



УДК 551.4+91:004

Дмитрий КУРЛОВИЧ,
доцент кафедры почвоведения
и земельных информационных систем
географического факультета БГУ,
кандидат географических наук

Морфометрический ГИС-анализ рельефа Беларуси

В статье описана оригинальная методика морфометрического ГИС-анализа рельефа Беларуси. В результате исследований с помощью стандартных инструментов, а также разработанных геоинформационных моделей в среде ГИС ArcGIS 9.3 построены в автоматическом режиме по SRTM-модели рельефа Беларуси основные морфометрические показатели (крутизна и экспозиция склонов, глубина, густота и общий показатель расчленения). По результатам ГИС-анализа комплекса полученных показателей разработана новая схема морфометрического районирования, согласно которой территория Беларуси подразделяется на 5 областей и 60 районов. Методику расчетов морфометрических показателей рекомендуется использовать при решении задач сельского хозяйства, землеустройства, почвоведения, строительства зданий и сооружений, инфраструктурных объектов, а также мелиоративных сетей

Введение

Рельеф является одним из ведущих компонентов географической оболочки. Он оказывает значительное влияние на мезо- и микроклиматические характеристики территории, определяет особенности формирования и развития поверхностного стока, почвенного покрова, растительности, животного мира, обуславливая, таким образом, ландшафтную дифференциацию территории. Кроме того, рельеф является одним из основных факторов возникновения и развития мест поселения человека, он определяет особенности антропогенеза с точки зрения сельскохозяйственной деятельности и строительства объектов инфраструктуры.

Анализ вклада рельефа в функционирование природных, природно-антропогенных и антропогенных геосистем требует его количественной характеристики. Морфометрический анализ представляет собой методику геоморфологических исследований, в которой количественные характеристики форм рельефа изучаются с помощью специальных измерений [1]. Сфера использования морфометрических показателей рельефа не ограничивается геоморфологией, ландшафтоведением либо географией в целом. Морфомет-

рическими картами руководствуются в своей деятельности инженеры при проектировании зданий и сооружений, инфраструктурных объектов, инженеры-строители, инженеры-мелиораторы, почвоведы, землеустроители, агрономы.

Однако следует отметить, что получение количественной информации о рельефе и построение морфометрических карт традиционными методами на большие территории сопряжено с высокими затратами труда и времени на их создание. Для территории Беларуси примером морфометрического анализа рельефа, выполненного с помощью традиционной методики в масштабе 1:25000, является [2]. К сожалению, весь рельеф республики не был охвачен исследованиями. Количественные характеристики (глубина и густота расчленения, крутизна и длина склонов, холмистость и западинность) были рассчитаны в пределах 401 ключевого участка, что составляет лишь 14 % территории Беларуси. Полученные данные «перфорировались», а затем выполнялся вероятностно-статистический анализ показателей для всей территории Беларуси» [2]. Следует отметить, что выполнение расчетов, произведенных даже таким дискретным способом с по-

следующей их интерполяцией на весь объект исследований, заняло у автора более 10 лет.

Интенсивное развитие географических информационных систем (далее – ГИС) позволяет в настоящее время существенно упростить процесс расчета количественных характеристик рельефа.

Основная часть

Целью настоящего исследования явилась разработка методики автоматизированного построения основных морфометрических показателей рельефа Беларуси средствами ГИС-технологий и проведение районирования объекта исследований по комплексу морфометрических особенностей.

В качестве исходных данных использовались материалы радарной топографической съемки (shuttle radar topography mission (SRTM)) первого уровня, находящиеся в открытом доступе в сети Интернет. Оценка точности матрицы высот SRTM [3] показала, что она соответствует масштабу 1:100000. Расчет морфометрии осуществлялся в ГИС ArcGIS 9.3.

Выбранные 44 фрагмента SRTM, отражающие рельеф Беларуси и смежных территорий, были соединены в единый растровый набор (рисунок 1).

