
**МЕТОДИКА НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 551.4:911.6 (470.33)

**ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ
МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА (ПО ДАННЫМ SRTM ДЛЯ ВЕРХНЕГО ПОДНЕПРОВЬЯ)**

© 2020 г. Г. В. Лобанов^{1,*}, А. Ю. Зверева^{1,**}, А. П. Протасова^{1,***}, Б. В. Тришкин²,
М. А. Новикова^{1,****}, А. В. Полякова^{1,*****}

¹Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского, Брянск, Россия

²НОУ ВПО Брянский филиал “Московский психолого-социальный университет”, Брянск, Россия

*E-mail: lobanov_grigorii@mail.ru

**E-mail: Zverek1206@mail.ru

***E-mail: a.uzhakina2012@yandex.ru

****E-mail: nov3517@mail.ru

*****E-mail: slavyanka56@mail.ru

Поступила в редакцию 18.11.2018 г.

После доработки 05.07.2019 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Предложена методика выделения геоморфологических районов по карте уклонов поверхности, построенной средствами визуализации SRTM. Районами считаются фрагменты изображения, отличающиеся соотношением площадей участков разной крутизны и их взаимным расположением в пространстве (“текстурой”). По данным SRTM построена схема геоморфологического районирования бассейна верхнего Днепра (левобережной части). Всего выделено 40 геоморфологических районов со средней площадью около 2.25 тыс. км². Схема в основных чертах согласуется с региональными схемами геоморфологического районирования, построенными на основе традиционных картографических материалов. Отличия от этих схем связаны, главным образом, с выделением геоморфологических районов аллювиально-флювиогляциальных равнин, соответствующих широким участкам речных долин. На дифференциацию рельефа территории оказали влияние различия неотектонического развития, геологического строения, палеогеографических особенностей четвертичного периода. Приведены сведения о различиях рельефа геоморфологических районов, непосредственно недоступных из SRTM, в частности о распределении густоты речной сети.

Ключевые слова: геоморфологическое районирование, морфологический анализ, рельефообразующие факторы, цифровая модель рельефа, комплексы русловых форм, Верхнее Поднепровье

DOI: 10.31857/S0435428120030074

**ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА КАК ИНСТРУМЕНТ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Цифровые модели рельефа вместе с программными средствами их обработки и визуального представления получили признание как перспективный инструмент геоморфологических исследований, границы возможностей которого остаются неопределенными. Невысокая трудоемкость расчета характеристик поверхности, обеспеченная высокоэффективными алгоритмами автоматической обработки сведений о распределении абсолютных высот, определяет приоритет использования моделей для поиска и обоснования закономерностей строения рельефа. Представление о законо-

мерной связи рельефообразующих факторов, особенностей морфологии поверхности и динамики формирующих ее факторов составляет сущность морфологического анализа — ключевого метода теоретической геоморфологии, заложенного классическими исследованиями XIX–XX веков [1, 2]. Современный вариант морфологического анализа, сходный в основных чертах с классическим, строится на иной технологической основе. Особенности современного морфологического анализа заключаются не только и не столько в использовании цифровых данных и программных средств их обработки, а в способах описания рельефа и приемах их интерпретации. Алгоритм использования цифровых данных для морфологического анализа рельефа включает три этапа: расчет и графическое представление модели поверхности, идентификацию отдельных форм рельефа или их сочетаний, поиск и обоснование причин различий строения поверхности. Морфометрические характеристики модели — распределение абсолютных высот, уклонов, экспозиций рассчитываются программными средствами обработки сведений о высотных отметках, организованных в базы пространственных данных, которые принято называть в отечественной литературе цифровыми моделями рельефа (ЦМР), в англоязычной — цифровыми моделями высот (DEM — digital elevation model).

Геоморфологическая интерпретация данных, составляющих ЦМР, особенно в отношении форм рельефа, вполне закономерно остается слабо формализованной процедурой. На единой фактической основе может быть создано несколько, отличных в частности, вариантов представления рельефа поверхности. Возможность сравнения и выбора вариантов предусмотрена разными алгоритмами автоматического анализа данных (интерполяции высот, расчета уклонов и экспозиций, построения структурных линий рельефа, распознавания и ограничения форм). Выбор строится на сравнении особенностей распределения форм, структурных линий и морфометрических характеристик поверхности, рассчитанных программными средствами с известными представлениями о рельефе территории. Черты рельефа поверхности, проявляющиеся при визуальном представлении ЦМР, во многих случаях хорошо согласуются с особенностями, выделенными традиционными геоморфологическими исследованиями, в других дополняют их [3]. Согласование моделей рельефа территории, основанных на традиционных изысканиях и компьютерном моделировании, представляет нетривиальную задачу для специалиста-геоморфолога. На результат геоморфологической интерпретации содержания ЦМР влияют собственно строение рельефа территории и полнота сведений о рельефообразующих процессах и факторах.

Распределение морфологических характеристик поверхности высот, уклонов, экспозиций представляется растровым изображением, относительно обособленные фрагменты которого предположительно соответствуют отдельным формам рельефа или их комплексам [4, 5]. В текстуре изображения отражается облик рельефа — особенности конфигурации и взаимного расположения возвышенных и низменных участков. Методики идентификации текстурных элементов как отдельных форм или их комплексов построены на использовании характерных морфологических признаков. Для выделения небольших по размеру неровностей разработаны алгоритмы автоматической идентификации, учитывающие количественные и пространственные отношения морфометрических характеристик.

