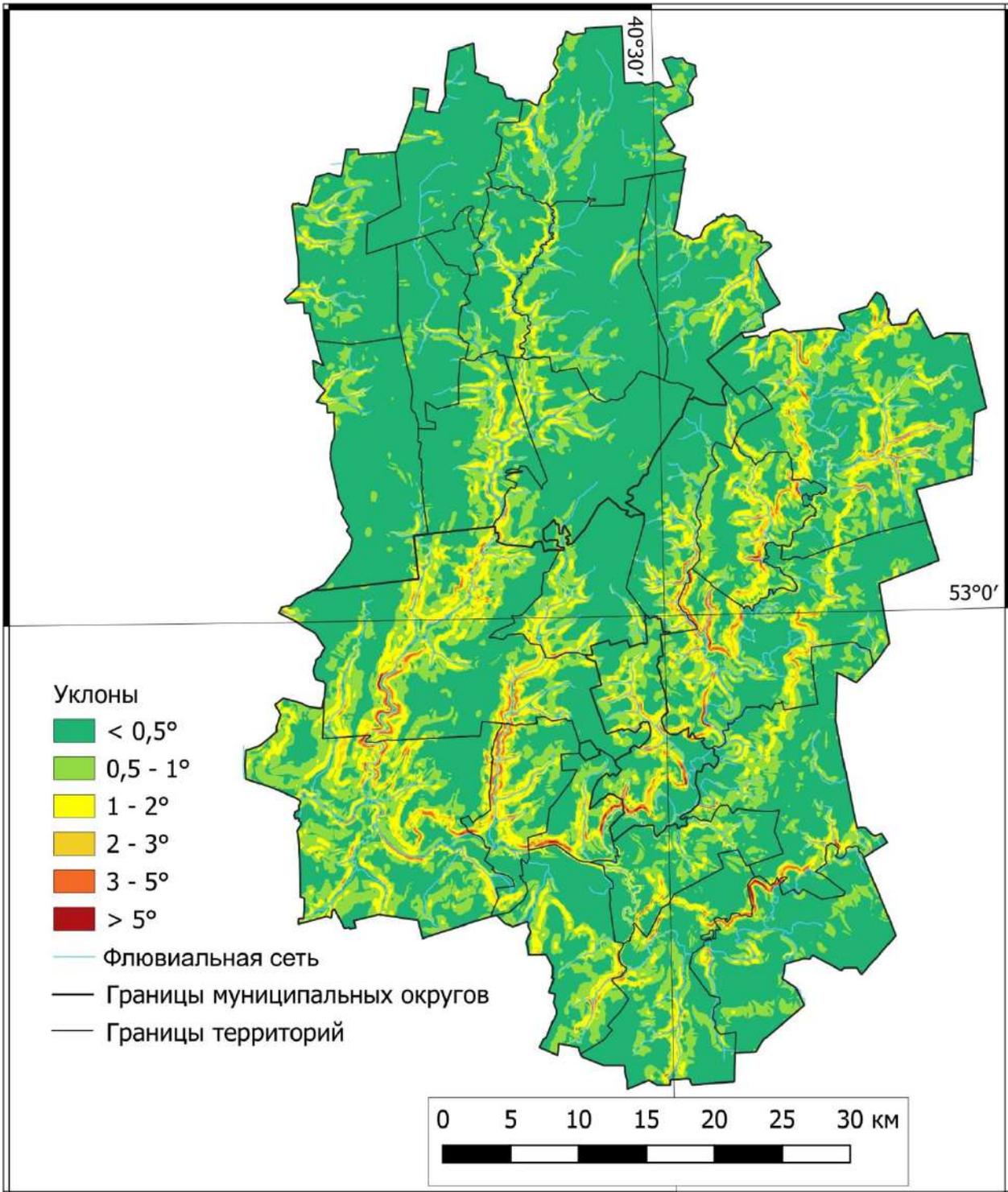


Рис. 3. Распределение крутизны склонов на территории
Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области

Fig. 3. Distribution of slope steepness in the territory
of Pervomaysky and Michurinsky municipal districts of the Tambov region