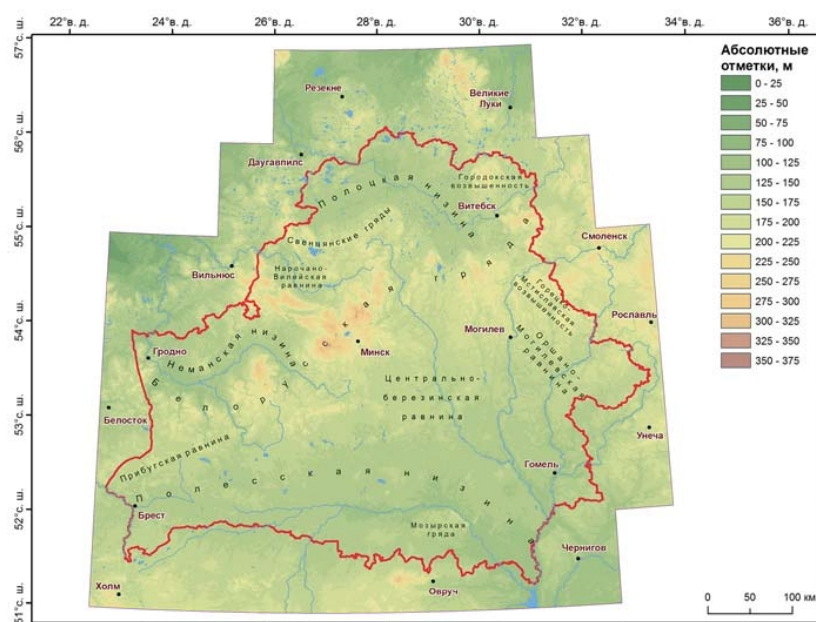


Рисунок 1 – Гипсометрическая модель рельефа Беларуси
(по материалам радарной топографической съемки SRTM первого уровня)

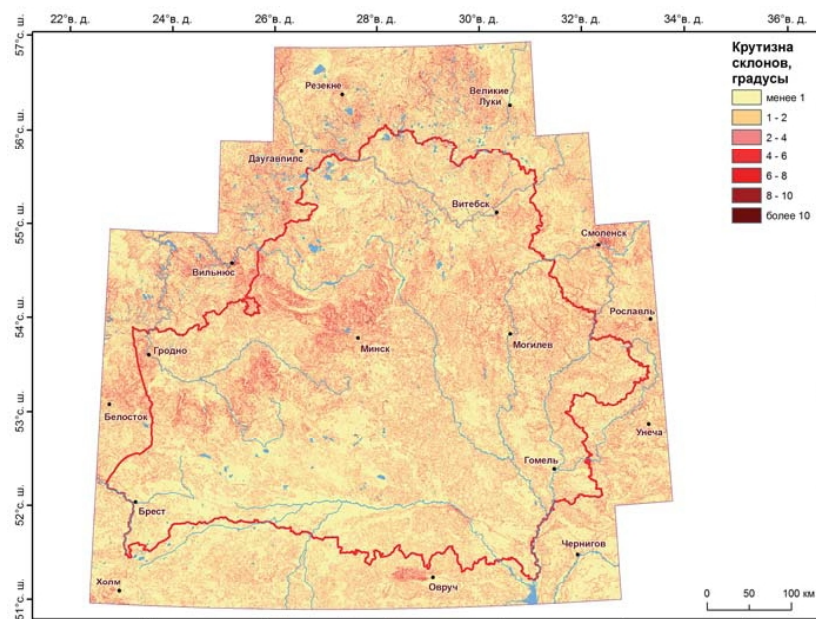


Рисунок 2 – Крутизна склонов

С помощью стандартных инструментов модуля Spatial Analyst указанного программного комплекса были построены грид-модели таких морфометрических показателей, как крутизна и экспозиция склонов (рисунки 2 и 3).

Для автоматизированного расчета глубины, густоты и общего показателя расчленения рельефа Беларуси в среде ModelBuilder ГИС ArcGIS 9.3 были разработаны геоинформацион-

ные модели, объединенные в набор инструментов «Морфометрия рельефа» (рисунки 4-7). Исходными слоями в каждой модели выступали SRTM, а также векторный полигональный слой, представляющий собой сеть квадратов размером 1×1 км, покрывающий всю территорию исследований (всего более 375 тыс. квадратов). Построение данных полигонов было осуществлено с помощью инструмента «Create Vector

Grid» набора «Hawth's Analysis Tools».

Расчет глубины расчленения рельефа (разность между максимальной и минимальной абсолютными отметками рельефа в пределах единицы площади) выполнялся по геоинформационной модели, содержащей в себе инструменты зональной статистики модуля Spatial Analyst ГИС ArcGIS 9.3. В рамках каждого квадрата размером 1×1 км производилось определение максимальной и минимальной абсолютных отметок высоты местности. Эти данные сохранялись как отдельные грид-модели, а затем рассчитывалась их арифметическая разность. Результат конвертировался в векторный точечный слой, по которому создавалась грид-модель (рисунок 8).

Для расчета густоты расчленения из раstra рельефа SRTM с помощью серии инструментов Hydrology модуля Spatial Analyst в векторный линейный слой извлекались постоянные и временные водотоки. Пространственное пересечение слоев, содержащих в себе водотоки и квадраты, позволило выполнить расчет данного показателя (длина водотоков на единицу площади) в таблицу атрибутов результирующей полигональной темы. Полигоны преобразовывались в точечную тему, на основании которой производилось построение грид-модели (рисунок 9).

Расчет общего показателя расчленения рельефа выполнялся по геоинформационной модели, содержащей в себе серию инструментов модуля Spatial Analyst, а также блока векторного анализа ГИС ArcGIS 9.3. Из раstra рельефа SRTM в векторный линейный слой извлекались горизонтали (использовано сечение 10 м). Пространственное пересечение слоев, содержащих в себе горизонтали и квадраты, позволило записать итог расчета в таблицу атрибутов результирующего слоя (сумму длин всех горизонталей в пределах единицы площади). Результат конвертировался в точечную тему, по которой производилось создание интерполяционной грид-модели (рисунок 10).

Созданный в результате ГИС-анализа комплекс показателей был использован при осуществлении морфометрического районирования рельефа Беларуси. Методика его проведения заключалась в следующем. Растры рельефа SRTM, глубины и густоты расчленения, а также крутизны склонов были преобразованы согласно клас-

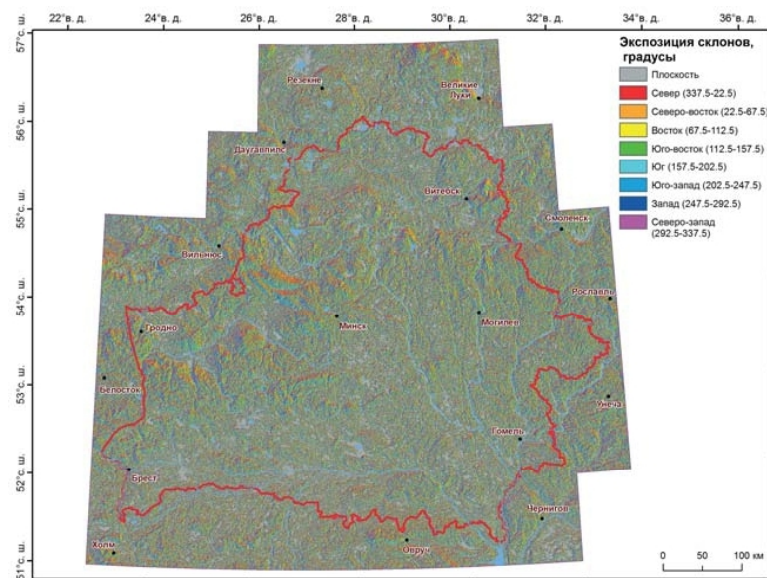


Рисунок 3 – Экспозиция склонов

- ArcToolbox
 - Data Interoperability Tools
 - Mobile Tools
 - Network Analyst Tools
 - Schematics Tools
 - Tracking Analyst Tools
 - Анализ (Analysis Tools)
 - Геокодирование (Geocoding Tools)
 - Инструменты 3D Analyst (3D Analyst Tools)
 - Инструменты Geostatistical Analyst
 - Инструменты Spatial Analyst (Spatial Analyst Tools)
 - Картография (Cartography Tools)
 - Конвертация (Conversion Tools)
 - Многомерные данные (Multidimension Tools)
 - Морфометрия рельефа
 - Глубина расчленения рельефа
 - Густота расчленения рельефа
 - Общий показатель расчленения рельефа
 - Примеры (Samples)
 - Пространственная статистика (Spatial Statistics Tools)
 - Серверные инструменты (Server Tools)
 - Системы линейных координат (Linear Referencing Tools)
 - Управление данными (Data Management Tools)

Рисунок 4 – Набор инструментов «Морфометрия рельефа» для ArcToolbox ГИС ArcGIS 9.3

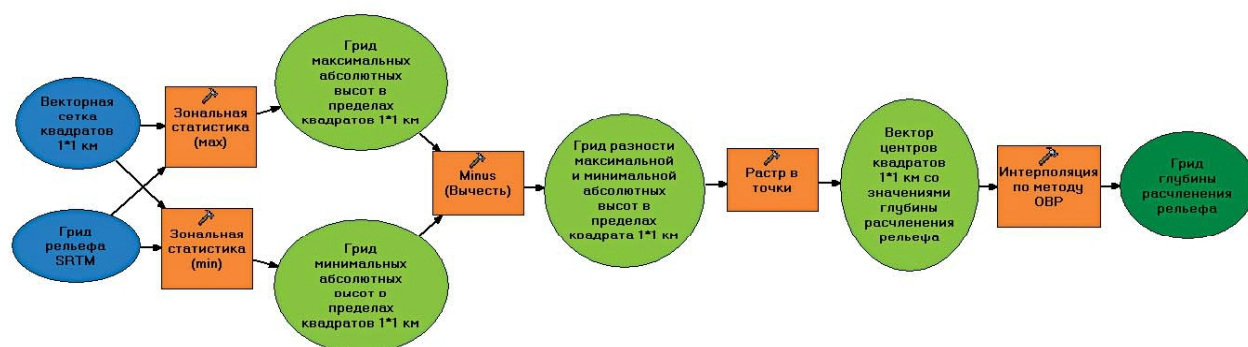


Рисунок 5 – Геоинформационная модель построения глубины расчленения рельефа (модуль Model Builder ArcGIS 9.3)

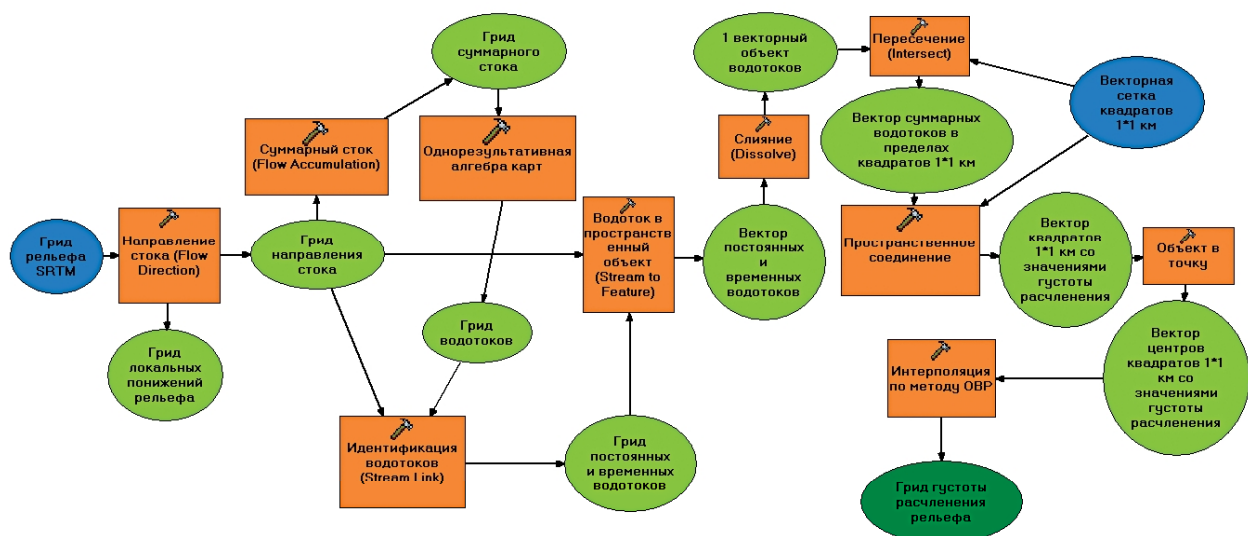


Рисунок 6 – Геоинформационная модель построения густоты расчленения рельефа (модуль Model Builder ArcGIS 9.3)

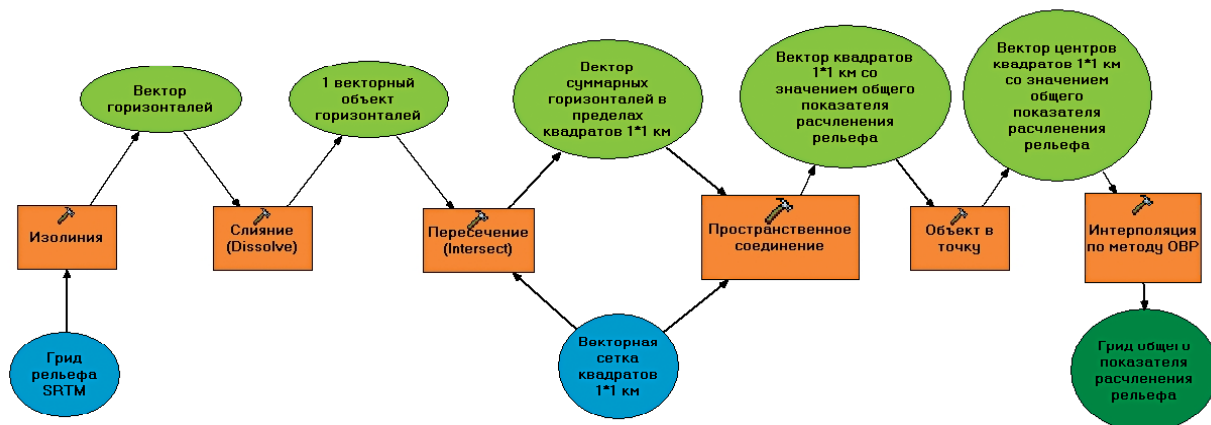


Рисунок 7 – Геоинформационная модель построения общего показателя расчленения рельефа (модуль Model Builder ArcGIS 9.3)

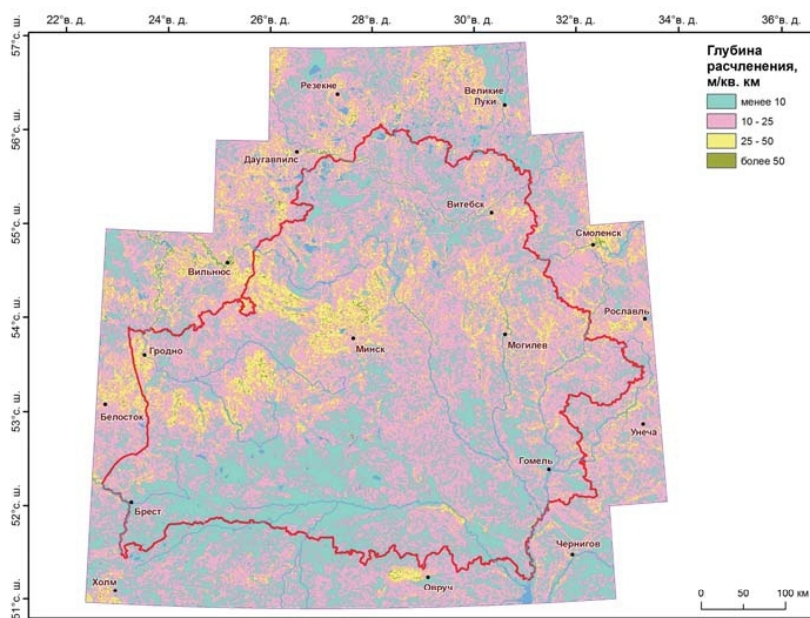


Рисунок 8 – Глубина расчленение рельефа

сификации [4], доработанной и адаптированной к территории Беларуси (таблица 1). Каждым растровый набор был в последующем конвертирован в векторный слой. Их пересечение позволило получить слой морфометрических комплексов. Оказалось, что в пределах Беларуси встречается 45 различных сочетаний морфометрических показателей, а всего однородных морфометрических комплексов было выделено более 4 тысяч.

В качестве наименьших единиц районирования нами выделялись морфометрические районы. Они отличаются друг от друга комплексом форм рельефа, образующих местные гипсометрические уровни с характерным типом

глубины и густоты расчленения, крутизной склонов. Морфометрические районы группируются в морфометрические области, соответствующие региональным гипсометрическим уровням. Исходя из перечисленных принципов, однородные морфометрические комплексы были объединены в районы и области. Была разработана новая схема морфометрического районирования, согласно которой территория Беларуси подразделяется на 5 областей и 60 районов (рисунок 11).

Область Полоцкой низины охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины с окружающими ее на западе небольшими по площади грядовыми равнинами. Она

занимает 8 % территории Беларуси. Рельеф здесь преимущественно мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, преобладают очень сильно пологие склоны. Область подразделяется на 4 района по местным гипсометрическим и морфометрическим особенностям.

Область Центрально- и Восточно-Белорусских возвышенностей и равнин занимает региональный гипсометрический уровень Белорусской гряды. Ее площадь составляет 32 % территории республики. Рельеф здесь средне- и мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, по площади доминируют очень сильно пологие и очень пологие склоны. По местным гипсометрическим и морфометрическим особенностям область делится на 25 районов.

Область низин бассейна р. Неман охватывает региональный гипсометрический уровень Неманской и Вилейской низин, занимает в пределах Беларуси лишь 5 % ее территории. Преобладает рельеф мелкорасчлененный по вертикали, умеренно расчлененный по горизонтали с очень сильно пологими склонами. Область делится на 3 морфометрических района.

Область Предполесских равнин занимает 25 % территории республики и охватывает серию равнин, представляющих собой региональный гипсометрический уровень, занимающий промежуточное положение между возвышенностями Белорусской гряды и низинным Полесьем. Рельеф здесь мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, доминируют по площади очень сильно пологие

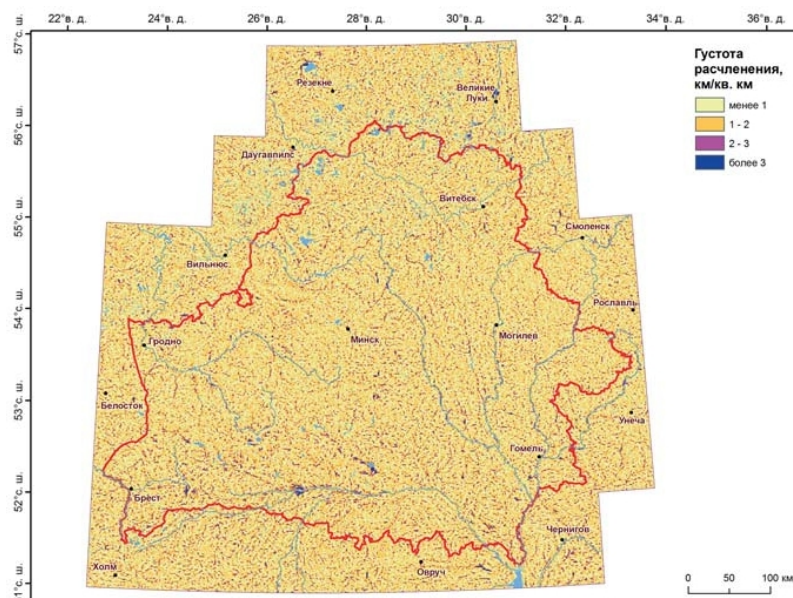


Рисунок 9 – Густота расчленение рельефа

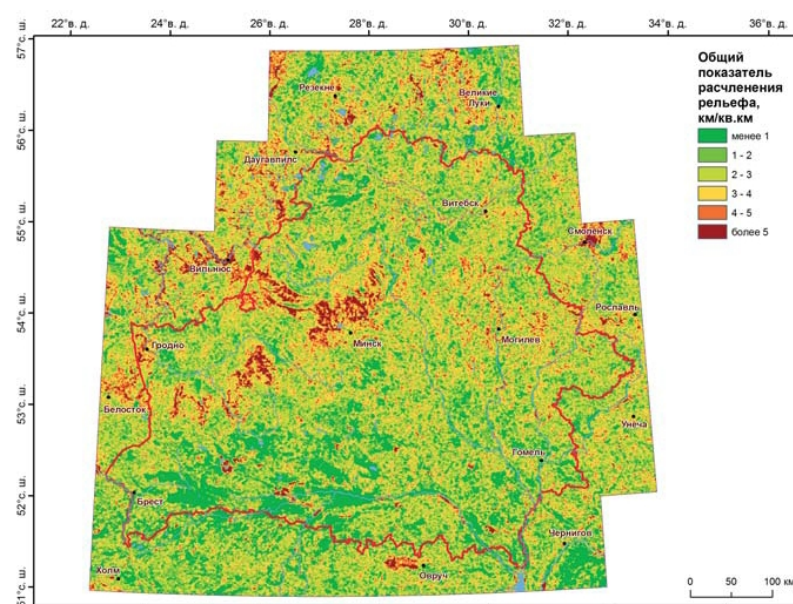


Рисунок 10 – Общий показатель расчленение рельефа

склоны. Область подразделяется на 10 районов по местным гипсометрическим и морфометрическим особенностям.

Область Полесской низины охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины. Она занимает 30 % территории Беларуси. Рельеф очень мелкорасчленен и мелкорасчленен по вертикали, умеренно расчленен по горизонтали, доминируют по площади очень сильно пологие склоны. Область делится на 18 морфометрических районов.

Закключение

В качестве основных результатов исследований можно выделить следующие.

1. Разработана и апробирована для территории Беларуси новая оригинальная методика морфометрического ГИС-анализа рельефа.

2. С помощью стандартных инструментов, а также разработанных геоинформационных моделей в среде ГИС ArcGIS 9.3 построены в автоматическом режиме по SRTM-модели рельефа Беларуси основные морфометрические показатели (крутизна и экспозиция склонов, глубина, густота и общий показатель расчленения).

3. По результатам ГИС-анализа комплекса полученных показателей разработана новая схема морфометрического районирования, согласно которой территория Беларуси подразделяется на 5 областей и 60 районов.

