

Крупномасштабное геоморфологическое картографирование государственного природного заповедника «Малая Сосьва»

© 2021 г. — А.Е. Пшеничников¹, К.Н. Дектярев²

¹Тюменский государственный университет, 625003, Российская Федерация, Тюмень, ул. Володарского, д. 6
E-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru

²ООО «ТюменьПромИзыскания»

Поступила 25.02.2021 г.

Принята к печати 01.06.2021 г.

Ключевые слова: *геоморфологическое картографирование, цифровая модель рельефа, Малая Сосьва.*

Аннотация: Государственный природный заповедник «Малая Сосьва» находится на западе Ханты-Мансийского автономного округа — Югра. В рельефе территории преобладают озерно-аллювиальные, озерно-ледниковые и моренные равнины. Особенностью рельефа центральной и южной частей заповедника является цепь холмистых водоразделов — Малососьвинский амфитеатр. Наибольшей глубиной расчленения отличаются центральная, западная и южная части заповедника, а в северной и юго-западной — преобладает мелкорасчлененный рельеф. Для изучения природных условий и ресурсов заповедника проведено комплексное картографирование. По итогам полевых исследований, организованных летом 2017 г., а также по данным, полученным в ходе обработки топографических карт масштаба 1 : 100 000, космического снимка Sentinel-2A, цифровых моделей рельефа ASTER GDEM, ALOS World 3D и ArcticDEM, на район исследования построены следующие крупномасштабные карты: гипсометрическая, карта глубины и густоты расчленения рельефа, карта крутизны склонов, а также карта «красного рельефа» (Red Relief Image Map). На основе этих частных карт и с учетом ранее изданных карт более мелкого масштаба создана общая геоморфологическая карта территории масштаба 1 : 100 000.

Для цитирования: А.Е. Пшеничников, К.Н. Дектярев. Крупномасштабное геоморфологическое картографирование государственного природного заповедника «Малая Сосьва» // Геоинформатика. — 2021. — № 2. — С. 59–66. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-2-59-66.

Large-scale geomorphological mapping of the Malaya Sosva state nature reserve

© 2021 г. — А.Е. Pshenichnikov¹, K.N. Dektyarev²

¹University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen, 625003, Russia E-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru

²LLC «Tyumen'PromIzyskaniya»

Received 25.02.2021

Accepted for publication 01.06.2021

Key words: *geomorphological mapping, digital elevation model, Malaya Sosva.*

Abstract: The Malaya Sosva State Nature Reserve is situated in the west of the Khanty-Mansiysk Autonomous Region — Ugra. Lake-alluvial, lake-glacial and moraine plains are the prevalent relief's types on that territory. The main specificity of the reserve's relief in the central and southern parts is a chain of hilly watersheds — the Malososvinsky Amphitheater. The central, western, and southern parts of the reserve are distinguished by the greatest depth of dissection, while in the northern and south-western regions, a finely divided relief prevails. To study natural conditions and resources of the reserve, a complex mapping was carried out. Based on the results of field researches organized in the summer of 2017, as well as on the data obtained during the processing of topographic maps of scale 1 : 100000, a Sentinel-2A satellite image, digital terrain models ASTER GDEM, ALOS World 3D and ArcticDEM, the following large-scale maps were constructed for the area under study: hypsometric, the range of dissection and horizontal dissection of the relief, steepness of slopes, as well as a map of «red relief» (Red Relief Image Map). According to those local maps and taking into consideration all the previously issued maps of a smaller scale, a general geomorphological map of the territory of a scale of 1 : 100000 has been created.

For citation: Pshenichnikov A.E., Dektyarev K.N. Large-scale geomorphological mapping of the Malaya Sosva state nature reserve. *Geoinformatika*. 2021;(2):59–66. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-2-59-66. In Russ.

Введение

Геоморфологические карты имеют большое практическое применение как основной и наглядный инструмент для качественной и количественной характеристики рельефа территории. Они используются в различных областях научной и хозяйственной деятельности: при поисках полезных

ископаемых, в инженерно-геологических изысканиях, экологических, а также ландшафтных исследованиях [1].

Рельеф на географических картах является одним из значимых элементов содержания, при этом важно уметь правильно передать его характерные формы, типы, изобразить направление и крутизну

скатов склонов, расчлененность территории [1]. Одним из современных способов достоверной передачи особенностей строения земной поверхности является использование цифровых моделей рельефа.

