УДК: 912.4 **DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-191-204**

Э.А. Шеремет[1], **Н.Н. Калуцкова**[2], **В.С. Дехнич**[3]

ВИЗУАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЛАНДШАФТОВ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС (НА ПРИМЕРЕ БЕЛОГРАДЧИШСКИХ СКАЛ (БОЛГАРИЯ))

АННОТАЦИЯ

Визуальные характеристики ландшафтов являются важными факторами, определяющими туристско-рекреационный потенциал территорий. В настоящее время применяется ряд методологических подходов для оценки визуальных свойств ландшафтов. Их можно разделить на традиционные, связанные исключительно с полевыми исследованиями, и инновационные, использующие данные дистанционного зондирования (ДДЗ) высокого пространственного разрешения и ГИС-технологий. Полевая оценка визуального качества ландшафтов использует систему многочисленных элементарных показателей, что необходимо для минимизации субъективности оценки. Проводятся они в пределах отдельных участков или туристических маршрутов. В свою очередь, современные ГИС и высококачественные ДДЗ позволяют провести оценку визуальных свойств ландшафтов из любой точки наблюдения на территории. Основная задача нашего исследования заключалась в верификации полученных результатов автоматизированной обработки аэрофотоснимков сверхвысокого разрешения, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с данными полевых наблюдений по туристическому маршруту. Исследование проводилось на территории геопарка Белоградчишские скалы (Северо-Западная Болгария).

В качестве примера в работе более подробно рассмотрены 4 из 28 эстетических показателей – обилие горных вершин в зоне видимости, обилие горных вершин на линии горизонта, общая лесистость пейзажа и обилие открытых пространств в лесистом пейзаже. Полученные результаты ГИС-оценки с применением разработанных алгоритмов для каждого оценочного показателя подтвердили, что данный метод оценки позволяет произвести расчет многих показателей с высоким уровнем точности, сопоставимым с данными полевых исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: визуальные свойства ландшафтов, эстетика ландшафта, ГИС-технологии, беспилотные летательные аппараты, Белоградчишские скалы (Болгария).

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail:* **elina7-sheremet@mail.ru**

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail:* **kalutskova@gmail.com**

[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, *e-mail:* **vodo.ast@gmail.com**

Elina A. Sheremet[1], **Natalia N. Kalutskova**[2], **Vladimir S. Dekhnich**[3]

VISUAL CHARACTERISTICS OF LANDSCAPES AND METHODS FOR THEIR ASSESSMENT ON GIS (BELOGRADCHIK ROCKS (BULGARIA) AS AN EXAMPLE)

ABSTRACT

Visual characteristics of landscapes are important factors for the assessment of tourist and recreational potential of territories. At present, a number of methodological approaches are applied to assess the visual characteristics of landscapes. They can be divided into traditional, associated exclusively with field research, and innovative, which is based on remote sensing data (RSD) of high spatial resolution and GIS technologies. Field assessment of the visual quality of landscapes utilizes a system of numerous elementary indicators to minimize subjectivity of assessment. They are conducted within separate areas or touristic routes. In its turn, modern GIS and high quality of remote sensing data allow assessing of most indicators of the visual quality of landscapes for any observation point on the entire territory. The main task of our research is to verify the results of automated processing of ultra-high resolution aerial photographs obtained from unmanned aerial vehicles (UAV) by field observations on a touristic route. The research was carried out on the territory of the "Belogradchik Rocks" Geopark (North-West Bulgaria). In our study, we estimated 4 out of 28 aesthetic indicators – the amount of mountain peaks visible from a site, the amount of mountain peaks on the skyline, the percentage of the forest-covered area, and the amount of open spaces in the wooded landscape. The obtained results confirmed that our approach allows calculating these aesthetic indicators at an accuracy level comparable to field observations.

KEYWORDS: visual characteristics of landscapes, landscape aesthetics, GIS technologies, unmanned aerial vehicles, Belogradchik Rocks (Bulgaria).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время оценка эстетической привлекательности территории играет ключевую роль в области развития туризма и организации туристических маршрутов. Говоря об эстетической оценке ландшафта, прежде всего оцениваются его визуальные качества, которые во многом определяют туристско-рекреационный потенциал территории, а также влияют на размещение элементов инфраструктуры в будущем.

Сегодня помимо традиционных методов оценки, наблюдается активное внедрение комбинированных методов оценки визуальных свойств ландшафтов с использованием ГИС-технологий. В данном случае применение ГИС предоставляет многокомпонентные возможности для исследования эстетической ценности ландшафтов, а визуализация пространственных данных обеспечивает наглядное отображение полученных результатов эстетической привлекательности территории исследования в целом.

Существенно увеличить точность подобного рода исследований позволяет использование данных сверхвысокого разрешения путем аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые активно применяются в исследованиях в

[1] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail:* **elina7-sheremet@mail.ru**

[2] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail:* **kalutskova@gmail.com**

[3] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail:* **vodo.ast@gmail.com**

последнее десятилетие. Функциональные возможности современных ГИС позволяют создавать детальные цифровые модели местности (ЦММ) при помощи комбинирования данных аэрофотосъемки высокого пространственного разрешения по туристическим маршрутам и моделей SRTM с покрытием на всю территорию исследования. Усовершенствованные методы эстетической оценки ландшафтов на основе обработки высокодетальных данных дистанционного зондирования с применением ГИС позволяют определить эстетическую привлекательность любой обзорной точки, что можно использовать для оптимизации существующих сетей туристических маршрутов и организации новых маршрутов.

Основная задача нашего исследования заключалась в верификации полученных результатов автоматизированной обработки аэрофотоснимков сверхвысокого разрешения, полученных с беспилотных летательных аппаратов с данными полевых наблюдений. Наше исследование проводилось на территории Белоградчишских скал в Северо-Западной Болгарии в летний сезон 2019 года. Это самое крупное скальное образование в районе Предбалкан, получившее мировую известность и номинируемое на включение в систему геопарков (геологических парков) ЮНЕСКО [*Калуцкова и др.,* 2019]. Развитие устойчивого туризма является одним из приоритетных направлений, поэтому здесь должна быть организована сеть туристических маршрутов, охватывающая наибольшее количество уникальных геологических объектов (геотопов) и эстетически привлекательных ландшафтов [*Шеремет и др.,* 2020] (рис. 1).