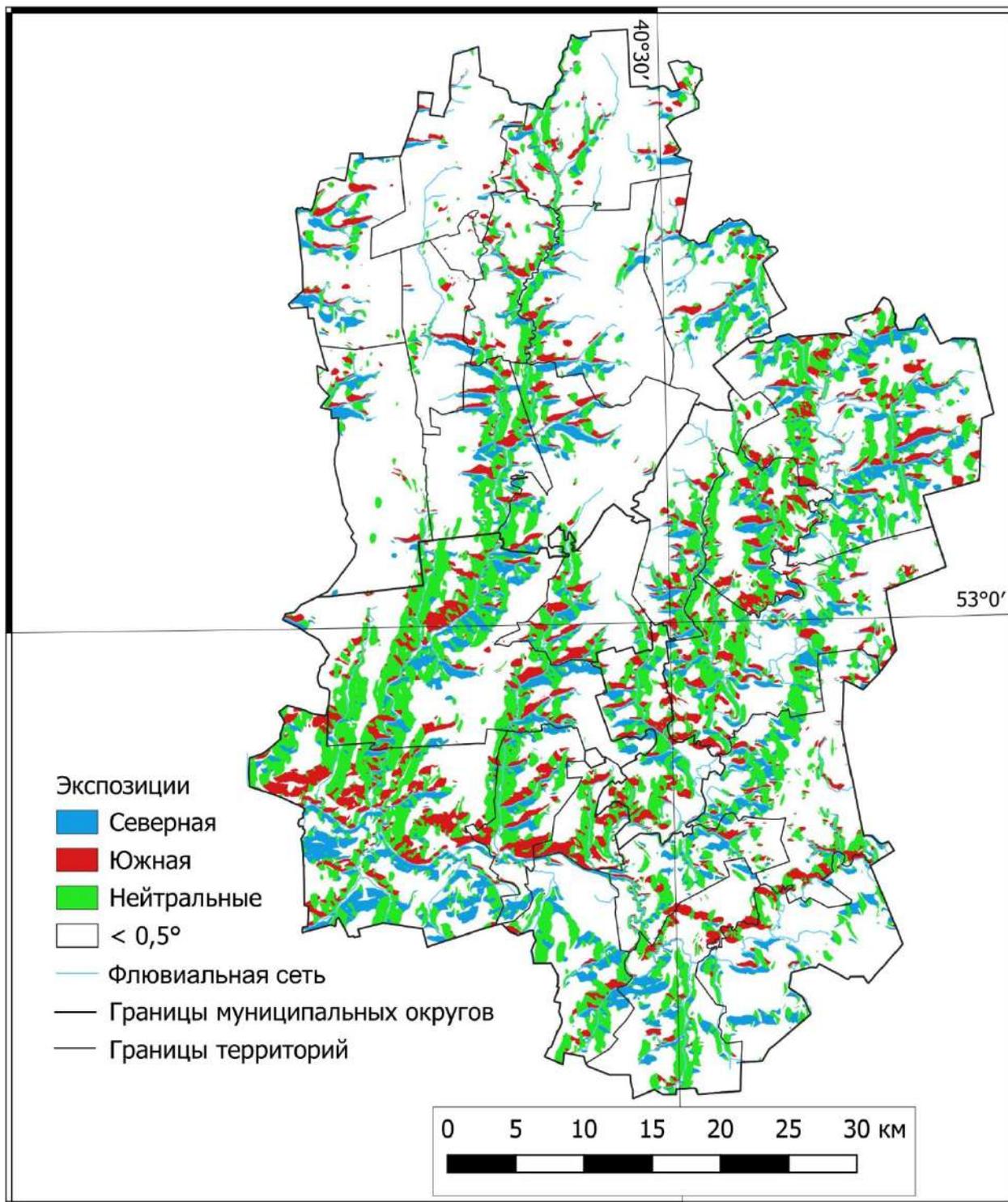


Рис. 4. Распределение экспозиций склонов на территории Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области