При изучении особо охраняемых природных территорий важное значение имеет комплексное картографирование их природных условий и ресурсов [1]. При этом острой остается проблема обеспеченности заповедников тематическими картами, особенно крупного масштаба. Главная задача данной работы заключается в создании серии крупномасштабных геоморфологических карт (как общей, так и частных) на территорию государственного природного заповедника «Малая Сосьва». Это актуально для района исследования, так как ранее геоморфологических карт такого масштаба на этот район не создавалось. Территория заповедника ранее отображалась на геоморфологических картах масштаба 1:1 000 000 (1995 г.) и 1:2 500 000 (2007 г.) [1]. Комплексная оценка исследуемого района (основные черты рельефа, режим тепла и влаги, почвы, растительность, ландшафты, природные ресурсы) в составе Сосьвинского Приобья проводилась в 1960-х гг., ее результаты приведены в [7]. В указанной работе дана развернутая характеристика положительных и отрицательных морфоструктурных единиц района, проведено геоморфологическое районирование всей территории, описаны геоморфологические уровни, проанализирован морфоскульптурный облик Сосьвинского Приобья, представлена история развития рельефа.

Для всестороннего детального изучения основных геоморфологических особенностей района возникает потребность в создании серии карт разного содержания, которые бы отражали требуемые признаки классификации для выделения форм рельефа и их группировок.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) используются в географических и, в частности, в геоморфологических исследованиях довольно широко. Например, в [4, 5] авторы описывают метод использования цифровых моделей рельефа, направленный на дальнейшее автоматизированное определение границ водосборных бассейнов для низменных территорий. Применение ЦМР для морфометрического анализа тектонических структур показано в работе [2]. Также в качестве примера можно привести использование глобальной цифровой модели рельефа SRTM в целях классификации малых водосборов по четырем морфометрическим характеристикам, определяющим энергию рельефа [6]. В [8] проведен автоматизированный морфометрический анализ ландшафтов речной долины на основе цифровой модели рельефа.

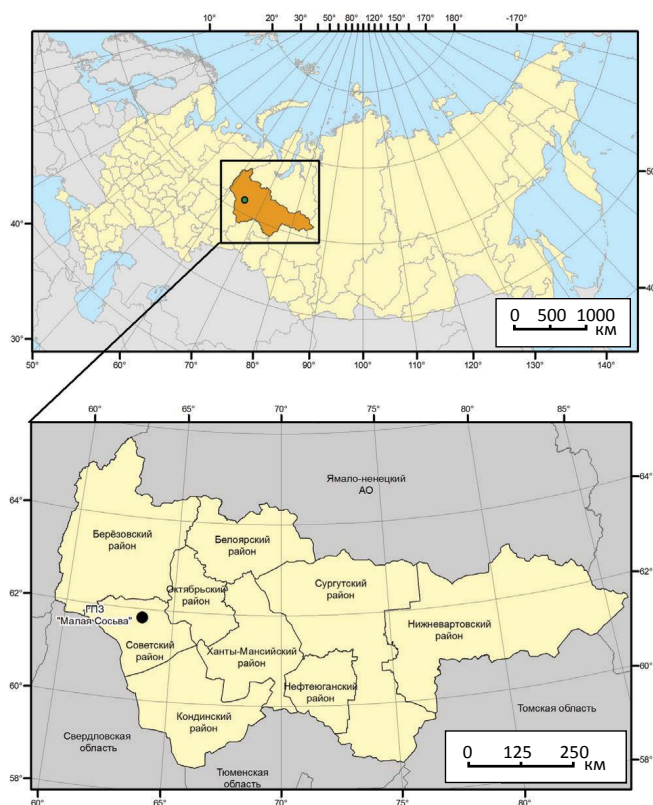
Район исследования

Территория государственного природного заповедника «Малая Сосьва» (далее заповедник) в

административном отношении находится в составе Советского и Березовского районов Ханты-Мансийского автономного округа — Югра (рис. 1, 2). Граница заповедника на севере проходит по $62^{\circ}35'$ с.ш., на юге — по $61^{\circ}45'$ с.ш., на западе — по $63^{\circ}40'$ в.д., на востоке — по $64^{\circ}45'$ в.д.

Рис. 1. Местоположение ГПЗ «Малая Сосьва» на карте России и Ханты-Мансийского автономного округа — Югра [1]

Fig. 1. Location of the SNR «Malaya Sosva» on the map of Russia and the Khanty-Mansiysk Autonomous Region — Ugra [1]



Материалы и методика исследования

В качестве источников данных были использованы [1]:

- цифровые модели рельефа ASTER GDEM, ALOS World 3D с пространственным разрешением 30 м и ArcticDEM с разрешением 2 м;
- космический снимок со спутника Sentinel-2A от 16.07.2017 г. (комбинация каналов «естественные цвета» 4-3-2, разрешение 10 м);
- топографические карты масштаба 1:100 000;
- карта четвертичных отложений и геоморфологическая карта ВСЕГЕИ, лист Р-41 (Ивдель) (М 1:1 000 000, 1995 г.) [11].