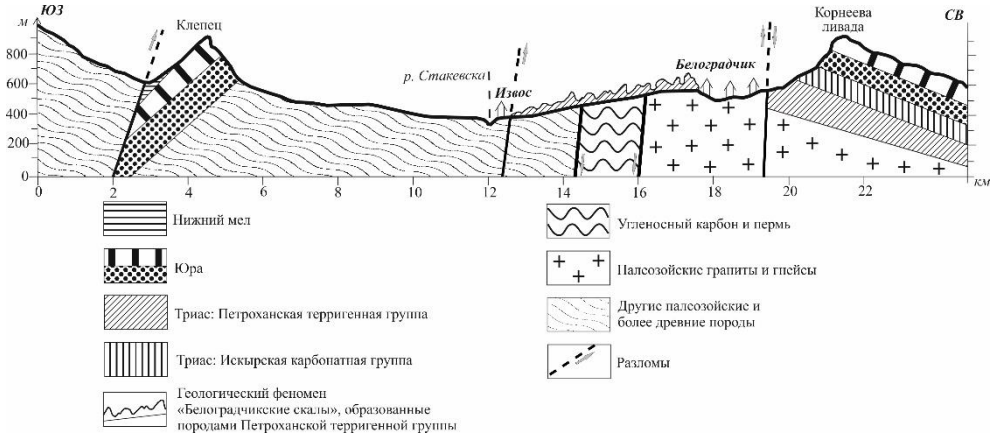

Рис. 1. Геологический профиль Белоградчишского антиклонория [Tronkov, 1998]
Fig. 1. Geological profile of the Belogradchik Anticlinorium [Tronkov, 1998]

Территория исследования отличается достаточно сложным геологическим строением. Она входит в состав крупного Белоградчишского антиклинория Предбалканской морфометрической зоны. В ядре антиклинория вскрываются и выходят на поверхность древние докембрийские и палеозойские породы, для его крыльев характерны типичные карбонатные мезозойские породы [*Tronkov et al.,* 2012]. Это привело к формированию Белоградчишских скал – как геологического феномена, так как в качестве его ядра выступает комплекс скальных останцов.

Современный облик ландшафтов территории был сформирован мезозойскими породами Петроханской терригенной группы. В северо-восточной и западной части скального комплекса выделяется ландшафт куэст, сложенный песчаниковыми известняками и мергелями юрского, триасового и мелового возраста под грабово-буковыми и кленово-грабовыми лесами на горных дерново-карбонатных почвах. Большую часть комплекса занимает ландшафт складчатых предгорий, сложенный красноцветными

конгломератами и грубозернистыми песчаниками триасового возраста под дубовыми и дубово-грабовыми лесами с подлеском на горных бурых лесных почвах [*Калуцкова,* 2008].

На территории Белоградчишских скал имеется 5 туристических маршрутов. Нами для исследования был выбран туристический маршрут «Мир скал». Данный маршрут имеет протяженность около 6 км. Проходит в пределах ландшафта складчатых предгорий. На маршруте имеется 9 обзорных точек, с которых открываются панорамные виды. В данной статье мы более подробно рассматриваем результаты оценки визуальных свойств ландшафтов н примере двух обзорных точек. Обзорная точка № 3 находится на высоте 510 м н.у.м, на покатом коренном склоне гряды, обзорная точка № 6 находится на вершинной поверхности останца, но занимает более низкое положение 448 м н.у.м (рис. 2).

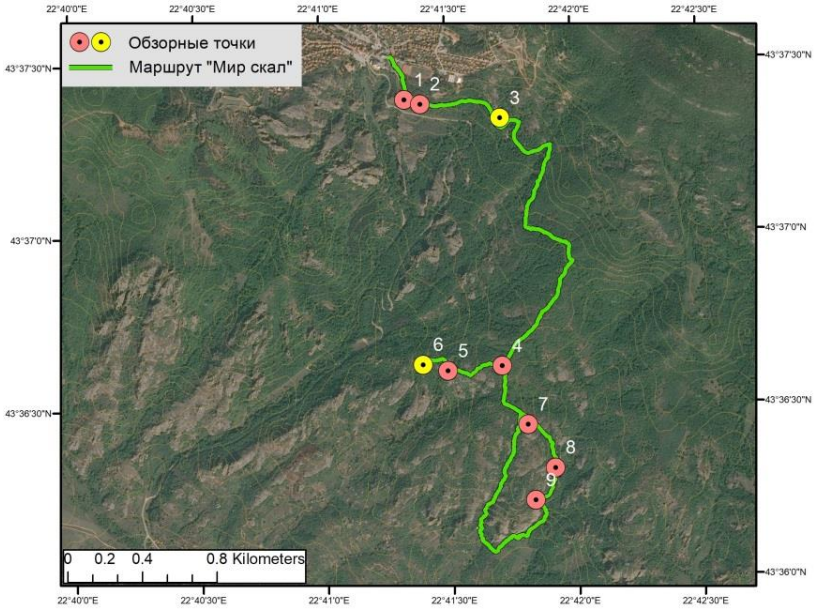

Рис. 2. Туристический маршрут «Мир скал»
Fig. 2. Tourist route "World of the Rocks"

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Научная основа визуального восприятия ландшафта была заложена в конце XIX в. в работах А. Гумбольдта, А. Геттнера, В.П. Семенова-Тян-Шанского и др. А. Гумбольдт ввел первое представление о ландшафте, под которым понималась визуально воспринимаемая и эстетически оцениваемая красота окружающей среды [*Гумбольдт,* 1959]. В работе А. Геттнера «География: ее история, сущность и методы» раскрыто определение термина «эстетическая география», который «взвешивает эстетическую ценность и красоту» различных ландшафтов и местностей [*Геттнер,* 1930, с. 140]. В.П. Семенов-Тян-Шанский в фундаментальном труде «Район и страна» [*Семенов-Тян-Шанский,* 1928] рассматривал связи между географией, эстетикой и искусством.

В XX в. в англоязычных странах Запада и США начинает формироваться «поведенческая география». По мнению Дж. Голда, «…огромное внимание в поведенческой географии уделяется изучению представлений о пространстве, исследованию его образа в сознании» [*Голд,* 1990, с. 9]. Подобные взгляды можно найти в работах Д. Лоуэнталя (1961, 1967), У. Кирка (1963), Э. Пеннинг-Роуселла (1973, 1974), Д. Харди (1973) и др. Было установлено, что феномен пространственного восприятия территории связан с аттрактивностью ландшафтов, и можно выделить и описать как наиболее, так и наименее привлекательные для визуального восприятия ландшафты. Теме восприятия ландшафта

посвящены работы Д. Мейнига (1979), К. Фута (1979), Д. Косгроува (1984), Э. Релпа (1987), Дж. Гибсон (1988) и др.