Fig. 4. Distribution of slope exposures on the territory of the Pervomaisky and Michurinsky municipal districts of the Tambov region

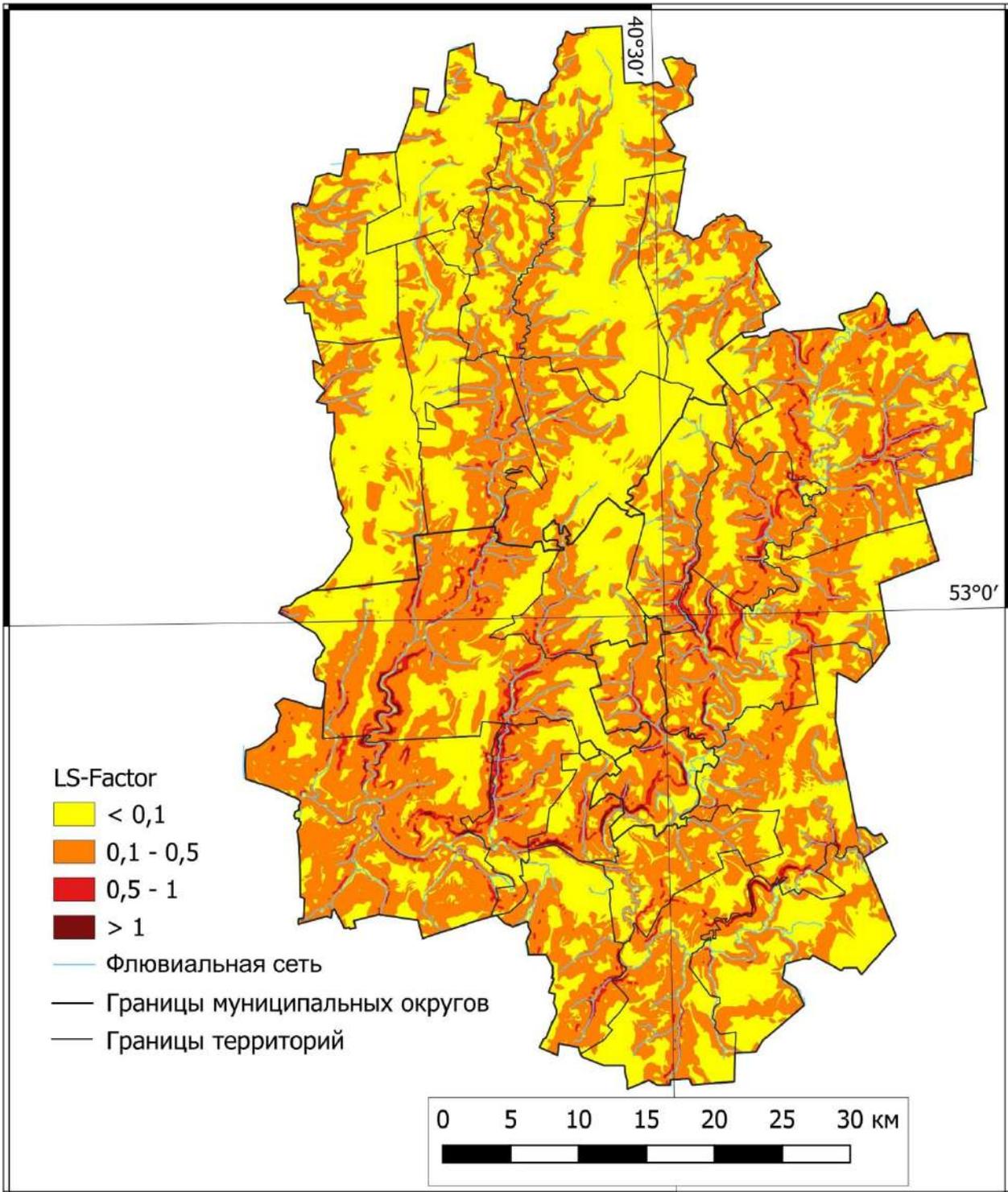


Рис. 5. Распределение *LS*-фактора на территории
Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области