Методика работы заключалась в следующем. На первом этапе топографические карты района исследования масштаба 1:100 000 были загружены в программный комплекс ArcGIS for Desktop 10.3 (Esri, США), в котором затем осуществлялась их гео-

Рис. 2. Расположение ГПЗ «Малая Сосьва» и Малососьвинского амфитеатра в пределах административных районов Ханты-Мансийского автономного округа — Угра

Fig. 2. Location of the SNR «Malaya Sosva» and Malososvinsky Amphitheater within the administrative districts of the Khanty-Mansiysk Autonomous Region — Ugra



1 — граница Малососьвинского амфитеатра по [7]; 2 — граница ГПЗ «Малая Сосьва»; 3 — границы подрайонов Малососьвинского амфитеатра по [7]: а — Ворынский, б — Малососьвинский, в — Нягын-Юганский

1 — the border of the Malososvinsky Amphitheater according to [7]; 2 — the border of the SNR «Malaya Sosva»; 3 — the boundaries of the Malososvinsky amphitheater subdistricts according to [7]: a — Vorinsky, b — Malososvinsky, c — Nyagyn-Yugansky

графическая привязка по координатам. На следующем этапе в программном комплексе SAGA GIS с помощью модулей «Simple Filter», «Mesh Denoise», «Lee Directional Filter», «Fill Sinks» проводилась фильтрация, очистка от шумов и гидрологическая коррекция используемых цифровых моделей рельефа. В качестве основной ЦМР была использована ArcticDEM, а ASTER GDEM и ALOS World 3D применялись для закрытия белых пятен, то есть тех участков заповедника, на которые отсутствовала основная ЦМР. Окончательно картографический материал был оформлен в ArcGIS for Desktop 10.3. Космический снимок со спутника Sentinel-2A от 16.07.2017 г. был использован в целях верификации полученных данных для сверки контуров географических объектов. Сотрудниками и студентами Тюменского государственного университета в 2017 году проведено комплексное изучение заповедника Малая Сосьва. В ходе полевых работ были получены ботанические, ландшафтные, гидрологические и геоморфологические описания отдельных участков исследуемой территории. Полученные геоморфологические дан-

ные, в частности описания особенностей рельефа, также использованы авторами для верификации созданных карт в данной статье.

Основные результаты

Одной из первых карт в ходе работы была создана гипсометрическая карта (рис. 3), полученная на основе цифровой модели рельефа ArcticDEM. Визуальный анализ карты позволяет сделать вывод, что северная часть заповедника представляет собой депрессию, соответствующую Нижне-Обской впадине, со средними высотами около 30 м, в то время как южная часть выражена возвышенными равнинами. Максимальная отметка — 154 м (г. Белая гора), минимальная отметка — 21 м (север заповедника, урез р. Малая Сосьва), амплитуда высот — 133 м [1]. Средняя высота территории заповедника составляет около 60 м.

К одной из заметных особенностей рельефа исследуемой территории можно отнести Малососьвинский амфитеатр, представляющий собой цепь холмистых водоразделов, дугой окаймляющих с запада и юга бассейн верхнего течения р. Малая Сосьва [7]. Хорошо заметны многочисленные левые притоки реки Малая Сосьва в южной части заповедника. Также можно отметить значительную глубину расчленения территории, кроме того, выделяется параллельно-грядовый рельеф, расположенный в южной части.

Рис. 3. Гипсометрическая карта на территорию ГПЗ «Малая Сосьва» [1]

Fig. 3. Hypsometric map of the SNR «Malaya Sosva» [1]