На становление эстетического направления в отечественной географии большое влияние оказали работы В.С. Преображенского, В.А. Николаева, Б.Б. Родомана, Ю.А. Веденина, К.И. Эрингиса, А.Р.-А. Будрюнаса, О.В. Калашниковой, В.В. Савельевой, М.Ю. Фроловой, Н.Н. Назарова, Ю.П. Хрусталев, А.В. Белова, А.В. Бредихина и др. В.А. Николаев предлагает рассматривать эстетику ландшафта в качестве особого направления ландшафтоведения, связанного с изучением красоты, живописности природных и природно-антропогенных ландшафтов, а также с особенностями их эстетического восприятия. Эстетической оценке подлежит визуальная картина, открывающаяся перед наблюдателем из любой точки географического пространства. Под этой картиной понимается пейзаж – «внешний облик ландшафта, воспринимаемый с той или иной видовой точки…» [*Николаев,* 2005, с. 68]. В данном случае эстетика ландшафта направлена на изучение гармонии и красоты ландшафта. Это довольно сложный процесс взаимосвязи между человеком и ландшафтом, представляющий психологическое отражение красоты природной среды посредством чувственного восприятия [*Аткина,* 2017].

В первую очередь, в процессе оценки визуальных свойств ландшафта важно учитывать его привлекательность – *аттрактивность*. Наблюдатель без всякой сложности может выделить объективный фон и фигуры, а также их очертания [*Дирин и др.,* 2010]. Основные качества аттрактивности напрямую зависят от цвета, яркости и пространственной структуры. Так, например, от особенностей цветовых комбинаций в пейзаже зависит характер их воздействия на наблюдателя. Помимо аттрактивности в ландшафтной географии вводится понятие *перцепции* ландшафта – чувственного восприятия окружающего, несущего для субъекта некую эстетическую ценность – по сущности близкое к термину «эстетическое восприятие» [*Аткина,* 2017]. Действующим лицом в процессе восприятия ландшафтов является субъект восприятия – наблюдатель, который воспринимает и оценивает объект восприятия, а именно сам ландшафт.

Таким образом, эстетическое наслаждение наблюдателя напрямую зависит от гармонических взаимосвязей в системе воспринимаемых объектов [*Birkhoff,* 1933]. В основу любого пейзажа заложена внутренняя структура с основополагающими элементами, но главным свойством является его целостность [*Николаев,* 2005]. По мнению П. Гобстера, все слагающие эстетической оценки, а именно сам индивидуум, ландшафт, объекты и результаты оценки, должны быть объединены в единую систему [*Gobster,* 1999]. Эстетическая оценка должна затрагивать объекты как природной, так и искусственной среды.

Визуальное восприятие во многом зависит от физиологических особенностей человека. Более 90% пространственной информации он получает преимущественно через зрительный анализатор. Воспринимаемый пейзаж может значительно трансформироваться при изменении местоположения самого наблюдателя даже на несколько метров [*Гибсон,* 1988; *Филин,* 2006]. Кроме этого, на восприятие окружающего оказывают влияние свет, звуковые импульсы, запахи, пространственные формы и их соотношение. Как отмечает К. Норберг-Шульц, свет может выступать в качестве одного из главных факторов дифференциации форм в ландшафте [*Норберг-Шульц,* 1995].

Визуальное восприятие ландшафта устанавливается через дистанцию между субъектом и пейзажем. Любая дистанция зависит от местоположения точки пейзажного обзора и протяженности ее перспективы [*Николаев,* 2005]. Главная роль в восприятие пейзажа отводится оптимальному выбору смотровых площадок – *обзорных точек*, с которых открывается видимая панорама. Каждая обзорная точка должна быть по своему привлекательной, максимально охватывать все разнообразие территории и быть доступной для массового посещения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследований визуальных свойств ландшафтов с каждым годом все более усовершенствуются. Как было отмечено, большое значение придается ГИС-технологиям и обработке данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Некоторые современные методики предусматривают синтез экспертных балльных оценок и ГИС-анализа, которые позволяют обрабатывать большие массивы пространственных данных и верифицировать их с данными полевых исследований.

Так, например, в современных исследованиях проводится оценка обзорных точек с позиции привлекательности открывающихся ландшафтов в зонах видимости с использованием ЦМР – как главного фактора формирования условий восприятия и общей структуры пейзажной картины, что позволяет в дальнейшем оценить эстетический потенциал исследуемой территории [*Ротанова и др.,* 2017]. Большинство исследований направлены на разработку комплексных ландшафтно-эстетических оценок на основе частных оценочных показателей [*Кочуров и др.,* 2007; *Бибаева и др.,* 2018; *Дирин,* 2007].

Во многих зарубежных работах раскрываются возможности использования аэрофотоснимков с БПЛА, так как высокая точность пространственных данных позволяет учесть влияние всех видимых объектов на зону видимости, а также провести эстетическую оценку открывающихся перед наблюдателем ландшафтов. Подобные исследования осуществляются для оценки безопасности маршрутов, комфортности их прохождения и эстетической привлекательности панорам видимости [*Hackney et al.,* 2015; *Cwiakala et al.,* 2017; *Shiou et al.,* 2020]. Помимо этого, построенные на основе аэрофотоснимков ортофотопланы, позволяют воспроизводить детальные 3D-модели, которые могут быть использованы в целях планирования туризма и проектирования туристско-рекреационной инфраструктуры [*Shaoyu et al.,* 2018].

Методику нашего исследования можно разделить на три этапа. Первый этап – полевой – включал в себя оценку эстетических показателей ландшафта по традиционной методике К.И. Эрингиса и А.Р. Будрюнаса [*Эрингис и др.,* 1975], которая нами была адаптирована для территории Белоградчишских скал. Если К.И. Эрингис и А.Р. Будрюнас оценивали 80 показателей, то мы уменьшили количество показателей до 28, объединенных в четыре крупных блока: общее восприятие пейзажа, выразительность рельефа, пространственное разнообразие растительности и степень антропогенной трансформации ландшафта. В качестве примера нами приводится оценка только четырех показателей: «Обилие горных вершин в зоне видимости», «Обилие горных вершин на линии горизонта», «Общая лесистость пейзажа» и «Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже».

Одновременно с полевыми описаниями обзорных точек нами была проведена аэрофотосъемка сверхвысокого разрешения с использованием двух беспилотных летательных аппаратов с двух высот: с высоты 100 м, охватывающая территорию маршрута «Мир скал» и с высоты 400 м, охватывающая территорию всего скального комплекса «Белоградчишские скалы».