Fig. 5. Distribution of the *LS*-factor in the Pervomaisky and Michurinsky municipal districts
of the Tambov region



Морфометрические характеристики территорий
Первомайского и Мичуринского МО Тамбовской области
Morphometric parameters of village councils of Pervomaisky and Michurinsky municipal
districts of the Tambov region

Территории	Средневзв. высота, м	Средневзв. крутизна, °	Вертикал. расчленение, м	Густота флювиальной сети, км/км ²	Средневз. значение LS-фактора
Мичуринский МО	142,97	0,62	64,60	0,46	0,19
Глазковская	149,65	0,62	50,22	0,56	0,18
Жидиловская	147,30	0,69	45,80	0,37	0,21
Заворонежская	142,83	0,50	41,73	0,53	0,15
Изосимовская	142,97	0,65	47,31	0,61	0,20
Кочетовская	158,82	0,52	40,04	0,71	0,16
Красивская	148,66	0,78	39,51	0,75	0,23
Новоникольская	136,09	0,55	47,72	0,47	0,17
Остролучинская	158,86	0,48	33,74	0,51	0,15
Стаевская	142,42	0,90	46,54	0,68	0,28
Староказинская	132,92	0,71	46,98	0,39	0,22
Старотарбеевская	141,65	0,87	49,24	0,54	0,27
Терская	131,67	0,41	33,92	0,46	0,13
Устьинская	131,16	0,51	37,48	0,52	0,16
Хмельёвская	136,88	0,49	35,77	0,40	0,15
Первомайский МО*	155,99	0,35	44,14	0,40	0,11
Иловай- Дмитриевская	150,73	0,48	25,80	0,83	0,14
Козьмодемьяновская	154,69	0,41	33,50	0,62	0,13
Новоархангельская	163,06	0,23	16,18	0,30	0,08
Новоклёнская	153,43	0,29	19,02	0,32	0,10
Новоселавинская	159,38	0,33	27,18	0,58	0,10
Новоспасская	147,81	0,55	30,99	0,46	0,17
Староклёнская	155,54	0,36	29,95	0,33	0,11
Староселавинская	156,71	0,31	33,94	0,48	0,10
Хоботовская	157,10	0,39	41,79	0,31	0,13
Чернышёвская	155,72	0,27	23,96	0,18	0,09

* – без учёта рабочего посёлка Первомайский.

По показателю крутизны в Первомайском МО выделяется территория Новоспасская, в структуре которой значимы доли площадей с уклонами 0,5–1° (около 26 %), 1–2° (13 %), 2–3° (1,2 %). Территории Красивская, Стаевская, Староказинская и Старотарбеевская Мичуринского МО имеют существенные доли площади с уклонами 0,5–1° (25–37 %), 1–2° (16–20 %), 2–3° (3–7 %), более 3° (1–5 %).

Как и уклоны местности, горизонтальное расчленение в исследуемом районе также невелико. Густота флювиальной сети составила в Первомайском МО 0,4 км/км², Мичуринском МО – 0,46 км/км². Вертикальная расчленённость рельефа двух округов составила 44 м и 65 м у Первомайского и Мичуринского МО соответственно.

При этом у территории Красивской густота флювиальной сети достигает 0,75 км/км², а у Жидиловской – 0,37 км/км². У территории Глазковской отмечено наибольшее вертикальное расчленение – 50 м, у территории Остролучинской оно составило порядка 34 м.

В Первомайском МО наибольшая густота флювиальной сети характерна для территории Иловай-Дмитриевской – 0,83 км/км², наименьшая – отмечена у территории Черны-

шёвской, и составила всего 0,18 км/км². У территории Хоботовской вертикальное расчленение составило 42 м, у Новоархангельской – 16 м.

Таким образом, морфометрическая структура рельефа по крутизне склонов и общей расчленённости у территорий внутри МО значительно отличается, так как приречные территории муниципалитетов обладают повышенными величинами морфометрических показателей в сравнении с территориями на водоразделах.