Участки площадью в несколько сотен — несколько тысяч квадратных километров выделяются преимущественно эвристически, учитывая региональную специфику рельефа. Сначала, из представлений о разнообразии рельефа, обобщенном в схемах регионального геоморфологического районирования, оценивается необходимый уровень генерализации, на котором проявляются основные различия строения поверхности [6–8]. Визуальное представление рельефа обеспечивается так называемой технической генерализацией в программных средствах просмотра ЦМР — уменьшением подробности изображения, за счет увеличения площади обзора. Так изображе-

ние визуально разделяется на крупные фрагменты, отличающиеся текстурой — соотношением и взаимным расположением составляющих их элементов (пикселей). В зависимости от способа визуализации модели ее элементы (пиксели) соответствуют участкам поверхности с одинаковой высотой, уклоном или реже иными производными от них характеристиками рельефа. Подобие строения поверхности, большая площадь и относительная обособленность фрагментов позволяют интерпретировать их как геоморфологические районы.

Далее программными средствами обработки ЦМР для выделенных районов рассчитываются морфометрические характеристики. В модули анализа рельефа обычно включены алгоритмы расчета средних, минимальных и максимальных значений уклонов и высот, соотношения площадей морфологически различных участков поверхности, глубины и густоты эрозионного расчленения [9–11]. Закономерности распределения в пространстве характеристик рельефа, рассчитанных программными средствами на основе ЦМР, нечасто становились объектом морфологического анализа, поэтому методика их геоморфологической интерпретации продолжает разрабатываться. В частности, значения средней крутизны поверхности возвышенных слабо и среднерасчлененных равнин в бассейне верхнего Днепра, рассчитанные по ЦМР SRTM, отличаются не более чем на 1–2°. Вероятно, вклад неодинаковых по площадям склонов высокой и средней крутизны в различия среднего уклона оказывается незначительным из-за доминирования обширных, слабонаклонных или пологих водораздельных поверхностей, типичных для рельефа Верхнего Поднепровья.

Морфологические различия районов отражают неоднородность тектонического, геологического строения и особенностей палеогеографического развития территории. Их значимость как факторов дифференциации рельефа выявляется наложением сетки районирования на соответствующие тематические карты. Сравнение границ геоморфологических районов с областями распространения определенного литологического типа отложений, неотектоническими структурами, неровностями доледникового рельефа позволяет перейти от исключительно морфологического обоснования схемы районирования к морфолого-генетической. Схема геоморфологического районирования в свою очередь задает территориальные единицы в исследованиях закономерностей морфологии и динамики экзогенного рельефа.

Близкая точность пространственных данных для обширных территорий и возможность корректного сопоставления результатов определяет использование в геоморфологическом районировании ЦМР глобального или семиглобального охвата (ASTER, SRTM). Особенности использования данных цифровой модели рельефа SRTM 4.0 (Shuttle Radar Topographic Mission) для геоморфологического районирования рассмотрены на примере левобережной части бассейна верхнего Днепра (бассейны Сожа и Десны). Исходный материал составили данные обработанной (скорректированной) модели, хранящиеся в формате GeoTIFF. В сравнении с предшествующими вариантами в данных исправлены пробелы и некорректные значения. Средняя ошибка местоположения высотных отметок оценивается для территории Европы в несколько метров [12].

Для обработки и визуализации данных SRTM использован программный модуль MapInfo Mapper с широкими возможностями количественного анализа строения поверхностей, построенных на основании ЦМР. Различия строения поверхности передаются картой распределения уклонов. Геоморфологические районы выделяются как фрагменты, визуально обособленные по соотношению слабонаклонных участков, склонов разной крутизны, их взаимному расположению в пространстве [8]. Границы районов совпадают с неотектоническими структурами разного порядка Днепровско-Донецкой впадины, Воронежской антеклизы, Московской синеклизы; в их пределах — с областями распространения конечной и основной морены, флювиогляциальных, лимногляциальных, субэаральных отложений.

Различия рельефа районов не ограничиваются осредненными морфологическими характеристиками, непосредственно доступными из ЦМР SRTM. Эти различия также хорошо выявляются при сравнении особенностей экзогенного рельефа. В частности, наиболее распространенных и хорошо изученных флювиальных форм — неодинаковом соотношении количества рек разных порядков, их длин и площадей водосбора, протяженности разных морфодинамических типов русла, сочетании характерных типов излучин в каждом из районов. Разнообразие строения речных сетей и долин с одной стороны свидетельствует о значительном влиянии особенностей геолого-геоморфологического строения на флювиальные процессы; с другой — подтверждают объективность схемы районирования.

РЕЛЬЕФ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ДНЕПРА

Пограничное положение Верхнего Поднепровья по отношению к современным и палеогеографическим природным рубежам обуславливает высокое пространственное, типологическое разнообразие рельефа и неодинаковые подходы к его районированию. Известные схемы геоморфологического районирования разработаны для отдельных областей России, Беларуси, Украины или их групп, объединенных географическим положением. Хорошая изученность рельефа Поднепровья позволяет сопоставить результаты геоморфологического районирования по данным SRTM с ранее созданными схемами.