Второй этап заключался в предварительной обработке данных дистанционного зондирования для дальнейшего ГИС-анализа. Был проведен расчет зон видимости с каждой обзорной точки по туристическому маршруту, создана DTM (цифровая модель местности), а также рассчитаны дополнительные пространственные данные (TPI – Topography Position Index, PCA – Principal Component Analysis и др.). На третьем этапе – были созданы специальные алгоритмы визуальной оценки ландшафтов. Заключительный этап представляет собой верификацию данных, полученных при автоматизированной оценке, с данными полевых исследований.

Исходными данными для выполнения нашего исследования являлись:

1. Полевые данные (GPS-треки, полученные при следовании вдоль туристических маршрутов, координаты обзорных точек, полевые оценки эстетических свойств ландшафтов, наблюдаемых с обзорных точек).
2. Результаты аэрофотосъемки с применением квадрокоптеров DJI Phantom 4 Pro и DJI Mavic Pro (произведенные облака точек, ортофотопланы и DTM).
3. Цифровые модели рельефа SRTM DEM (пространственное разрешение 30 м).
4. Спутниковые снимки Landsat-8 OLI (пространственное разрешение 30 м).
5. Производные индексы (TPI и т.д.).
6. Информация о расположении объектов инфраструктуры, предоставленная открытыми картографическими сервисами (Google-карты, Яндекс-карты, OpenStreetMap).

Предварительная обработка изображений аэрофотосъемки и создание DTM проводились в программном обеспечение AGISOFT «Photoscan». Основной массив пространственных данных анализировался в программном обеспечение ESRI «ArcGIS».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительная обработка данных и построение зон видимости. После проведения разномасштабной съемки с БПЛА нами были созданы ортофотопланы и цифровые модели местности (DTM – Digital Terrain Model) с пространственным разрешением около 1 м., охватывающие как всю территорию Белоградчишских скал, так и территорию, по которой непосредственно проходит туристический маршрут «Мир скал». Это обеспечило высокую детальность открывающихся зон видимости в ближней и средней перспективе. После совмещения полученных DTM с данными радарной топографической съемки SRTM была создана базовая модель, обеспечившая охват территории с учетом построения линий горизонта со всех обзорных точек (в радиусе 40 км).

Наиболее аттрактивным элементом ландшафта является рельеф поверхности [*Бредихин,* 2005]. Итоговая DTM была взята за основу оценки визуального восприятия территории с учетом высоты форм рельефа. Построение *зон видимости* проводилось в программе ArcMap 10.3 при помощи инструмента «*Visibility*», с возможностью определения части территории, видимой из каждой обзорной точки наблюдения. После совмещения зон видимости со всех обзорных точек, появилась возможность создания общей панорамы видимости для маршрута в целом.

Показатель «Обилие горных вершин в зоне видимости». Обилие горных вершин оценивалось на основе индекса топографического положения (TPI – Topographic position index) – разницы между абсолютной высотой определенной точки и средней высотой точек в буфере вокруг исходной точки. Таким образом, для выпуклых поверхностей характерны положительные значения индекса, для равнинных поверхностей и средних частей склонов – близкие к 0, для понижений – отрицательные значения. Идентификация горных вершин для каждой обзорной точки проводилась при помощи пересечения с соответствующими им зонами видимости (рис. 3).

Нами было проведено сравнение количества горных вершин, которые видели наблюдатели с обзорных точек в ходе полевых исследований, и количества горных вершин, полученных при использовании ГИС-анализа. Во втором случае количество горных вершин было значительно больше. Это связано с высоким пространственным разрешением исходных данных (DTM), что позволяет определить их точное количество, а во-вторых, с особенностями зрительного восприятия наблюдателей, поскольку горные вершины дальних перспектив теряют свое очертание и начинают сливаться.

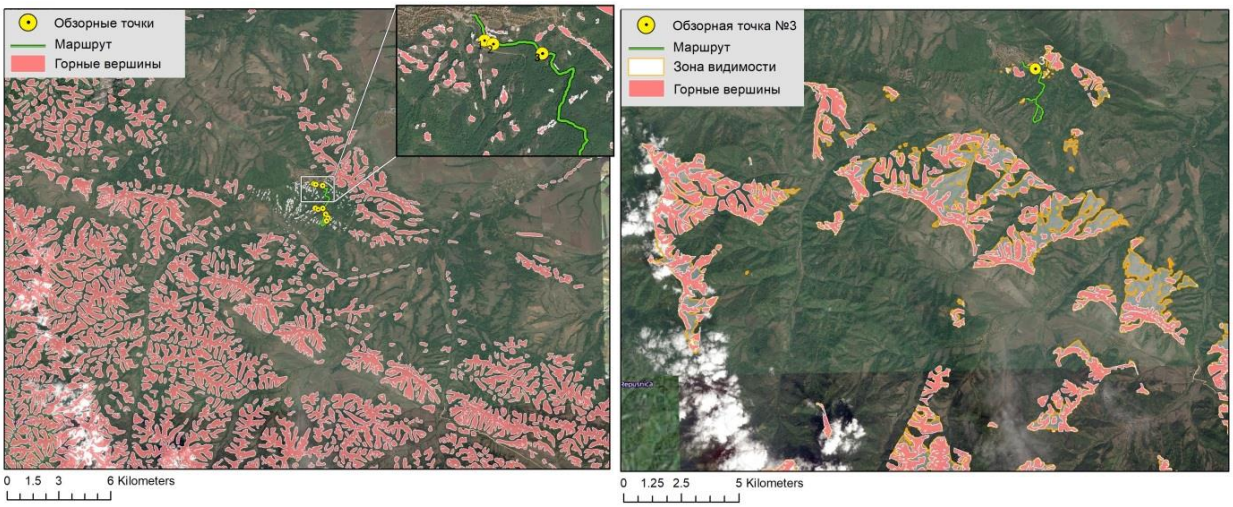

Рис. 3. Идентификация горных вершин в зоне видимости (на примере обзорной точки 3)
Fig. 3. Identification of mountain peaks in the visibility zone (example of observation point 3)

Для подсчета нами была проведена агрегация горных вершин в небольшие, близко расположенные группы (инструмент «*Aggregate Polygons*»). Горные вершины группировались в соответствии с оптимальными условиями, подобранными вручную с учетом пространственного разрешения исходных данных в пределах средней и дальней перспектив. Прежде всего необходимо было учесть разницу между горными вершинами внутри группы («*Aggregation distance*»), после чего определялась площадь отдельно стоящей горной вершины, не входящей ни в одну группу («*Minimum area*» – минимальная площадь). Таким образом, значение расстояния между вершинами внутри группы для средней перспективы не должно было превышать 70 м, для дальней перспективы – 1000 м. Площадь отдельно расположенной горной вершины для средней перспективы должна быть не менее 1500 кв. м., а для дальней перспективы – не менее 10000 кв. м (рис. 4).

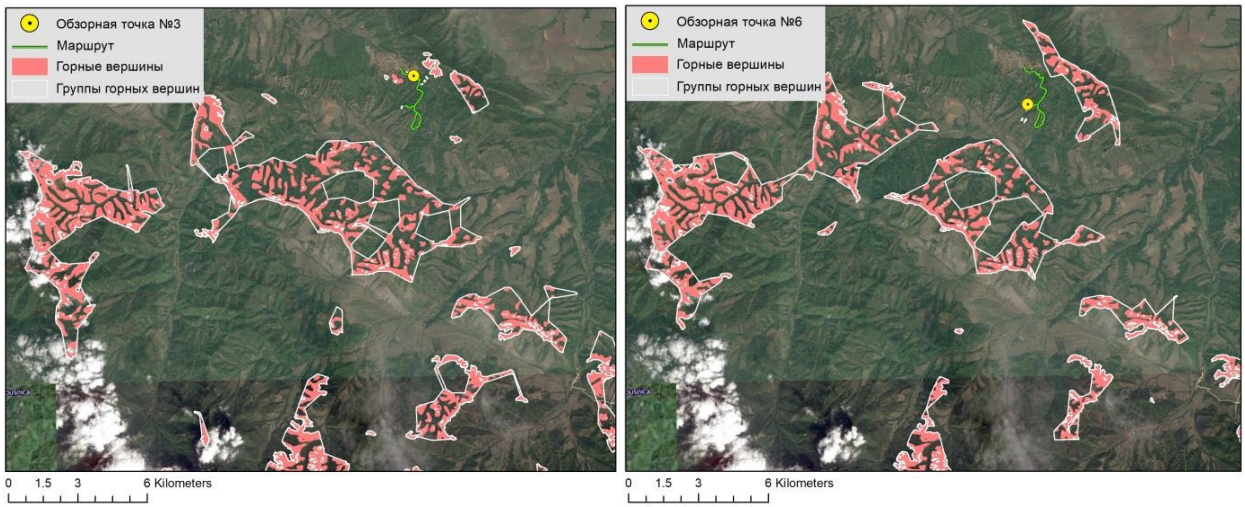

Рис. 4. Агрегирование горных вершин в группы для обзорных точек 3 (слева) и 6 (справа)
Fig. 4. Aggregation of mountain peaks into groups for observation points 3 (left) and 6 (right)

Сравнивая результаты оценки показателя «Обилия горных вершин в зоне видимости», было установлено, что с обзорной точки № 3 наблюдатель видит 30 горных

вершин, а в результате автоматизированной обработки – 32; для обзорной точки № 6 – эти показатели составляют 22 и 23, соответственно.

Показатель «Обилие горных вершин на линии горизонта». Для оценки показателя в первую очередь производилось построение линии горизонта для каждой точки обзора (инструмент «*Skyline*»). Данный инструмент позволяет сгенерировать трехмерную линию небосвода, представляющую собой отрезок между обзорной точкой и наблюдаемой точкой с учетом поверхности рельефа. В этом случае конфигурация линии горизонта будет зависеть от положения обзорных точек и высоты наблюдаемых точек. Построенная линия горизонта совмещалась с ранее выделенными группами горных вершин в зоне видимости, что позволило определить количество горных вершин на линии горизонта для каждой точки обзора (рис. 5).

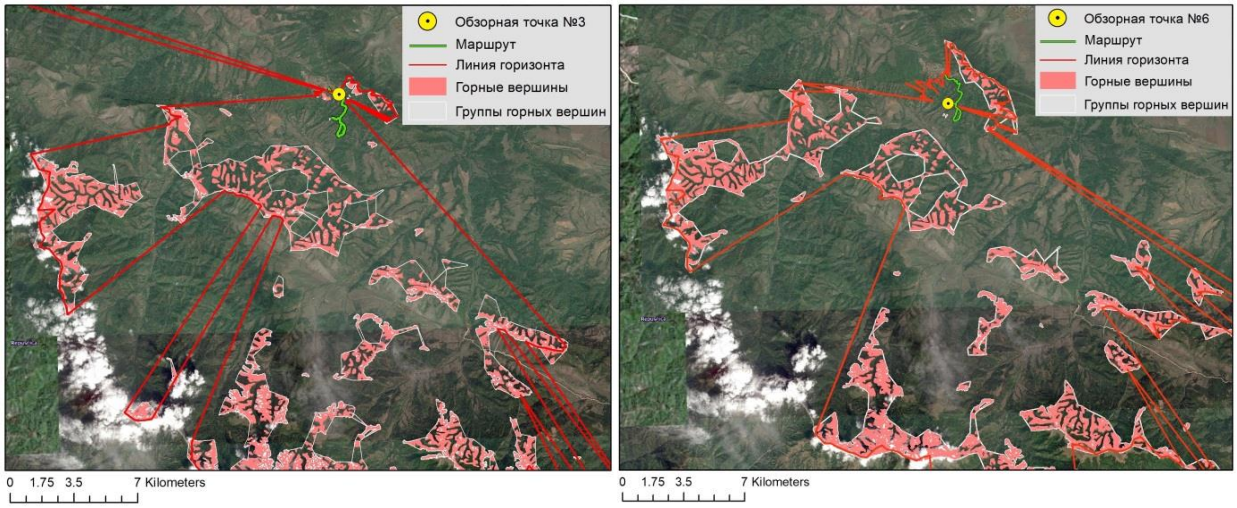

Рис. 5. Обилие горных вершин на линии горизонта для обзорных точек 3 (слева) и 6 (справа)

Fig. 5. Amount of mountain peaks on the skyline for observation points 3 (left) and 6 (right)

Таким образом, с обзорной точки № 3 наблюдатель видит на линии горизонта 15 горных вершин, при автоматизированной обработке их количество увеличивается до 18; для обзорной точки № 6 данный показатель составляет соответственно 12 и 13 горных вершин.

Показатель «Общая лесистость пейзажа». Данный показатель определяется отношением залесенной площади к общей площади зоны видимости вплоть до линии горизонта отдельно для каждой точки обзора. Согласно методике К.И. Эрингиса и А.Р. Будрюнаса [*Эрингис и др.,* 1975], этот показатель оценивается в баллах. Таким образом, при низкой степени залесенности территории, т.е. до 50 %, показатель получал 0 баллов, при средней степени залесенности – 50–70 %, оценка составляла 1 балл, при высокой, т.е. более 75 % – 2 балла.