Экспозиция (см. рис. 4) определена для площадей крутизной более 0,5°, то есть для 21 % площади Первомайского МО и 44 % площади Мичуринского МО. Из них в Мичуринском МО более половины площади занимают склоны нейтральных экспозиций, склоны северной и южной экспозиции имеют практически равные площади – по 21,5 %. В Первомайском МО заметнее преобладание склонов северной экспозиции над склонами южной – 26,6 % против 21,9 %. Склоны с нейтральной экспозицией также занимают более половины площади склонов – 51,5 %. Преобладание склонов с нейтральной экспозицией объясняется меридиональным или близким к меридиональному протяжением основных рек данной местности. При этом в структуре земель территорий доли экспозиций по занимаемой площади существенно отклоняются от средних по муниципалитетам. Так в Мичуринском МО у территории Новоникольской склоны северной экспозиции преобладают над склонами южной экспозиции более чем в 3 раза (28,4 % против 9,1 %), при доле склонов нейтральных экспозиций 62,5 %. У территории Стаевской на долю склонов южной экспозиции приходится 44,1 %, а на долю склонов северной экспозиции – всего 2,3 %, что объясняется компактным расположением территории на северном берегу реки Воронеж, имеющей в данном месте субширотную направленность.

Подавляющая доля изученных земель имеет значения *LS*-фактора меньше 0,5 (см. рис. 5). В Мичуринском МО преобладает категория со значениями 0,1–0,5 (56,9 %), занимая в некоторых территориях до 69,8 %. Значения *LS*-фактора более 1 характерны для незначительных площадей, достигая максимум доли 4,5 % в территории Стаевской. В Первомайском МО преобладают значения меньше 0,1 (60,1 %), в отдельных территориях на их долю приходится от 38,3 % до 79,2 %.

Заключение

У муниципалитетов северо-запада Тамбовской области в пространственном отношении установлено преобладание плакорных земель с крутизной склонов менее 1°, слабым горизонтальным расчленением (менее 0,5 км/км²) и малым перепадом высот, составляющим первые десятки метров. Такие земли в полной мере отражают зонально-провинциальные условия и традиционную для данной территории зональную систему земледелия с её набором культур и стандартной агротехникой. Склоновые земли занимают приречное положение и их доля незначительна.

Тем не менее, контрастное положение в структурных уровнях рельефа у территорий внутри муниципалитетов подтверждает важность рассмотрения морфометрических параметров дискретно для каждой территории. Это даст возможности управления земельным фондом муниципалитетов на уровне территорий, адресного распределения инвестиций и соблюдения очередности природоохранных проектов.

Полученные данные о крутизне, экспозиции, вертикальном и горизонтальном расчленении рельефа в виде справочных значений и картографического материала могут найти применение при проектировании региональных адаптивно-ландшафтных систем земледелия, оптимизации структуры сельскохозяйственных угодий на принципах экологической устойчивости. При этом, в случае выявления зон экологического напряжения, для более детального рассмотрения структуры землепользования потребуются дополнительные материалы спутниковой съёмки, материалы почвенных и климатических исследований, более крупномасштабная картографическая основа.



Полученные данные о значениях эрозионного потенциала рельефа (*LS*-фактора) в дальнейшем найдут применение для расчётов среднегодовых потерь почвы от дождевой и талой эрозии, оценок ирригационной эрозии на орошаемых землях.

Для использования материалов морфометрических исследований конкретными землепользователями и управляющими органами актуален вопрос проведения интегральной оценки эрозионной опасности рельефа в балльной форме на основе ключевых морфометрических параметров.