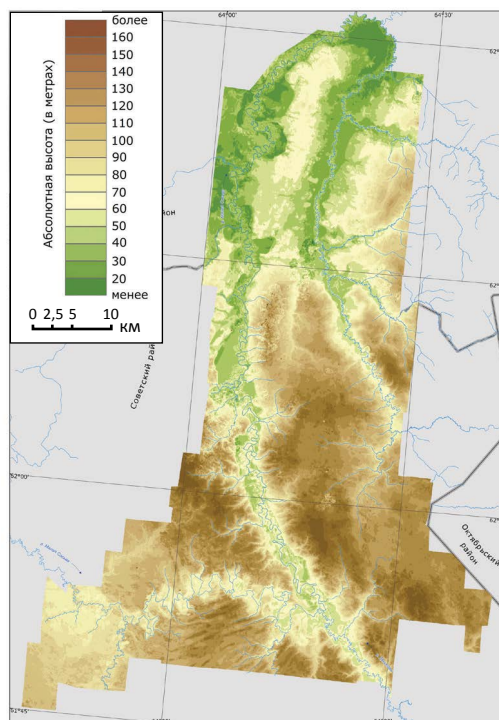
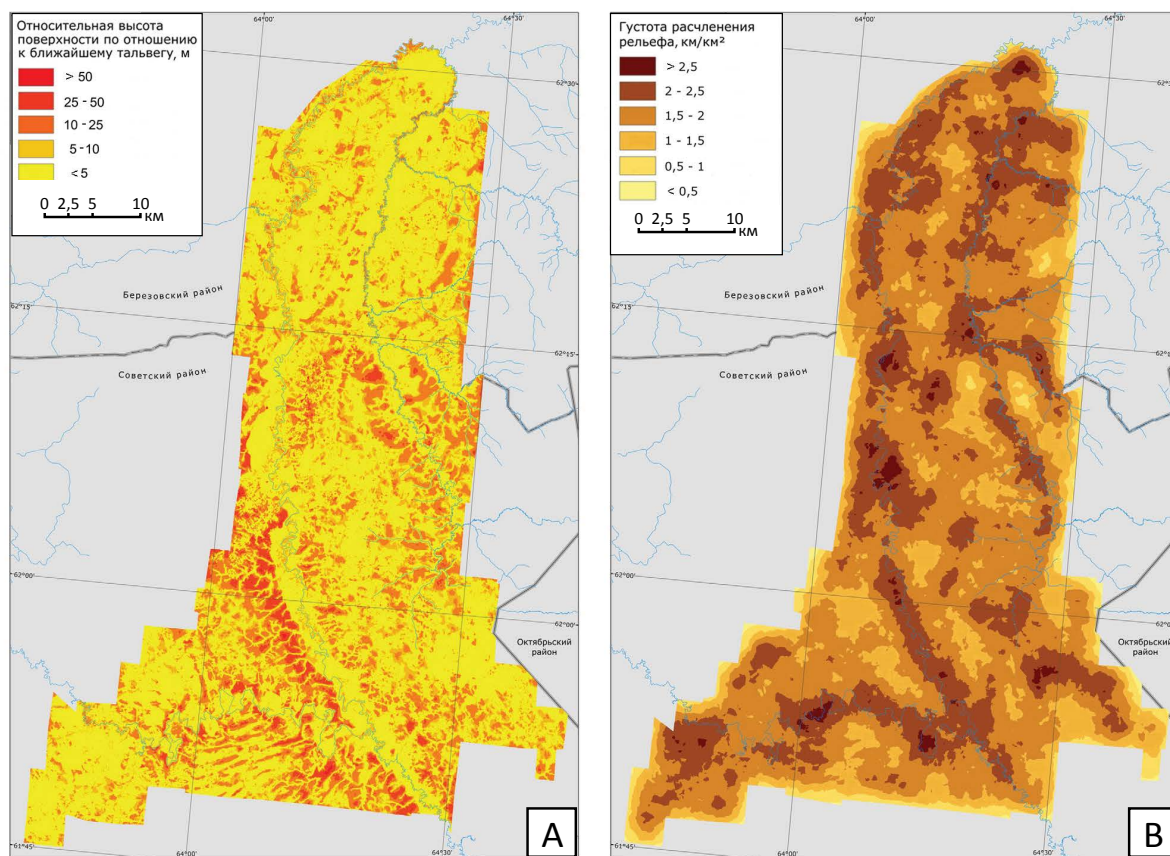


Рис. 4. Карты глубины (А) и густоты (В) расчленения рельефа территории ГПЗ «Малая Сосьва» [1]

Fig. 4. The range of dissection (A) and horizontal dissection of the relief (B) maps of the SNR «Malaya Sosva» [1]



Карты глубины расчленения рельефа (карты глубины местных базисов эрозии) составляются на основе расчетов с использованием значений максимальной и минимальной отметок местности. Для этого могут быть использованы разные способы. Один из них — метод квадратов, согласно которому внутри определенной площади по цифровой модели рельефа вычисляется амплитуда высот внутри заданного квадрата, затем квадрату присваивается это значение, и по полученным данным строятся изолинии [1]. В текущем исследовании применялся другой способ (в программном комплексе SAGA GIS с помощью инструмента «Vertical Distance to Channel Network»), суть которого состоит в определении разницы между значениями высот в ячейке матрицы высот и ближайшим базисом эрозии [12]. Изолинии строятся по матрице полученных значений. Итоговое оформление карты было проведено в ArcGIS for Desktop 10.3.