Автоматическая оценка лесистости проводилась на основе ортофотоплана. Для территории, которая не попала в зону съемки с БПЛА, использовались безоблачные спутниковые снимки Landsat-8 за 2017–2020 гг. с более низким пространственным разрешением. На начальном этапе проводился расчет площади зон видимости для всех обзорных точек (инструмент «*Calculate Areas*»). Залесенные территории выделялись при помощи классификации типов ландшафтного покрова. Классификация ландшафтного покрова на основе ортофотоплана осуществлялась при помощи инструмента «*Classify Raster*». Классификация ландшафтного покрова на основе снимков Landsat-8

осуществлялась посредством метода главных компонент (Principal component analysis – PCA), представляющего собой снижение размерности набора каналов растра с созданием одного многоканального растра.

Для того чтобы избавиться от небольших ошибочных данных растра полученные растровые изображения были генерализованы (инструмент «*Majority Filter*»), затем векторизованы (инструмент «*Raster to Polygon*»). Из общего векторного слоя в отдельный слой был извлечен класс с лесными насаждениями. При помощи инструмента наложения данных («*Intersect*») получен итоговый векторный слой, содержащий зоны видимости и полигоны с лесами. Это позволило провести вычисление площади и доли лесных насаждений в пределах каждой зоны видимости (рис. 6).

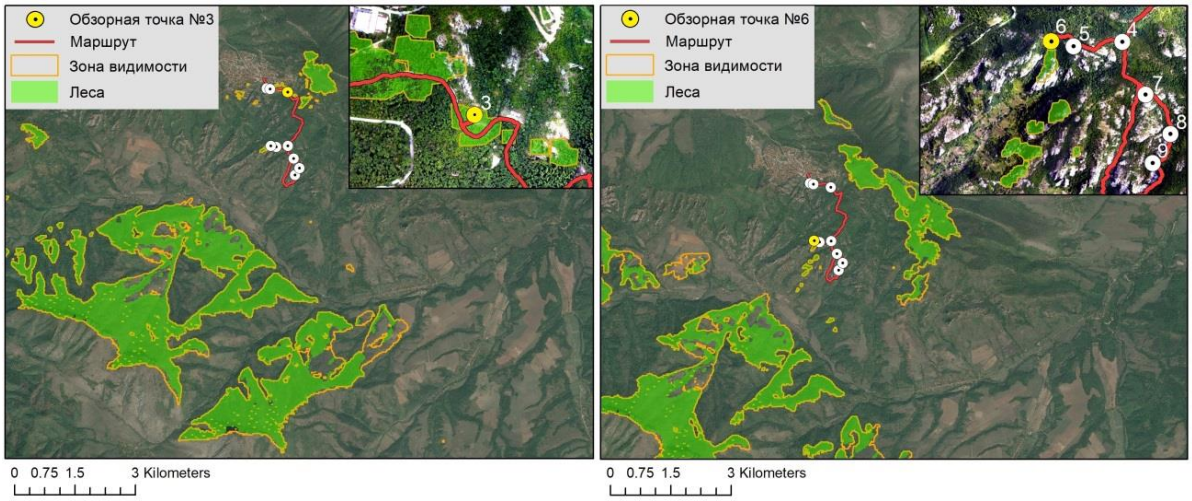

Рис. 6. Залесенные территории в пределах зон видимости для обзорных точек 3 (слева) и 6 (справа)
Fig. 6. Forest areas within the visibility zones for observation points 3 (left) and 6 (right)

Сравнивая полученные показатели при полевых исследованиях, и результаты, полученные в ходе автоматизированной обработки, можно констатировать, что оценки довольно близки. Так, доля залесенной площади для обзорной точки № 3 составляет 84 %, для обзорной точки № 6 – 81,6 %. При оценке данного показателя нами также был поставлен максимальный балл для обеих точек.

Показатель «Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже». Этот показатель очень важен для лесных территорий, поскольку наличие открытых пространств (луговин, вырубок и др.) усложняет пейзаж и повышает его аттрактивность. Открытые пространства, согласно К.И. Эрингису и А.Р. Будрюнасу, должны быть не менее чем с трех сторон окружены лесными массивами. В ближней и средней перспективах открытые пространства воспринимаются наблюдателем достаточно четко. В дальней же перспективе отрытые пространства, как и горные вершины, начинают сливаться. При автоматическом распознавании открытые участки выделяются достаточно четко. Операция выявления открытых пространств похожа на операцию выявления горных вершин. Нами было проведено объединение близкорасположенных открытых участков в группы (инструмент «*Aggregate Polygons*») с учетом расстояния между ними и их наименьшей площади. Таким образом, расстояние между открытыми пространствами внутри группы не должно было превышать 500 м, а минимальная площадь открытых участков должна быть не менее 70000 кв. м. Сама оценка представляла собой совмещение полученных полигонов с зоной видимости с каждой обзорной точки (рис. 7).

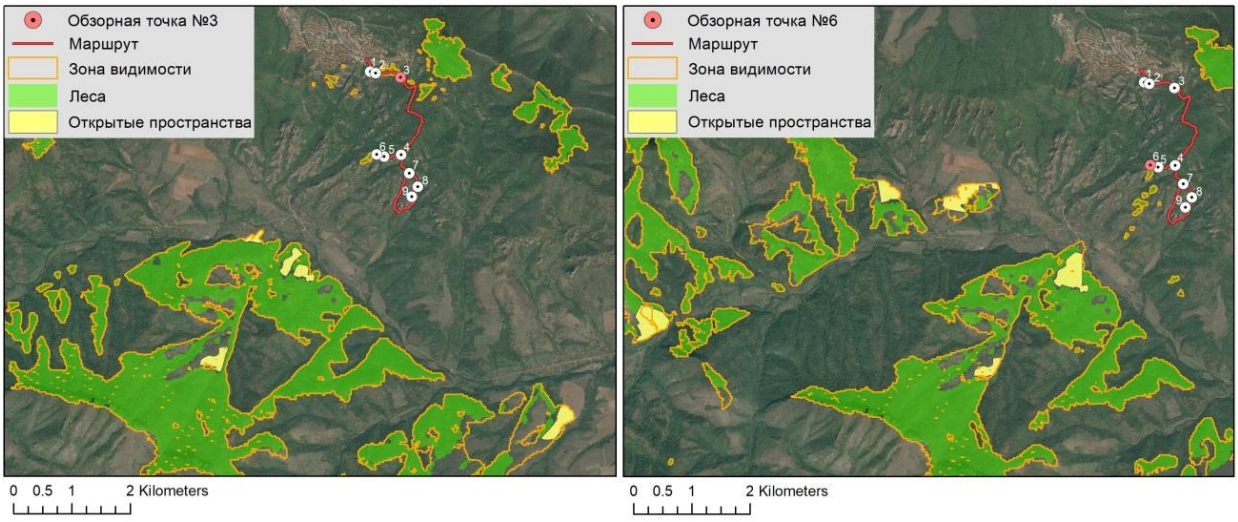

Рис. 7. Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже для обзорных точек 3 (слева) и 6 (справа)
Fig 7. Amount of open spaces in the wooded landscape for observation points 3 (left) and 6 (right)

Оценка показателя «Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже» также имеет значительную корреляцию при полевых исследованиях и при автоматизированной обработке. С обзорной точки № 3 наблюдателем было выделено 4 открытых участка, при автоматизированной обработке – 5; с обзорной точки № 6 – соответственно 5 и 6 открытых участков. Таким образом, результаты оценки визуальных свойств, полученные при автоматизированной обработке аэрофотоснимков высокого разрешения с применением ГИС-анализа, сопоставимы с данными полевых исследований.

ВЫВОДЫ

Современные методы обработки данных дистанционного зондирования высокого пространственного разрешения с применением ГИС-технологий повышают эффективность проведения визуальной оценки ландшафтов, а также позволяют минимизировать субъективную оценку во время проведения полевых исследований.

Несмотря на то, что обработка снимков с БПЛА и ГИС-анализ являются несколько трудоемкими этапами автоматизированной оценки визуальных свойств ландшафтов, так как основная задача заключается в разработке оптимальных алгоритмов для каждого оценочного показателя, итоговые результаты ГИС-оценки имеют высокий уровень точности, сопоставимый с данными полевых исследований на местности. В нашем исследовании это было доказано для территории планируемого геопарка Белоградчишские скалы на примере четырех показателей визуальной оценки ландшафтов – «Обилие горных вершин в зоне видимости», «Обилие горных вершин на линии горизонта», «Общая лесистость пейзажа» и «Обилие открытых пространств в лесистом пейзаже».

Предлагаемый метод оценки позволяет определить эстетическую привлекательность любой обзорной точки в пределах исследуемой территории, что дает возможность разрабатывать туристические маршруты с учетом визуальных свойств ландшафтов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственной научно-исследовательской программы 1.8. «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов (ГЗ)».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was performed in the framework of a state research programme 1.8. “Factors and processes of the Spatio-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes (SA)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аткина Л.И.* Эстетика ландшафта: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. 74 с.
2. *Бибаева А.Ю., Макаров А.А.* Применение ГИС для расчёта комплексных показателей эстетической оценки ландшафтов. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 2018. Т. 24. С. 17–33. DOI: 10.26516/2073-3402.2018.24.17.
3. *Бредихин А.В.* Эстетическая оценка рельефа при рекреационно-геоморфологических исследованиях. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2005. № 3. С. 7–13.
4. *Геттнер А.* География. Ее история, сущность и методы. М.; Л.: Государственное издательство, 1930. 416 с.
5. *Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988. 464 с.
6. *Голд Дж.* Психология и география: Основы поведенческой географии. М.: Прогресс, 1990. 304 с.
7. *Гумбольдт А.* Картины природы. М.: Географгиз, 1959. 270 с.
8. *Дирин Д.А.* Оценка и рекреационное использование пейзажно-эстетических ресурсов Усть-Коксинского района Республики Алтай. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2007. 206 с.
9. *Дирин Д.А., Попов Е.С.* Оценка пейзажно-эстетической привлекательности ландшафтов: методологический обзор. Известия Алтайского государственного университета, 2010. № 3. С. 120–124.
10. *Калуцкова Н.Н., Синьовски Д., Дронин Н.М., Синьовска Д., Шеремет Э.А.* Опыт номинирования геологических парков в глобальную сеть ЮНЕСКО. Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки, 2019. № 2. С. 80–93. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-80-93.
11. *Калуцкова Н.Н., Сафонова А.А., Сморжок М.А*. Оценка природной привлекательности туристических маршрутов Белоградчишских скал (Болгария). Лесные экосистемы и урбанизация. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. С. 219–225.
12. *Кочуров Б.И., Бучацкая Н.В.* Оценка эстетического потенциала ландшафта. Юг России: экология и развитие, 2007. Вып. 2. № 4. С. 25–34. DOI:10.18470/1992-1098-2007-4-25-34.
13. *Николаев В.А.* Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн. М.: Аспект-Пресс, 2005. 176 с.
14. *Норберг-Шульц К.* Жизнь имеет место. Известия высших учебных заведений. Architecton, 1995. № 1-2. С. 24–31.
15. *Ротанова И.Н., Васильева О.А.* Оценка эстетической привлекательности ландшафтов проектируемого природного парка «Предгорье Алтая» с применением геоинформационных технологий. Наука и туризм: стратегии взаимодействия. Барнаул: Издательство Алтайского университета, 2017. Вып. 7 (5). С. 29–36.
16. *Семенов-Тян-Шанский В.* Район и страна. М.;Л.: Государственное изд-во, 1928. 311 с.
17. *Филин В.А.* Видеоэкология что для глаза хорошо, а что – плохо. М.: Видеоэкология, 2006. 512 с.

18. *Шеремет Э.А., Дехнич В.С., Калуцкова Н.Н.* Возможности применения ГИС-технологий для оценки визуальных свойств ландшафтов при организации геопарков. Известия Русского географического общества, 2020. Т. 152. № 6. С. 69–78. DOI: 10.31857/S086 9607120060063.
19. *Эрингис К.И., Будрюнас А.-Р.А.* Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей. Экология и эстетика ландшафта. Вильнюс: Минтис, 1975. С. 107–160.
20. *Birkhoff G.* Aesthetic measure. Cambridge: Harvard University Press, 1933. 292 p.
21. *Cwiakala P., Kocierz R., Puniach E., Nedzka M., Mamczarz K., Niewiem W., Wiacek P.* Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the documentation of hiking trails in Alpine areas. MDPI International Journal, 2017. V. 18. Iss. 1. P. 1–28. DOI: 10.3390/s18010081.
22. *Gobster P.H.* An ecological aesthetic for forest landscape management. Landscape Journal, 1999. No 18(1). P. 54–64.
23. *Hackney C., Clayton A.* Unmanned aerial vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. Geomorphological Techniques, 2015. Chap. 1. Sec. 1.7. P. 1–12.
24. *Shaoyu L., Weijie D., Yongbo Y.* Application of UAV oblique photograph modeling technology in mountain tourism planning. 3rd International Symposium on EEEMS. Francis Academic Press, 2018. P. 240–245.
25. *Shiou Y., Chengju D., Zhihui C., Hao W., Kailang G., Yirong L., Yongjie C., Wenyan L., Qiang F., Wenbo L.* Assessing safety and suitability of old trails for hiking using ground and drone surveys. International Journal Geo-Informational, 2020. V. 9. Iss. 4. P. 1–17.
26. *Tronkov D.* Belogradchik Rock Sculptures – a child of erosional power of nature and of geological controls. Geologica Balc., 1998. V. 3 (4). No 28. P. 153–158.
27. *Tronkov D., Sinnyovsky D.* Belogradchik rocks in Bulgaria – geological setting, genesis and geoconservation value. Geoheritage, 2012. V. 4. No 3. P. 153–164.

REFERENCES

1. *Atkina L.I.* Landscape aesthetics: tutorial. Yekaterinburg: Ural State Forestry University, 2017. 74 p. (in Russian).
2. *Bibaeva A.Yu., Makarov A.A.* Application of Information Systems for Calculations of Indicators of Aesthetic Assessment of Landscapes. The Bulletin of the Irkutsk State University. Earth Science series, 2018. V. 24. P. 17–33. DOI: 10.26516/2073-3402.2018.24.17 (in Russian).
3. *Birkhoff G.* Aesthetic measure. Cambridge: Harvard University Press, 1933. 292 p.
4. *Bredikhin A.V.* Aesthetic assessment of the relief in recreational geomorphological research. Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography, 2005. No 3. P. 7–13 (in Russian).
5. *Cwiakala P., Kocierz R., Puniach E., Nedzka M., Mamczarz K., Niewiem W., Wiacek P.* Assessment of the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the documentation of hiking trails in Alpine areas. MDPI International Journal, 2017. V. 18. Iss. 1. P. 1–28. DOI: 10.3390/s18010081.
6. *Dirin D.A.* Assessment and recreational use of landscape and aesthetic resources of the Ust-Koksinsky district of the Altai Republic. Novosibirsk: Publishing House of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 206 p. (in Russian).
7. *Dirin D.A., Popov E.S.* Assessment of landscape and aesthetic attractiveness of landscapes: methodological review. News of the Altai state University, 2010. No 3. P. 120–124 (in Russian).

8. *Eringis K.I., Budryunas A.-R.A.* The essence and methodology of a detailed ecological and aesthetic study of landscapes. Ecology and aesthetics of the landscape. Vilnius: Mintis, 1975, P. 107–160 (in Russian).
9. *Filin V.A.* Videoecology: what is good for the eye, and what is bad. Moscow: Video-ecology, 2006. 512 p. (in Russian).
10. *Gibson J.* The Ecological Approach to Visual Perception. Moscow: Progress, 1988. 464 p. (in Russian).
11. *Gobster P.H.* An ecological aesthetic for forest landscape management. Landscape Journal, 1999. No 18(1). P. 54–64.
12. *Gold J.* Psychology and Geography: Foundations of Behavioural Geography. Moscow: Progress, 1990. 304 p. (in Russian).
13. *Hackney C., Clayton A.* Unmanned aerial vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. Geomorphological Techniques, 2015. Chap. 1. Sec. 1.7. P. 1–12.
14. *Hettner A.* Geography. Her history, essence and methods. Moscow; Leningrad: State publishing house, 1930. 416 p.
15. *Humboldt A.* Pictures of nature. Moscow: Geografgiz, 1959. 270 p.
16. *Kalutskova N.N., Safonova A.A., Smorzhok M.A.* Assessment of the natural attractiveness of the tourist routes of the Belogradchik rocks (Bulgaria). Forest ecosystems and urbanization. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2008. P. 219–225 (in Russian).
17. *Kalutskova N.N., Sinovski D., Dronin N.M., Sinovska D., Sheremet E.A.* Experience of nomination of geological parks into the UNESCO global network. Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences, 2019. No 2. P. 80–93. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-80-93 (in Russian).
18. *Kochurov B.I., Buchatskaya N.V.* Assessment of aesthetic potential of the landscape. South of Russia: ecology, development, 2007. V. 2. No 4. P. 25–34. DOI: 10.18470/1992-1098-2007-4-25-34 (in Russian).
19. *Nikolaev V.A.* Landscape Science: Aesthetics and Design. Moscow: Aspect Press Publishing House, 2005. 176 p. (in Russian).
20. *Norberg-Schultz C.* Life takes place. News of higher educational institutions. Architecton, 1995. No 1–2. P. 24–31. (in Russian).
21. *Rotanova I.N., Vasilyeva O.A.* Aesthetic attractiveness assessment of the natural park "Foothills of the Altai" landscapes with use geoinformation technologies. Journal Science and Tourism: Interaction Strategies. Barnaul: Altai University Publishing House, 2017. V. 7 (5). P. 29–36 (in Russian).
22. *Semenov-Tyan-Shansky V.P.* Region and country. Moscow; Leningrad: State publishing house, 1928. 311 p. (in Russian).
23. *Shaoyu L., Weijie D., Yongbo Y.* Application of UAV oblique photograph modeling technology in mountain tourism planning. 3rd International Symposium on EEEMS. Francis Academic Press, 2018. P. 240–245.
24. *Sheremet E.A., Dekhnich V.S., Kalutskova N.N.* Perspectives of GIS-technology application for visual evaluation of landscapes for organization of geopark. Bulletin of the Russian Geographical Society, 2020. V. 152. No 6. P. 69–78. DOI: 10.31857/S0869607120060063.
25. *Shiou Y., Chengju D., Zhihui C., Hao W., Kailang G., Yirong L., Yongjie C., Wenyan L., Qiang F., Wenbo L.* Assessing safety and suitability of old trails for hiking using ground and drone surveys. International Journal Geo-Informational, 2020. V. 9. Iss. 4. P. 1–17.
26. *Tronkov D.* Belogradchik Rock Sculptures – a child of erosional power of nature and of geological controls. Geologica Balc., 1998. V. 3 (4). No 28. P. 153–158.
27. *Tronkov D., Sinnyovsky D.* Belogradchik rocks in Bulgaria – geological setting, genesis and geoconservation value. Geoheritage, 2012. V. 4. No 3. P. 153–164.