Список источников

- Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. 1999. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. Москва, ГИС-Ассоциация, 204 с.
- Доклад о состоянии и использовании земель в Тамбовской области в 2022 году. 2023. Тамбов, 85 с.
- Доклад о состоянии окружающей среды Тамбовской области в 2022 году. 2023. Тамбов, 213 с.
- Заславский М.Н. 1983. Эрозиоведение. Москва, Высшая школа, 320 с.
- Курбанов С.А., Магомедова М.Д., Омариёв Ш.Ш. 2019. Защита почв от эрозии. Махачкала, Дагестанский ГАУ, 156 с.
- Новаковский Б.А., Пермяков Р.В. 2019. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: учебное пособие. Москва, Изд-во МИИГАиК, 175 с.
- Рычагов Г.И. 2006. Общая геоморфология. Москва, Изд-во Московского университета, Наука, 416 с.
- Симонов Ю.Г. 1998. Морфометрический анализ рельефа. Москва-Смоленск, Изд-во СГУ, 272 с.
- Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. 2017. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа. Пермь, Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского университета, 88 с.

Список литературы

- Безгодова О.В. 2023. Морфометрический анализ территории верховья р. Иркут. Региональные геосистемы, 47(2): 282–295. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-2-282-295>.
- Дудник Н.И. 1980. Природные ресурсы и ландшафты Тамбовской области. Тамбов, Изд-во ТГПИ, 144 с.
- Дудник Н.И. 2002. Региональные ландшафтные особенности Тамбовской области. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 7(1): 119–124.
- Иванов М.А., Ермолаев О.П. 2017. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным SRTM и Aster GDEM. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14(2): 98–109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Инякина Е.Е. 2009. Агропромышленное районирование Тамбовской области. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 14(1): 173–176.
- Казаков Г.И., Милюткин В.А. 2010. Системы земледелия и агротехнологии возделывания полевых культур в Среднем Поволжье. Самара, Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 261 с.
- Канатъева Н.П., Добровольская Н.Г., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф. 2012. Геоморфологическая составляющая динамики современных делювиальных процессов северной части Приволжской возвышенности. Геоморфология, 3: 44–52.
- Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. 1997. Агроэкология почв склонов. Москва, Колос, 240 с.
- Кирюшин В.И., Дубачинская Н.Н., Юрова А.Ю. 2021. Комплексная оценка сельскохозяйственных земель на примере Южного Урала. Почвоведение, 11: 1363–1375. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21110083>.
- Кирюшин В.И. 2011. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. Москва, КолосС, 443 с.
- Ларионов Г.А. 2000. Разномасштабная оценка и картографирование природной опасности эрозии почв. Эрозия почв и русловые процессы, 12: 49–62.

- Ларионов Г.А., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Горобец А.В. 2022. Основы эрозии и оценка эродируемости почв (теория, эксперимент). Москва, Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 167 с.
- Ласточкин А.Н. 2004. Основные составляющие морфологических исследований в геоморфологических и смежных науках. В кн.: Морфология рельефа. Москва, Научный мир: 24–46.
- Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Маринина О.А. 2018. Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области). Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки, 160(3): 500–513.
- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. 2012. Современные проблемы эрозиоведения. Белгород, Константа, 456 с.
- Мальцев К.А. 2006. Морфометрический анализ рельефа Республики Татарстан средствами ГИС-технологий. Дис. ... канд. геогр. наук. Казань, 235 с.
- Нарожняя А.Г., Буряк Ж.А. 2016. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 25(246): 169–178.
- Павлова А.И. 2017. Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа. Автометрия, 53(2): 86–94. <https://doi.org/10.15372/AUT20170210>.
- Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б. 2021. Применение геоморфометрического анализа рельефа при осуществлении хозяйственной деятельности на территории Архангельской области. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2: 86–95. <https://doi.org/10.31857/S0869780921020065>.
- Просьянников Е.В. 2023. Типология и классификация пахотных земель Брянской области для адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии, 1(95): 20–26. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2023-95-1-20-26>.
- Флоринский И.В. 2016. Иллюстрированное введение в геоморфометрию. Альманах пространство и время, 11(1): 18.
- Desmet P.J.J., Govers G. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5): 427–433.
- Hengl T. 2006. Finding the Right Pixel Size. Computers & Geosciences, 32(9): 1283–1298. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008>.
- Hutchinson M.F. 1989. A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. Journal of Hydrology, 106(3–4): 211–232. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5).
- Moisa M.B., Dejene I.N., Merga B.B., Gemeda D.O. 2022. Soil Loss Estimation and Prioritization Using Geographic Information Systems and the RUSLE Model: a Case Study of the Anger River Sub-Basin, Western Ethiopia. Journal of Water and Climate Change, 13(3): 1170–1184. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.433>.
- Walker J.P., Willgoose G.R. 1999. On the Effect of Digital Elevation Model Accuracy on Hydrology and Geomorphology. Water Resources Research, 35(7): 2259–2268. <https://doi.org/10.1029/1999WR900034>.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook No. 703. Washington, DC, United States Department of Agriculture, 65 p.
- Zhang H., Yang Q., Li R., Liu Q., Moore D., He P., Ritsema C.J., Geissen V. 2013. Extension of a GIS Procedure for Calculating the RUSLE Equation LS factor. Computers & Geosciences, 52: 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027>.