Анализ полученной карты (рис. 4А) показывает, что территория заповедника сильно- и значительно расчленена в местах вреза притоков реки Малая Сосьва, в основном в центральной, западной и южной частях исследуемой территории. Северная и юго-западная части характеризуются как нерасчле-

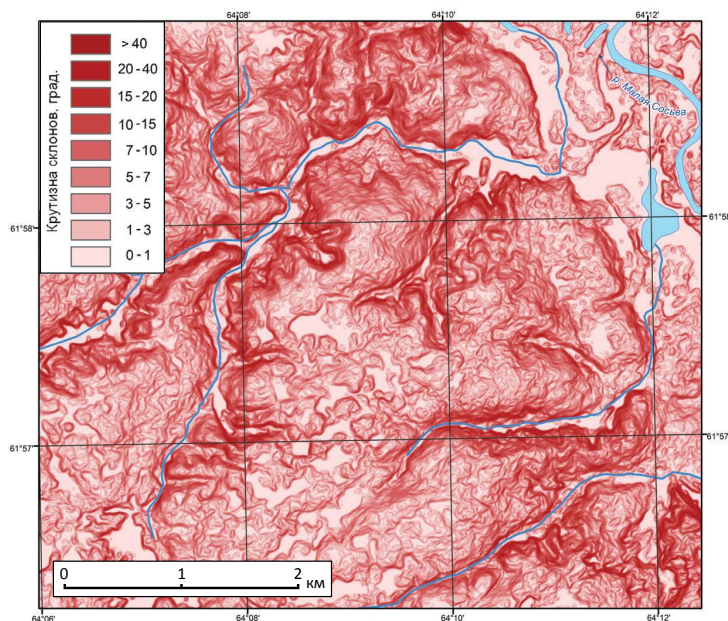
ненные и мелкорасчлененные, что связано с малым перепадом высот и выравненностью территории вследствие действия аллювиальных и озерно-аллювиальных процессов.

Карты густоты расчленения составляются либо с использованием метода квадратов с суммированием длин эрозионных сетей внутри квадрата, либо с помощью алгоритмов специализированных программ. В работе применен инструмент «Плотность линий» программного комплекса ArcGIS for Desktop. Он позволяет вычислить плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки матрицы высот методом скользящего окна [13]. В работе радиус окна был принят равным 50 м. Большее значение радиуса приводило к генерализации данных, а меньшее — к излишней детализации.

Анализ полученной карты густоты расчленения (рис. 4 В) показывает, что максимальная густота расчленения исследуемой территории — 3 км на км². Наибольшие значения наблюдаются по поймам рек Малая Сосьва и Нотэюган, что обусловлено сильной степенью их меандрирования. В целом же территория заповедника характеризуется как сильно расчлененная, что говорит о наличии хорошо развитой эрозионной сети [1].

Рис. 5. Фрагмент карты крутизны склонов поверхности территории ГПЗ «Малая Сосьва» [1]

Fig. 5. Fragment of the steepness of slopes map of the SNR «Malaya Sosva» surface [1]



Для ранжирования территории по уклону использовалась классификация Заславского для равнинных территорий [3], которая, по мнению авторов, позволяет лучше учесть особенности рельефа заповедника. Карта крутизны склонов (рис. 5) была создана на основе ЦМР ArcticDEM (пространственное разрешение 2 м) с помощью инструмента «Уклон» в наборе ArcToolBox для ArcGIS for Desktop 10.3. Для каждой ячейки матрицы высот рассчитывается максимальная степень изменения в значении z между конкретной ячейкой и соседними с ней ячейками [14]. Значение уклона вычисляется с использованием методики усредненного максимума [9]. При отображении крутизны склона использовано 9 классов градации цвета (оттенков), что,

по мнению авторов, придало изображению дополнительный объем и пластику. В целом, результаты анализа карты показывают, что территория заповедника преимущественно имеет пологие, покатые и сильнопокатые склоны. Крутые, сильно крутые, а также обвально-осыпные склоны встречаются в верхнем и среднем течении реки Малая Сосьва, в этой местности средняя величина крутизны склонов составляет около 40° .

Помимо приведенных выше карт, в данном исследовании была создана карта «красного рельефа» (Red Relief Image Map) (рис. 6), для этого использовался метод визуализации рельефа, разработанный коллективом ученых Asia Air Survey Co [10]. Суть метода состоит в синтезе изображений двух пока-

Рис. 6. Фрагмент карты красного рельефа (RRIM) на территорию ГПЗ «Малая Сосьва» [1]

Fig. 6. Fragment of a red relief image map (RRIM) to the territory of the SNR «Malaya Sosva» [1]

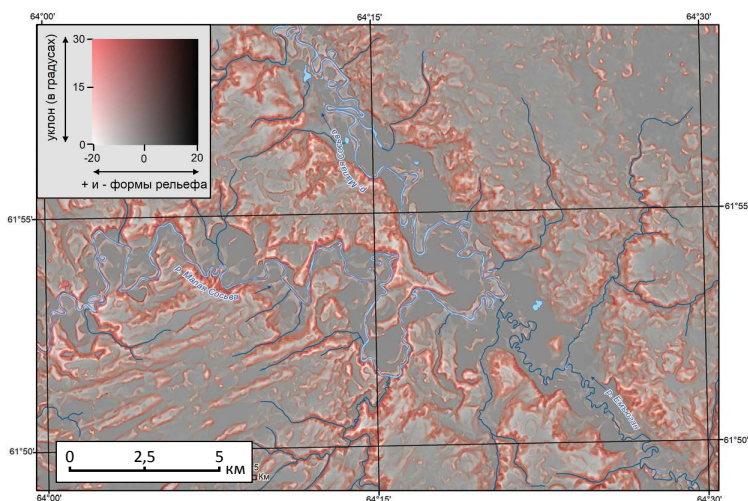
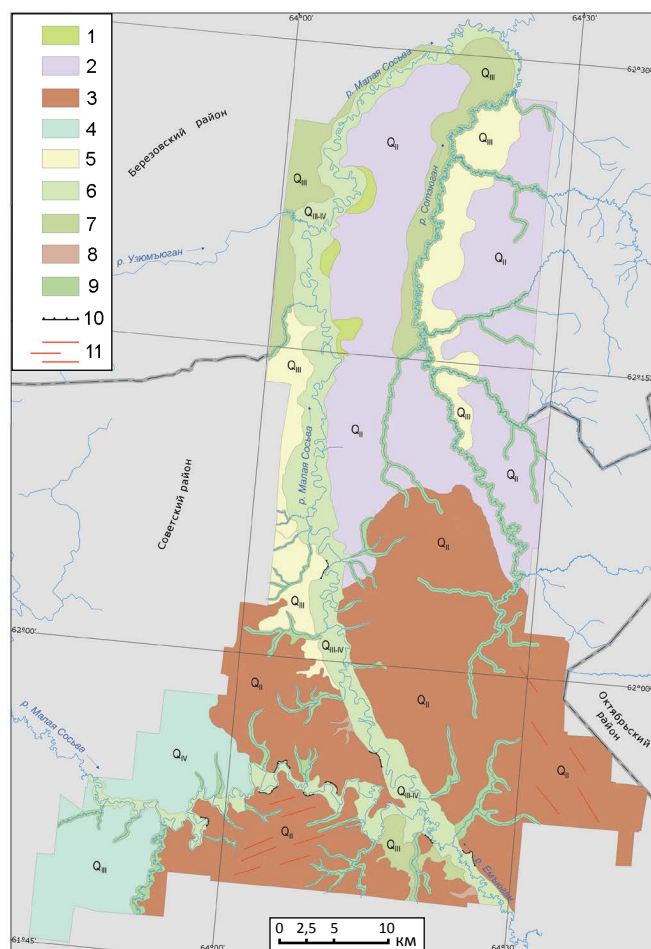


Рис. 7. Геоморфологическая карта ГПЗ «Малая Сосьва» (составлено авторами)

Fig. 7. Geomorphological map of the SNR Malaya Sosva (compiled by the authors)



Аккумулятивный рельеф: 1 — вторая надпойменная терраса, сложенная аллювиальными отложениями; 2 — флювиогляциальные зандровые равнины; 3 — гляциальные и флювиогляциальные грядовые равнины с близким залеганием дочетвертичных пород; 4 — озерно-аллювиальные слабонаклонные равнины; 5 — озерные и озерно-аллювиальные слабонаклонные равнины; 6 — нерасчлененный комплекс поймы и речных террас р. Малая Сосьва и р. Емьюган; 7 — третья надпойменная терраса, сложенная аллювиальными отложениями. Эрозионно-денудационный рельеф: 8 — овраги и балки; 9 — поймы малых рек; 10 — обвальнo-осыпные склоны (более 40°); 11 — параллельно-грядовый рельеф невыясненного генезиса

Accumulative relief: 1 — second terrace above flood-plain, composed of alluvial deposits; 2 — fluvio-glacial outwash plains; 3 — glacial and fluvio-glacial ridge plains with close occurrence of pre-Quaternary rocks; 4 — lacustrine-alluvial weakly inclined plains; 5 — lacustrine and lacustrine-alluvial weakly inclined plains; 6 — undivided complex of the flood-plain and river terraces of the r. Malaya Sosva and r. Emyugan; 7 — the third terrace above flood-plain, composed of alluvial deposits. Erosion-denudation relief: 8 — ravines and balkas; 9 — flood-plains of small rivers; 10 — rock-fall-talus slopes (more than 40°); 11 — parallel-ridge relief of unexplained genesis

зателей: углов наклона поверхности и карты положительных и отрицательных форм рельефа. Расчет последней выполняется через калькулятор раstra двух других карт: позитивной и негативной топографической открытости территории (topographic

openness) [1]. Получаемое изображение сильно зависит от качества исходных данных, при этом лучшие результаты дает использование данных LiDAR-съемки. Это объясняется рядом преимуществ этого вида съемки, из которых главными являются высокая скорость и детализация съемки по сравнению с классическими видами.

Следует подчеркнуть, что на картах «красного рельефа» отлично отображаются все формы рельефа: отчетливо видны долины рек, поймы, коренные склоны, овражно-балочная сеть, а также параллельно-грядовый рельеф. В нашем исследовании выделение и уточнение форм рельефа для создания общей геоморфологической карты проведено именно этим методом.

Общая геоморфологическая карта (рис. 7) масштаба 1:100 000 создана по результатам анализа полученных частных геоморфологических карт, а также на основе изучения ранее изданных карт более мелкого масштаба. Так, выделение форм рельефа и количественная оценка некоторых характеристик рельефа сделаны по полученным картам, а происхождение и возраст рельефа взяты из литературных источников и ранее изданных карт.

Анализ общей геоморфологической карты позволяет сделать вывод о том, что на территории заповедника преобладает аккумулятивный рельеф четвертичного возраста, созданный на неглубоко залегающих дочетвертичных породах ледниковыми, водно-ледниковыми процессами, а также воздействием рек и озер. Среди форм рельефа доминируют озерно-аллювиальные, озерно-ледниковые, моренные равнины. Денудационно-эрозионные склоны развиты в основном по течению главных рек заповедника — Малая Сосьва, Сотэюган и Емьюган. Средняя крутизна таких склонов достигает 50°. Распространены также и обвальнo-осыпные склоны, которые выделены в отдельную категорию на карте.

Выводы

В ходе работы с помощью геоинформационных систем ArcGIS for Desktop 10.3, SAGA GIS на основе цифровых моделей рельефа ASTER GDEM, ALOS World 3D и ArcticDEM было проведено крупномасштабное (масштаб 1:100 000) геоморфологическое картографирование территории государственного природного заповедника «Малая Сосьва» им. В.В. Раевского, что имеет актуальное значение для морфометрического и общего геоморфологического описания данной территории. На основе анализа полученных карт дана характеристика рельефа района, выделены его некоторые особенности. В частности, можно отметить значительную глубину расчленения территории, в основном в центральной, западной и южной частях заповедника, а в северной и юго-западной частях преобладает мелкорасчлененный рельеф. Максимальные значе-

ния густоты расчленения наблюдаются по поймам рек Малая Сосьва и Нотэюган, вследствие сильной степени их меандрирования. В целом, территория исследования имеет хорошо развитую эрозионную сеть. Склоны преимущественно пологие, покатые и сильнопокатые. На юге в верхнем и среднем течении реки Малая Сосьва встречаются крутые, сильно крутые, а также обвальнo-осыпные склоны.

В дальнейшем созданные крупномасштабные геоморфологические карты могут быть использованы для проведения комплексных исследований территории государственного природного заповедника «Малая Сосьва», а также в качестве исходного материала для изучения района на более детальном (масштаб крупнее 1:100 000) уровне.

Авторы выражают признательность всем рецензентам статьи и к.г.н. А.Н. Маккаеву (ИГ РАН) за ценные замечания и комментарии.

Литература

1. Дектярев К.Н., Пшеничников А.Е. Использование цифровой модели рельефа для создания серии геоморфологических карт (на примере территории государственного природного заповедника «Малая Сосьва») // Актуальные проблемы обеспечения устойчивого развития Тюменского региона: материалы 69-й студенческой научной конференции (Тюмень, 21 апреля 2018 г.) / Отв. ред. И.Д. Ахмедова. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2018. – С. 56–63.
2. Ермолаев О.П., Семёнов Ф.В. Использование цифровых моделей рельефа для морфометрического анализа тектонических структур и поиска россыпей аллювиального генезиса // География и природные ресурсы. – 2014. – № 1. – С. 142–147.
3. Заславский М. Н. Эрозиоведение: учеб. для геогр. и почв. спец. вузов. – М. : Высш. шк., 1983. – 318 с.
4. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // Вестник Московского университета. – Сер. 5. География. – 2017. – № 3. – С. 42–50.
5. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // Геоморфология. – 2014. – № 1. – С. 45–52.
6. Мальцев К.А., Шарифуллин А.Г. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах освоенных равнин // Геоморфология. – 2017. – № 3. – С. 76–87.
7. Сосьвинское Приобье (очерки природы и хозяйства) / Отв. ред. Ю.П. Михайлов. – Иркутск : Ин-т географии Сибири и ДВ СО АН СССР, 1975. – 513 с.
8. Хромых В.В., Хромых О.В. Опыт автоматизированного морфометрического анализа долинных геосистем нижнего Притомья на основе цифровой модели рельефа // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 298. – С. 208–210.
9. Burrough P.A., McDonell R.A. Principles of Geographical Information Systems. – New York : Oxford University Press, 1998. – 190 p.
10. Chiba T., Kaneta S., Suzuki Y. Red Relief Image Map: New visualization method for three dimensional data // The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – Beijing : International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2008. – Vol. XXXVII. – Part B2. – pp. 1071–1076.
11. База данных Государственных геологических карт [Электронный ресурс] // Официальный сайт ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. – 2014–2021. – Режим доступа: <http://webmapget.vsegei.ru/index.html> (дата обращения: 16.04.2021).
12. Conrad O. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.0) [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.0/ta_channels_3.html (дата обращения: 16.04.2021).
13. Плотность линий (ArcMap 10.3) // Официальный сайт ArcGIS for Desktop. – Environmental Systems Research Institute, 2020. – Режим доступа: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/line-density.htm> (дата обращения: 16.04.2021).
14. Функция Уклон (ArcMap 10.3) // Официальный сайт ArcGIS for Desktop. – Environmental Systems Research Institute, 2020. – Режим доступа: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/slope-function.htm> (дата обращения: 16.04.2021).

References

1. Dektyarev K.N., Pshenichnikov A.E. Using a digital terrain model to create a series of geomorphological maps (on the example of the territory of the State Natural Reserve «Malaya Sosva»). In: Aktual'nye problemy obespecheniya ustoichivogo razvitiya Tyumenskogo regiona: materialy 69-i studencheskoi nauchnoi konferentsii (Tyumen, 21 April 2018). Akhmedova I.D. (ed.). Tyumen: Tyumen State University; 2018. Pp. 56–63 [in Russian].
2. Ermolaev O.P., Semenov F.V. Use of digital terrain models in morphometric analysis of tectonic structures and prospecting of placers of alluvial genesis. *Geography and Natural Resources*. 2014;35(1):82–87.
3. Zaslavsky M.N. Eroziovedenie: ucheb. dlya geogr. i pochv. spets. vuzov [Erosion studies: a textbook for specialized geographical and pedological universities]. Moscow: Vysshaya shkola; 1983. 320 p. [in Russian].
4. Koshel S.M., Entin A.L. Catchment area derivation from gridded digital elevation models using the flowline-tracing approach. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*. 2017;3:42–50 [in Russian].
5. Mal'tsev K.A., Yermolaev O.P. Using DEMs for automatic plotting of catchments. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2014;1:45–52 [in Russian].

6. Maltsev K.A., Sharifullin A.G. Morphological typology of small catchments in river basins on cultivated plains. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2017;3:76–87 [in Russian].
7. Mikhailov Yu.P. (ed.). Sos'vinskoe Priob'e (oчерki prirody i khozyaistva) [Sosvinskoye Ob Region (Studies on Nature and the Economy)]. Irkutsk: Institute of Geography of Siberia and Far East SB Academy of Sciences USSR; 1975. 513 p. [in Russian]
8. Khromykh V.V., Khromykh O.V. Experience of automated morphometric analysis of geosystems based on digital elevation model of the Tom valley. *Tomsk State University Journal*. 2007;298:208–210 [in Russian].
9. Burrough P.A., McDonell R.A. Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press; 1998. 190 p.
10. Chiba T., Kaneta S., Suzuki Y. Red Relief Image Map: New visualization method for three dimensional data. In: *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. Beijing: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing; 2008. V. 37. Part B2. Pp. 1071–1076.
11. Database of State geological maps. In: Ofitsial'nyi sait VSEGEI im. A.P. Karpinskogo. 2014–2021. Available at: <http://webmapget.vsegei.ru/index.html> (accessed 16.04.2021) [in Russian].
12. Conrad O. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.0). 2002. Available at: http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.0/ta_channels_3.html (accessed: 16.04.2021).
13. Line Density (ArcMap 10.3). In: ArcGIS for Desktop website. Environmental Systems Research Institute, 2020. Available at: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/line-density.htm> (accessed 16.04.2021).
14. Slope function (ArcMap 10.3). In: ArcGIS for Desktop website. Environmental Systems Research Institute, 2020. Available at: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/slope-function.htm> (accessed 16.04.2021).

Информация об авторах

Пшеничников Артем Евгеньевич

Кандидат географических наук

Доцент кафедры картографии и геоинформационных систем
Института наук о Земле

Тюменский государственный университет

625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 6

e-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru

Дектярев Константин Николаевич

Инженер-эколог

ООО «ТюменьПромИзыскания»

625002, Россия, г. Тюмень, ул. Холодильная, д. 65/3

e-mail: dimen4ik@yandex.ru

Information about authors

Artem E. Pshenichnikov

Candidate of Geography Sciences

Assistant Professor at the Cartography and Geoinformation Systems
Department of the Institute of Earth Sciences

Tyumen State University

6, Volodarskogo str., Tyumen, 625003, Russia

e-mail: a.e.pshenichnikov@utmn.ru

Konstantin N. Dektjarev

Environmental Engineer

LLC «Tyumen'PromIzyskanija»

65/3, Holodil'naja str., Tyumen, 625002, Russia

e-mail: dimen4ik@yandex.ru