Методику расчетов морфометрических показателей рекомендуется использовать при решении задач сельского хозяйства, землеустройства, почвоведения, строительства зданий и сооружений, инфраструктурных объектов, а также мелиоративных сетей.

Таблица 1 – Морфометрические комплексы рельефа (по [4] с доработкой и адаптацией для условий Беларуси)

Морфометрические категории			
по абсолютной высоте, м	по глубине расчленения по вертикали, м/км ²	по густоте расчленения, по горизонтали, км/км ²	по крутизне склонов, градусы
1) низины, до 150	1) очень мелкорасчлененные, до 10	1) слаборасчлененные, до 1	1) с очень сильно пологими склонами, 0-2
2) равнины, 150-200	2) мелкорасчлененные, 10-25	2) умеренно- и местами, сильнорасчлененные, более 1	2) с очень пологими склонами, 2-4
3) возвышенности, более 200	3) среднерасчлененные, 25-50		3) с пологими склонами, 4-8
	4) глубокорасчлененные, более 50		4) со среднепологими и, местами, крутыми склонами, более 8

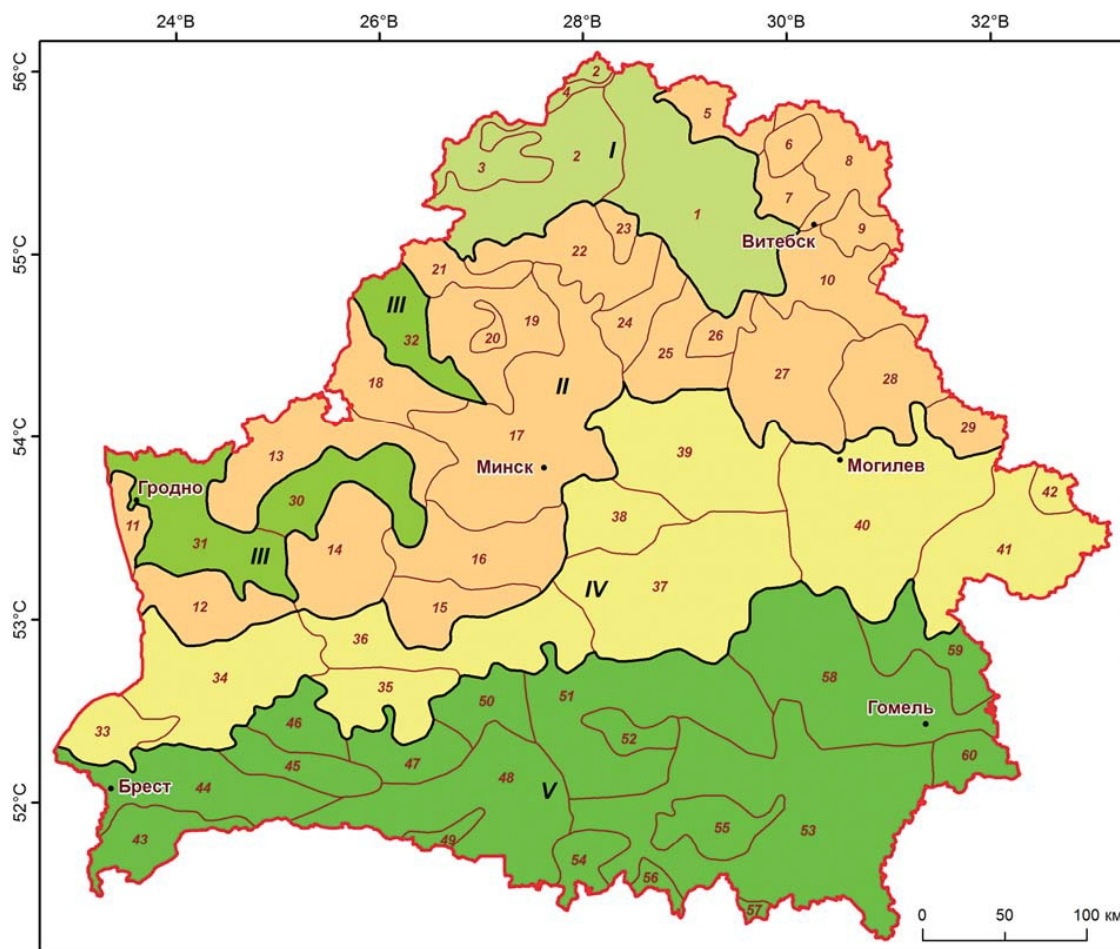


Рисунок 11 – Морфометрическое районирование

I – Область Полоцкой низины

1 – Верхнеполоцкая низина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 2 – Дисненско-Нижеполоцкая низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 3 – Браславские грядовые равнины, мелкорасчлененные по вертикали, слаборасчлененные по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 4 – Освейская грядовая равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами.

II – Область Центрально- и Восточно-Белорусских возвышенностей и равнин

5 – Заборская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 6 – Городокская возвышенность, мелко- и среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 7 – Шумилинская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 8 – Суражская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 9 – Витебская возвышенность, мелко- и среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 10 – Лучосская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 11 – Гродненская возвышенность, среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими, очень пологими и пологими склонами; 12 – Волковыско-Слонимская возвышенность, мелко- и среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими, очень пологими и пологими склонами; 13 – Лидская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 14 – Новогрудская возвышенность среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и пологими склонами; 15 – Копыльская грядовая возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 16 – Столбцовско-Уздзенская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 17 – Минская возвышенность, средне- и глубокорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими, очень пологими и пологими склонами; 18 – Ошмянская грядовая возвышенность, средне- и глубокорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень пологими и пологими склонами; 19 – Нарочано-Верхневилейская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 20 – Кривичская возвышенность, мелко- и среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 21 – Свенцянская грядовая возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 22 – Глубокская равнина, мелкорасчлененная по вер-

тикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 23 – Ушачская возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 24 – Лепельско-Верхнеберезинская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 25 – Лукомльская возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 26 – Сенненская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 27 – Оршанская возвышенность, мелко- и среднерасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими, очень пологими и пологими склонами; 28 – Горецкая возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 29 – Мстиславская возвышенность, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими, очень пологими и пологими склонами.

III – Область низин бассейна р. Неман

30 – Верхненеманская низина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 31 – Средненеманская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 32 – Средневилейская низина, среднерасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами.

IV – Область Предполесских равнин

33 – Высоковская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 34 – Коссовско-Пружанская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 35 – Ганцевичская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 36 – Барановичско-Солигорская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 37 – Стародорожско-Кличевская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 38 – Червенско-Марьянгорская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 39 – Центральнорезинская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 40 – Славгородско-Могилевская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 41 – Костюковичская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 42 – Милославичская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами.

V – Область Полесской низины

43 – Малоритская равнина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 44 – Брестско-Дрогичинская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно и, местами, сильно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 45 – равнина Загородья, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 46 – Средняясельдинская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно и, местами, сильно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 47 – Бобрико-Логшинская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 48 – Среднеприпятская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно и, местами, сильно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 49 – Столинская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 50 – Цянско-Морочская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 51 – Житковичско-Оресская низина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 52 – Ветчинская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 53 – Нижнеприпятская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 54 – Тонежско-Глушковичская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 55 – Мозырская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими и очень пологими склонами; 56 – Стодольско-Зосинецкая равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 57 – Александровская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 58 – Рогачевско-Гомельская низина, очень мелко- и мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 59 – Чечерско-Светиловичская низина, мелкорасчлененная по вертикали, умеренно расчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами; 60 – Тереховская равнина, мелкорасчлененная по вертикали, слаборасчлененная по горизонтали, с очень сильно пологими склонами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Симонов, Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа / Ю.Г. Симонов. – М.: Смоленск: Из-во СГУ, 1998. – 272 с.
2. Шишонок, Н.А. Морфометрические особенности рельефа Белоруссии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.04 / Н.А. Шишонок; БГУ. – Минск, 1989. – 17 с.
3. Карионов, Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM / Ю.И. Карионов // Геопроект. – № 1. – 2010. – С. 48-51.
4. Спиридонов, А.И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования / А.И. Спиридонов. – М.: Высшая школа, 1970. – 456 с.

D. KURLOVICH

MORPHOMETRIC GIS-ANALYSIS OF LANDFORMS OF BELARUS

In the article an original method of morphometric GIS-analysis of landforms of Belarus is described. As a result of the research main morphometric parameters (slopes, slope aspects, vertical, horizontal and general indicator of ruggednesses) using the standard tools and the developed geoinformation models in the environment of GIS ArcGIS 9.3 are generated. The new scheme of morphometric zoning according to which the territory of Belarus is subdivided into 5 regions and 60 areas is created. The results of the study are recommended to be used in agriculture, land management, soil science, at construction of buildings, infrastructure objects and land reclamation networks.

Поступление в редакцию 21.10.2013 г.