References

- Bezgodova O.V. 2023. Morphometric Analysis of the Upper Irkut River Territory. Regional Geosystems, 47(2): 282–295 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-2-282-295>.
- Dudnik N.I. 1980. Prirodnyye resursy i landshafty Tambovskoy oblasti [Natural Resources and Landscapes of the Tambov Region]. Tambov, Publ. TGPI, 144 p.



- Dudnik N.I. 2002. Regionalnyye landshaftnyye osobennosti Tambovskoy oblasti [Regional Landscape Features of the Tambov Region]. *Bulletin of Tambov University. Series: Natural and technical sciences*, 7(1): 119–124.
- Ivanov M.A., Ermolaev O.P. 2017. Geomorphometric Analysis of River Basins of the Volga Federal District Using SRTM and Aster GDEM Data. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14(2): 98–109 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-2-98-109>.
- Inyakina E.E. 2009. Agroindustrial Zoning of Tambov Region. *Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Engineering Sciences*, 14(1): 173–176 (in Russian).
- Kazakov G.I., Milyutkin V.A. 2010. Sistemy zemledelija i agrotehnologii vozdevyvanija polevyh kul'tur v Srednem Povolzh'e [Farming Systems and Agrotechnologies for Cultivating Field Crops in the Middle Volga Region]. Samara, Publ. Samarskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya, 261 p.
- Kanatieva N.P., Dobrovolskaya N.G., Krasnov S.F., Litvin L.F. 2012. Morpholithodynamic Factors of Recent Soil Erosion in the Northern Part of the Privolzhskaya Highland. *Geomorphology*, 3: 44–52 (in Russian).
- Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. 1997. *Agrojekologija pochv sklonov [Agroecology of Slope Soils]*. Moscow, Publ. Kolos, 240 p.
- Kiryushin V.I., Dubachinskaya N.N., Yurova A.Yu. 2021. Comprehensive Assessment of Agricultural Land by the Example of the Southern Urals. *Eurasian Soil Science*, 54(11): 1721–1731 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229321110089>.
- Kiryushin V.I. 2011. *Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledelija i proektirovanie agrolandshaftov [The Theory of Adaptive Landscape Agriculture and the Design of Agricultural Landscapes]*. Moscow, Publ. KolosS, 443 p.
- Larionov G.A. 2000. Raznomasshtabnaya otsenka i kartografirovaniye prirodnoy opasnosti erozii pochv [Multiscale Assessment and Mapping of Natural Soil Erosion Hazards]. *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy*, 12: 49–62.
- Larionov G.A., Krasnov S.F., Litvin L.F., Gorobets A.V. 2022. *Osnovy erozii i otsenka erodiruyemosti pochv (teoriya, eksperiment) [Fundamentals of Erosion and Assessment of Soil Erodibility (Theory, Experiment)]*. Moscow, Publ. Faculty of Geography, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 167 p.
- Lastochkin A.N. 2004. *Osnovnyye sostavlyayushchiye morfologicheskikh issledovaniy v geomorfologicheskikh i smezhnykh naukakh [Basic Components of Morphological Research in Geomorphological and Related Sciences]*. *Morfologija rel'efa [Relief Morphology]*. Moscow, Publ. Nauchnyj mir: 24–46.
- Lisetsky F.N., Buryak Zh.A., Marinina O.A. 2018. Geomorphological Asymmetry of River Basins Belonging to Different Orders (Based on the Belgorod Region). *Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences*, 160(3): 500–513 (in Russian).
- Lisetsky F.N., Svetlichny A.A., Cherny S.G. 2012. *Recent Developments in Erosion Science*. Belgorod, Publ. Constanta, 456 p. (in Russian).
- Maltsev K.A. 2006. *Morfometricheskij analiz relyefa Respubliki Tatarstan sredstvami GIS-tehnologiy [Morphometric Analysis of the Relief of the Republic of Tatarstan Using GIS Technologies]*. Dis. ... cand. geogr. sciences. Kazan, 235 p.
- Narozhnaya A.G., Buryak Zh.A. 2016. Morphometric Analysis of Digital Elevation Models of the Belgorod Region at Different Degrees of Generalization. *Scientific bulletins of Belgorod State University. Series: Natural Sciences*, 25(246): 169–178 (in Russian).
- Pavlova A.I. 2017. Analysis of Elevation Interpolation Methods for Creating Digital Elevation Models. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 53(2): 171–177 (in Russian). <https://doi.org/10.3103/S8756699017020108>.
- Polyakova E.V., Kutinov Yu.G., Mineev A.L., Chistova Z.B. 2021. The Use of Geomorphometric Analysis of the Relief Upon Economic Activity in the Arkhangelsk Region. *Geocology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*, 2: 86–95 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869780921020065>.
- Prosyannikov E.V. 2023. Typology and Classification of Arable Lands in the Bryansk Region for Adaptive Landscape Farming Systems. *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*, 1(95): 20–26 (in Russian). <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2023-95-1-20-26>.