Разнообразие геоморфологического строения определяется сложным соотношением геологических структур разных порядков, прямо (согласно) и несогласно выраженных в рельефе. Главными морфоструктурными элементами являются Приднепровская и Полесская низменности, Днепровско-Деснинская равнина, Смоленско-Московская и Среднерусская возвышенности.

Пологоволнистые аккумулятивные равнины — Приднепровская и Полесская низменности занимают центральную часть Верхнего Поднепровья. Восточную и северную часть бассейна отличает сравнительно большее горизонтальное и вертикальное расчленение поверхности. Для восточной краевой части (Среднерусская возвышенность) типичен увалистый рельеф; для северной части (Смоленско-Московская возвышенность) — холмистый и грядовый.

Низменности развиты также в южной части Верхнего Поднепровья. Приднепровской низменности (Среднеднепровско-Деснянская низменная равнина) соответствует северная прибортовая и бортовая зона Днепровско-Донецкой впадины (синеклизы), испытавшей в неоген-четвертичное время поднятия разной интенсивности. Область устойчивых поднятий на северо-востоке впадины проявляется в рельефе наклонными денудационно-аккумулятивными пластовыми равнинами, плавно переходящими в Среднерусскую возвышенность. Региональными схемами геоморфологического районирования здесь выделяются Кролевецкая, Шосткинская, Новгород-Северская равнины с преобладающими высотами 180–200 м волнистой, плоской или слабоувалистой поверхностью, сложенные моренными и водно-ледниковыми отложениями [13, 14]. Северо-западная часть синеклизы — область слабых поднятий выражена в рельефе плоскими и слабоволнистыми аккумулятивными равнинами с преобладающими высотами 140–160 м и террасовой ступенчатой равниной нижней Десны высотой 120–140 м. Аккумулятивные равнины, сложенные аллювиальными, водно-ледниковыми, моренными отложениями — Холмско-Убедьская, Сновская, Черниговско-Любечская, Замглайская, Городнянская — занимают правобережье Десны от устья Сейма до узкого водораздела с Днестром в районе Киевского водохранилища, где переходят в террасовую ступенчатую равнину. Террасовая равнина на левобережье Десны как отдельный геоморфологический район протягивается от устья Сейма до впадения в Днепр. На отрезке устье Сейма — устье Остера равнина образована терра-

сами Десны, на отрезке устье Остера — комплексом террас рек Днепра и Десны. На западе, Днепро-Донецкая впадина переходит в Брагинско-Лоевскую седловину (Черниговско-Брагинский выступ фундамента), а затем Припятский прогиб, которым в рельефе соответствует область аккумулятивных аллювиальных и водно-ледниковых равнин — восточная часть Полесской низменности (Речицкая равнина).

Днепро-Деснинская равнина расположена в центральной части Верхнего Поднепровья к северу от Приднепровской низменности. Это участок бассейна верхнего Днепра с наиболее разнообразным геоморфологическим строением. В тектоническом отношении территория соответствует новейшей тектонической впадине сложного строения, наложенной на Жлобинскую седловину и западную периклиналь Воронежской антеклизы. В позднечетвертичное и голоценовое время территория испытала поднятия, интенсивность которых составляла от 150—200 м в юго-западной части до 200—250 м в северо-восточной части. Особенности тектонического строения определяют общий уклон поверхности к юго-западу и большое разнообразие рельефа — чередование флювиогляциальных и моренных низменностей, и островных возвышенностей, сложенных с поверхности ледниковыми отложениями, покровными суглинками, лёссовидными породами. Региональными схемами геоморфологического районирования выделяется Ипутская, Судостская, Деснянская, Жиздринская низменности, Костюковичская, Чечерская, Светиловичская, Тереховская равнины, Брянская, Стародубская, Екимовичская возвышенности, Рославльская гряда. Абсолютные высоты равнины понижаются от 180—200 м на севере и северо-востоке до 150—170 м на юге и юго-западе, поэтому преобладающая высота относительно повышенных и пониженных участков территории неодинакова. Рельеф равнины пологоволнистый, реже холмистый, на отдельных участках увалистый и грядовый (Костюковичская равнина, Асельская и Кочевская гряды на Екимовичской возвышенности, Рославльская гряда). Локальные повышения — увалы и гряды образованы краевыми ледниковыми формами и гляциодислокациями, имеют более расчлененный рельеф в сравнении с окружающими территориями, разнообразное геологическое строение.

Участок Смоленско-Московской возвышенности занимает северную часть бассейна Днепра, где преобладают возвышенные моренные равнины, образующие водораздел рек Днепра и Волги. Рельеф, в основном, несогласно соотносится с тектоническими структурами — территория соответствует северо-западной части Московской синеклизы, которая испытала поднятие до 100—150 м за неоген-четвертичное время. Здесь чередуются выровненные участки с абс. высотой 220—230 м, сложенные основной мореной и водно-ледниковыми отложениями московского оледенения, и относительно приподнятые участки (абс. высота более 250 м) с крупнохолмистым и грядово-холмистым рельефом (Вяземско-Сычевские и Спас-Деменская гряды, Ельнинский узел), образованные краевой мореной. На отдельных участках в позднечетвертичное и голоценовое время поднятие сменилось опусканием на 50—100 м. Области опускания соответствует пологоволнистая, местами всхолмленная моренно-водно-ледниковая Сожская низина с абс. высотами 200—220 м.

Склоны Среднерусской возвышенности образуют восточную часть Верхнего Поднепровья. В рельефе территории выделяется две ступени. Первая с преобладающей абс. высотой более 240 м соответствует водораздельным равнинам рек Десны и Оки, Сейма и Оки, Сейма и Северского Донца, Сейма и Псёла. Характер поверхности изменяется с севера на юг от сильно расчлененной пологохолмистой до среднерасчлененной пологоволнистой (верховья р. Сейма). Вторая ступень (абс. высоты 200—240 м) соответствует равнинам на водоразделах меньших порядков — рек Неруссы и Свапы, Свапы и Клевеня, Клевеня и Сейма. Характер поверхности пологоволнистый, сильно и среднерасчлененный. Равнины обеих ступеней сложены с поверхности покровными и лёссовидными суглинками, кроме северо-западной части. Здесь на правобережье Сейма распространены отложения московского оледенения. Первая ступень соответ-

стствует структурам Воронежской антеклизы с интенсивностью поднятия за неотектонический этап — более 250 м (Дмитровское и Курское поднятия). Поднятия разделяют сравнительно пониженный участок — Михайловский прогиб, который отвечает долине Свапы в верхнем течении. Здесь развит широкий комплекс плиоценовых и четвертичных террас, образующий отдельный геоморфологический район. Вторая ступень рельефа соответствует Крупецкой структурной террасе с интенсивностью поднятия 210–230 м [15–17].

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВЕРХНЕГО ПОДНЕПРОВЬЯ ПО ДАННЫМ SRTM

Количество районов, выделенных на территории Верхнего Поднепровья по данным SRTM (всего 40), несколько превышает общее число их аналогов, установленных классическими методами [18, 19]. Таким образом, используя разные подходы, мы получаем достаточно схожее районирование. Неодинаковое количество районов обусловлено особенностями строения долин некоторых крупных и средних рек Верхнего Поднепровья, существенными для районирования рельефа. Расширения долин протяженностью от нескольких десятков до первых сотен километров, заполненные аллювиально-флювиогляциальными отложениями, выделяются на изображениях, построенных по цифровой модели рельефа SRTM как морфологически обособленные территории. В схемах районирования, построенных классическими методами, долины крупных и средних рек рассматриваются как геоморфологические границы, включаются в состав районов, или в зависимости от пространственного разнообразия рельефа на отдельных участках получают ранг района. Пространственное разнообразие рельефа Верхнего Поднепровья и типичные размеры районов позволяют выделять некоторые участки долин крупных и средних рек как единицы геоморфологического районирования — фрагменты аккумулятивных аллювиально-флювиогляциальных равнин, сформированных в эпохи водности рек, многократно превышающей современные значения. Таковы долины Десны (с левобережными притоками); долины Ипути и Беседи (в среднем и нижнем течении), Судости (в нижнем течении) [20, 21].

В последующем тексте термин “геоморфологические районы” упоминается по отношению к единицам районирования, выделенным по SRTM. Положение границ районов определяют различия вектора новейших тектонических движений, особенности геологического строения и динамики современных рельефообразующих процессов (густота речной сети). Разница амплитуды тектонических движений обуславливает распределение возвышенностей и низменностей. Прочностные характеристики грунтов влияют на особенности рельефа уже относительно возвышенных и пониженных участков на разных уровнях организации — от общего плана строения поверхности до морфометрических характеристик типичных форм.

Различия густоты речной сети геоморфологических районов в большинстве случаев отражают особенности сочетаний рельефообразующих факторов. В геоморфологических районах верхнего Поднепровья значение показателя изменяется от 0.06 км/км² до 0.25 км/км² (рис. 1, табл. 1). Значения густоты речной сети рассчитаны программными средствами MapInfo по векторной карте речной сети с подробностью передачи гидрологических объектов, соответствующей топографической карте масштаба 1:200 000 и цифровой модели схемы районирования. Районы распределены по интервалам шкалы густоты так, чтобы наглядно представить закономерности географического распространения типичных (фоновых) и заметно отличающихся значений показателя. При несущественных мезоклиматических различиях ведущая роль в дифференциации рельефа принадлежит геолого-геоморфологическим факторам. Наибольшие значения показателя (более 0.16 км/км²) характерны для периферийных частей возвышенностей с высокими или средними уклонами поверхности, примыкаю-

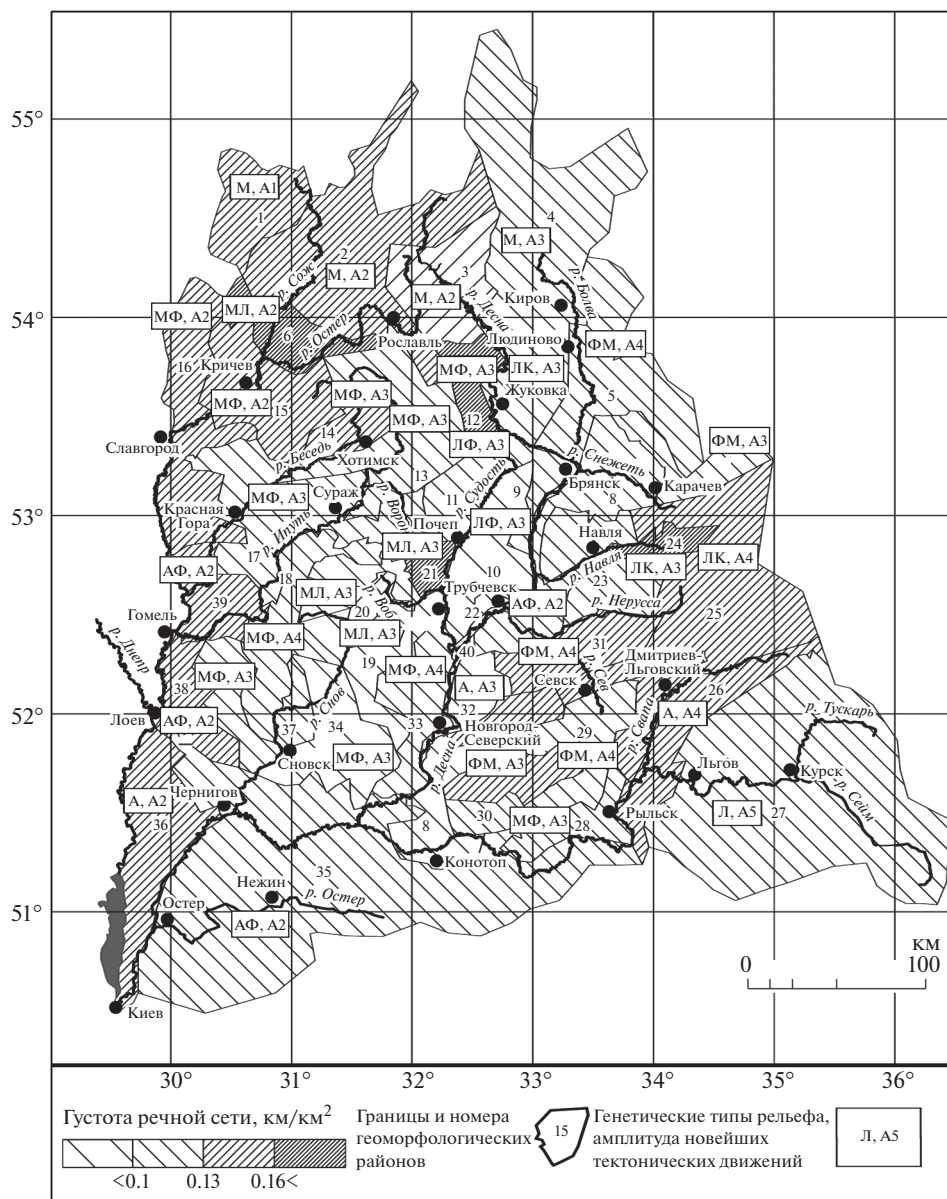


Рис. 1. Схема геоморфологического районирования бассейна верхнего Днепра.

Типы рельефа: А – аллювиальная равнина, АФ – аллювиально-флювиогляциальная равнина, Л – равнины с мощной толщей лёссовидных суглинков, ЛК – равнины, сложенные с поверхности лёссовидными суглинками, близким залеганием коренных пород, М – моренная равнина, МФ (ФМ) – моренно-водно-ледниковая равнина (преобладающий тип пород указан первым).

Амплитуда новейших тектонических движений (м) – опускания: А1 – 100; поднятия: А2 – 100–150, А3 – 150–200, А4 – 200–250, А5 – >250.

ших к долинам крупных рек с водообеспеченностью, достаточной для формирования гидросети. Близость к долинам крупных рек определяет большую глубину местного базиса эрозии, врезание притоков до водоносных горизонтов, устойчивое грунтовое

Таблица 1. Соотношение схем геоморфологического районирования

Единицы регионального геоморфологического районирования, выделенные классическими методами	Номера районов, выделенных по модели SRTM (на рис. 1)	Единицы регионального геоморфологического районирования, выделенные классическими методами	Номера районов, выделенных по модели SRTM (на рис. 1)
Барятинско-Сухиничские гряды (западная часть)	4	Рославльская возвышенность	6
Брянская возвышенность (восточная часть)	9	Рыльское поднятие	28
Брянская возвышенность (западная часть)	11	Светиловическая равнина (южная часть)	39
Брянско-Жиздринское поле-сье	5	Светиловическая равнина (северная часть, Ипутьская низменность)	17
Горицкая равнина	6	Смоленско-Краснинская возвышенность	1
Городнянская равнина	37	Сновская равнина	34
Деснинская низменность (северная часть)	8	Сожская низина	13
Деснинская низменность (южная часть)	29, 40	Сожско-Днепровская низменность	2
Днепровско-Нижнедеснянская равнина	36	Спас-Деменская возвышенность	4
Екимовичская возвышенность	12	Среднерусская возвышенность (западный макросклон)	23—25, 31
Ельнинская возвышенность (Ельнинский узел)	3	Среднерусская возвышенность (Курское поднятие)	27
Костюковичская равнина (восточная часть)	14	Стародубская возвышенность (центральная часть)	20
Костюковичская равнина (западная часть)	15	Стародубская возвышенность (восточная часть)	21
Кролевецкая равнина	30	Стародубская возвышенность (северная часть)	18
Михайловский прогиб	26	Судостьский прогиб	10
Могилевская равнина	16	Тереховская равнина	37
Новгород-Северская равнина	33	Трубчевская возвышенность	22
Орловско-Калужское полесье	7	Холмско-Убедьская равнина	19
Починокская возвышенность	3	Шосткинская равнина	32
Придеснинская равнина	35	Яготинская равнина	28
Речицкая низина	38		

питание малых рек. Развитие речной сети здесь может ограничиваться сравнительно небольшим количеством осадков при высокой испаряемости (район 27), хорошей водопроницаемостью песчаных и супесчаных грунтов (районы 30 и 32), небольшой пло-

шадью междуречий (районы 9 и 22). Густота овражно-балочной сети более тесно связана с уклоном поверхности, чем речной сети, и в некоторых случаях особенности их распределения не совпадают. В отдельных случаях густая овражно-балочная сеть может ограничивать развитие речной сети, препятствуя концентрации стока в отдельных относительно крупных эрозионных формах.

Значения густоты 0.13–0.16 км/км² характерны для районов в западной части Смоленско-Московской возвышенности, левобережья Сожа в среднем и нижнем течении, междуречья рек Десны и Днепра выше слияния, западных отрогов Среднерусской возвышенности, междуречья рек Снов и Судость (район 20). На Смоленско-Московской возвышенности (районы 1 и 2) при относительно небольших уклонах местности низкая водопроницаемость моренных суглинков определяет большую величину слоя поверхностного стока, который в данном случае рассматривается как фактор поддержания устойчивости постоянных водотоков.

На левобережье Сожа и в междуречье рек Десны и Днепра относительно высокая густота обеспечивается хорошим подземным питанием даже неглубоко врезанных рек, особое значение имеет широкое распространение болот и заболоченных земель на водосборных территориях. На Среднерусской возвышенности (районы 25, 26, 31) и в междуречьях рек Снова и Судости густота речной сети обуславливается высокими уклонами поверхности. Значения густоты в интервале 0.10–0.13 км/км² типичны для моренных, моренно-водно-ледниковых и аллювиально-флювиогляциальных равнин в бассейнах Ипути и Десны и эрозионных возвышенностей, сложенных лёссовидными суглинками и коренными породами в бассейне Сейма (районы 27, 28). В бассейнах Ипути и средней Десны развитие речной сети ограничено перераспределением стока между крупными реками и большой длиной транзитных участков, на которых реки не принимают значительных притоков (районы 3, 4, 8, 9, 17, 18, 23, 37). В бассейне Сейма главные ограничивающие факторы – густая овражно-балочная сеть и сравнительно небольшое количество осадков. В бассейне нижней Десны (район 35) – количество осадков и хорошая водопроницаемость грунтов слабоволнистых равнин, сложенных мощными толщами разновозрастного аллювия рек Десны и Днепра. В районах с минимальной густотой речной сети (менее 0.1 км/км²) действие описанных выше факторов усиливается небольшими уклонами поверхности водосборной территории, препятствующими эрозионному врезу. Некоторое исключение представляет район 32, с относительно высокими уклонами территории, но сложенный с поверхности хорошо проницаемыми аллювиальными грунтами, высокая водопроницаемость которых уменьшает долю поверхностного стока. Заметные различия густоты речной сети между районами подтверждают адекватность схемы районирования по данным SRTM разнообразию строения рельефа.

ВЫВОДЫ

Геоморфологические районы, выделенные по данным SRTM, отображают разнообразие рельефа с подробностью аналогичной схемам районирования построенными классическими методами.

Границы выделенных районов обусловлены изменением в пространстве особенностей геологического и тектонического строения, что вполне согласуется с принципами его классического морфологического районирования.

Сочетания рельефообразующих факторов закономерно проявляются в строении поверхности различиями густоты речной сети районов, распределение которой зависит при сходстве основных мезоклиматических характеристик от геолого-геоморфологического строения территории.

Описанный подход может быть предложен для геоморфологического районирования иных равнинных территорий с учетом специфики сочетаний рельефообразующих факторов и процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенк В. Морфологический анализ. М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1961. 360 с.
2. Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 560 с.
3. Лаврентьев Н.В., Чепалыга А.Л. Опыт применения ГИС-технологий для реконструкций береговых линий хвалынского бассейна (на примере Прикаспийской низменности) // Геоморфология. 2008. № 3. С. 66–74.
4. Minar J. and Evans I. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping // *Geomorphology*. 2008. Vol. 95. P. 236–259.
5. Drăguț L. and Eisank C. Automated object-based classification of topography from SRTM data // *Geomorphology*. 2012. Vol. 141–142. P. 21–33.
6. Бурлаков П.С. Геоморфологическое районирование Беломорско-Кулойского плато на основе цифровой модели рельефа // *Геоморфология*. 2016. № 1. С. 37–44.
7. MacMillan R.A. and Shary P.A. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry // *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 227–254.
8. Gessler P., Pike R., MacMillan R.A., Hengl T., and Reuter H.I. The Future of Geomorphometry // *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 637–652.
9. Rabus B., Eineder M., Roth A., and Bamler R. The shuttle radar topography mission — a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2006. Vol. 57 (4). P. 241–262.
10. Антипцева Ю.О., Думит Ж.А. Морфометрический анализ рельефа с использованием ГИС-технологий при оценке рекреационного потенциала Лагонакского нагорья (Северо-Западный Кавказ) // *Геоморфология*. 2009. № 1. С. 45–50.
11. Бардачевский Н.Н. Хребты и впадины Юго-Восточного Алтая: опыт морфометрического исследования с применением ГИС-технологий // *Геоморфология*. 2009. № 1. С. 50–59.
12. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани. Морфологический анализ. М.: ГЕОС, 2009. 208 с.
13. Андрияш О.П., Грубрин Ю.Л., Кошик Ю.А., Палиенко Э.Т., Рослый И.М. Геоморфология Украинской ССР. Уч. пособие. Киев: Вища школа, 1990. 287 с.
14. Національний атлас України. Киев: Картографія, 2007. 440 с.
15. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации: Центральный федеральный округ. Брянская область / Н.Г. Рыбальский, Е.Д. Самотёсов, А.Г. Митюков. М.: НИИ-Природа, 2007. 1044 с.
16. Махнач А.С., Гарецкий Р.Г., Матвеев А.В. Геология Беларуси. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 815 с.
17. Лобанов Г.В., Полякова А.В., Сабайда Е.А., Новикова М.А., Коханько М.В., Зверева А.Ю. Геоморфологическое районирование Верхнего Поднепровья на основе цифровой модели рельефа SRTM: теоретические и методические аспекты // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований за 2014 г. Брянск: Брянск. гос. ун-т, 2015. С. 66–72.
18. Лобанов Г.В., Зверева А.Ю., Коханько М.В., Новикова М.А., Полякова А.В., Тришкин Б.В. Использование ГИС в морфологическом анализе пойменно-русловых комплексов // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. Харьков: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. Вип. 19. С. 62–66.
19. Геоморфологическая карта Воронежской, Курской, Брянской, Орловской, Липецкой, Тамбовской и Белгородской области Министерство геологии СССР ВСЕГИНГЕО. ГУЦР. М-б 1:1000000. М.: Недра, 1972.
20. Схематическая карта геоморфологического районирования Московской, Калининской, Ярославской, Владимирской, Рязанской, Тульской, Калужской, Смоленской областей М-б 1:1500000, Министерство геологии СССР ВСЕГИНГЕО. ГУЦР. М.: Недра, 1964.
21. Национальный атлас Республики Беларусь. Минск: Белкартография, 2002. 292 с.

Geomorphological zonation based on digital elevation models (from SRTM data over the Upper Dnieper region)

G. V. Lobanov^{a,#}, A. Yu. Zvereva^{a,##}, A. P. Protasova^{a,###}, B. V. Trishkin^b,
M. A. Novikova^{a,####}, and A. V. Polyakova^{a,#####}

^a Petrovsky Bryansk State University, Bryansk, Russia

^b NOU VPO Bryansk branch "Moscow Psychological and Social University", Bryansk, Russia

[#] E-mail: lobanov_grigorii@mail.ru

^{##} E-mail: Zverek1206@mail.ru

^{###} E-mail: a.uzhakina2012@yandex.ru

^{####} E-mail: nov3517@mail.ru

^{#####} E-mail: slavyanka56@mail.ru

The methodology was proposed for the distinguishing of geomorphological areas on the map of the surface slopes, created from SRTM by visualization tools. Such areas are considered as parts of the image that differ in the ratios of different slopes and their relative position in space ("texture"). The scheme of geomorphological zoning of the Upper Dnieper basin (left bank) was built. Forty geomorphological regions with an average area of about 2.25 km² were allocated. It was shown that the main internal differences of the topography in the region is consistent with the regional geomorphological zonation schemes based on traditional cartographic materials. Identified differences relate to the allocation of geomorphological areas of alluvial and glacio-fluvial plains corresponding to the wide sections of river valleys. Topographic differentiation was caused by neotectonic movements, geological structure, paleogeographic peculiarities of the Quaternary period. Information was provided about the differences of geomorphic terrain regions that are not available directly from SRTM data, in particular on the distribution of density of the river network.

Keywords: geomorphological zoning, morphological analysis, relief-forming factors digital elevation model, complexes of bed forms, the upper Dnieper basin

REFERENCES

1. Penk V. *Morfologicheskii analiz* (Morphological analysis). M.: Gosudarstvennoe izdatelstvo geographicheskoy literatury (Publ.), 1961. 360 p.
2. King L. *Morfologiya Zemli* (The Morphology of the Earth). Translated from English by B.V. Bondarenko. M.: Progress (Publ.), 1967. 560 p.
3. Lavrent'ev N.V. and Chepal'ya A.L. *Opyt primeneniya GIS-tekhnologii dlya rekonstruktsii begovykh liniy khvalynskogo basseina (na primere Prikaspiiskoi nizmennosti)*. (GIS-technology in reconstruction of the Late Khvalyn basin coastlines (the Pricaspian lowland as an example)). *Geomorfologiya* (Geomorphology RAS). 2008. No. 3. P. 66–74. (in Russ.)
4. Minar J. and Evans I. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*. 2008. vol. 95. p. 236–259.
5. Drăguț L. and Eisank C. Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology*. 2012. Vol. 141–142. P. 21–33.
6. Burlakov P.S. *Geomorfologicheskoe raionirovanie Belomorsko-Kuloiskogo plato na osnove tsifrovoy modeli rel'efa* (Geomorphological zoning of Belomorsko-Kuloiskoe plateau based on digital elevation models). *Geomorfologiya* (Geomorphology RAS). 2016. No. 1. P. 37–44. (in Russ.).
7. MacMillan R.A. and Shary P.A. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 227–254.
8. Gessler P., Pike R., MacMillan R.A., Hengl T., and Reuter H.I. The Future of Geomorphometry. *Developments in Soil Science*. 2009. Vol. 33. P. 637–652.
9. Rabus B., Eineder M., Roth A., and Bamler R. The shuttle radar topography mission — a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2006. Vol. 57 (4). P. 241–262.
10. Antiptseva Yu.O. and Dumit J.A. *Morfometricheskii analiz rel'efa s ispolzovaniem GIS-tekhnologii pri otsenke rekreatsionnogo potentsiala Lagonakskogo nagor'ya (Severo-Zapadnyi Kavkaz)*. (Morphometric analysis of the terrain using GIS technology in assessing the recreational potential of the

- Lagonaki plateau (Northwest Caucasus)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2009. No. 1. P. 45–50. (in Russ.)
11. Berdichevskiy N.N. *Khrebyty i vpadiny Yugo-Vostochnogo Altaya: opyt morfometricheskogo issledovaniya s primeneniem GIS-tehnologii* (The ridges and hollows of South-Eastern Altai: morphometric study experience with the use of GIS-technologies). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2009. No. 1. P. 50–59. (in Russ.)
 12. Pogorelov A.V. and Dumit J.A. *Rel'ef basseina r. Kubani. Morfologicheskii analiz* (The relief of the Kuban River basin. Morphological analysis). M.: GEOS (Publ.), 2009. 208 p.
 13. Andriyash O.P., Grubrin Yu.L., Koshyk Yu.A., Palienko E.T., Roslyi I.M. *Geomorfologiya Ukrainskoi SSR. Uch. Posobie*. (Geomorphology of the Ukrainian SSR. Tutorial). Kiev: Visha shkola (Publ.), 1990. 287 p.
 14. *Natsionalnyi atlas Ukraini* (The national Atlas of Ukraine). Kiev: Kartografiya (Publ.), 2007. 440 p.
 15. *Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda sub'ektov Rossiiskoi Federatsii: Tsentralnyi federalnyi okrug. Bryanskaya oblast'* (Natural resources and environment of Russian regions: Central Federal district. Bryansk oblast). N.G. Rybalskii, E.D. Samotesov, A.G. Mityukov (Eds.). M.: NIA-Priroda (Publ.), 2007. 1044 p.
 16. Makhnach A.S., Garetskii R.G., and Matveev A.V. *Geologiya Belarusi* (Geology of Belarus). Minsk: IGN NAN Belarusi (Publ.), 2001. 815 p.
 17. Lobanov G.V., Polyakova A.V., Sabaida E.A., Novikova M.A., Kokhanko M.V., and Zvereva A.Yu. *Geomorfologicheskoe raionirovanie Verkhnego Podneprov'ya na osnove tsifrovoi modeli rel'efa SRTM: teoreticheskie i metodicheskie aspekty* (Geomorphological zonation of the upper Dnieper region based on the digital elevation model SRTM: theoretical and methodological aspects). *Ezhegodnik NII fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy za 2014 g.* Bryansk: Bryanskii Gos. Universitet (Publ.), 2015. P. 66–72. (in Russ.)
 18. Lobanov G.V., Zvereva A.Yu., Kokhanko M.V., Novikova M.A., Polyakova A.V., and Trishkin B.V. *Ispolzovanie GIS v morfologicheskom analize poimennenno-ruslovykh kompleksov* (Uses of GIS in the analysis of the morphological floodplain-river complexes). *Problemy bezperervnoi geografichnoi osvity i kartografii: Zbirnik nukovikh prats*. Kharkov: KhNU im. V.N. Karazina (Publ.), 2014. Vol. 19. P. 62–66. (in Russ.)
 19. *Geomorfologicheskaya karta Voronezhskoi, Kurskoi, Bryanskoi, Orlovskoi, Lipetsoi, Tambovskoi i Belgorodskoi oblasti, Ministerstvo geologii SSSR VSEGINGEO. GUCR. M-b 1:1000000* (Geomorphological map of Voronezh, Kursk, Bryansk, Orel, Lipetsk, Tambov and Belgorod region, the Ministry of Geology of the USSR VSEGINGEO. Main Department of the Central areas. M-b 1:1000000). M.: Nedra (Publ.), 1972.
 20. *Skhematicheskaya karta geomorfologicheskogo raionirovaniya Moskovskoi, Kalininskoi, Yaroslavskoi, Vladimirovskoi, Ryazanskoi, Tul'skoi, Kaluzhskoi, Smolenskoi oblastei M-b 1:1500000, Ministerstvo geologii SSSR VSEGINGEO. GUCR* (Schematic map of geomorphological zoning of the Moscow, Kalinin, Yaroslavl, Vladimir, Ryazan, Tula, Kaluga, Smolensk regions of M-b 1:1500000, the Ministry of Geology of the USSR VSEGINGEO. Main Department of the Central areas). M.: Nedra (Publ.), 1964.
 21. *Natsionalnyi atlas Respubliki Belarus'* (National Atlas of the Republic Belarus). Minsk: Belkartografiya (Publ.), 2002. 292 p.