- Florinsky I.V. 2016. An Illustrated Introduction to Geomorphometry. *Almanac Space and Time*, 11(1): 18 (in Russian).
- Desmet P.J.J., Govers G. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5): 427–433.
- Hengl T. 2006. Finding the Right Pixel Size. *Computers & Geosciences*, 32(9): 1283–1298. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.008>.
- Hutchinson M.F. 1989. A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. *Journal of Hydrology*, 106(3–4): 211–232. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5).
- Moisa M.B., Dejene I.N., Merga B.B., Gameda D.O. 2022. Soil Loss Estimation and Prioritization Using Geographic Information Systems and the RUSLE Model: a Case Study of the Anger River Sub-Basin, Western Ethiopia. *Journal of Water and Climate Change*, 13(3): 1170–1184. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.433>.
- Walker J.P., Willgoose G.R. 1999. On the Effect of Digital Elevation Model Accuracy on Hydrology and Geomorphology. *Water Resources Research*, 35(7): 2259–2268. <https://doi.org/10.1029/1999WR900034>.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook No. 703*. Washington, DC, United States Department of Agriculture, 65 p.
- Zhang H., Yang Q., Li R., Liu Q., Moore D., He P., Ritsema C.J., Geissen V. 2013. Extension of a GIS Procedure for Calculating the RUSLE Equation LS factor. *Computers & Geosciences*, 52: 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027>.

*Поступила в редакцию 08.05.2024;
поступила после рецензирования 27.05.2024;
принята к публикации 05.06.2024*

*Received May 08, 2024;
Revised May 27, 2024;
Accepted June 05, 2024*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Буковский Михаил Евгеньевич, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, заведующий лабораторией агроклиматического и водно-ресурсного потенциалов территорий, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

Кузьмин Кирилл Алексеевич, аспирант кафедры экологии и природопользования, лаборант лаборатории агроклиматического и водно-ресурсного потенциалов территорий, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail E. Bukovskiy, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Head of the Laboratory of Agroclimatic and Water-Resource Potentials of Territories, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

Kirill A. Kuzmin, Postgraduate student of the Department of Ecology and Environmental Management, Laboratory assistant at the Laboratory of Agroclimatic and Water-Resource Potentials of Territories, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia