

УДК 502.335:504.062

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2025-3-11-21>

Анализ территориальной структуры природопользования Тверской области на основе открытых геоданных OpenStreetMap

Д.В. Папилин, Ю.В. Преображенский

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов

Представлены результаты комплексного исследования территориальных особенностей природопользования в пределах Тверской области, выполненного на основе анализа открытых геоданных OpenStreetMap. Предложена методика, включающая использование гексагональной сетки (ячейка площадью 60 км²) для агрегирования данных и расчета комплекса показателей: доминирующих типов землепользования/земного покрова, их разнообразия, плотности застройки. Установлен выраженный градиент антропогенной трансформации в направлении с запада на восток. Результаты исследования демонстрируют потенциал использования данных OpenStreetMap для оценки региональной структуры природопользования и могут быть применены для целей территориального планирования, экологического мониторинга и оптимизации природопользования в Тверской области.

Ключевые слова: *природопользование, землепользование, OpenStreetMap, ГИС, Тверская область, ландшафтная структура, открытые данные, индекс Шеннона.*

Введение

Изучение территориальной структуры и динамики природопользования является одной из ключевых задач современной географии и экологии, имеющей важное научное и практическое значение. Тверская область, расположенная на водоразделе трех морей и характеризующаяся сложной мозаикой природных и антропогенных комплексов, представляет собой интересный объект для таких исследований. Исторически сложившаяся система расселения, развитие транспортных путей, соединяющих столичные агломерации, а также наличие крупных лесных массивов и водных систем предопределили гетерогенность ее ландшафтной структуры. Актуальная и достоверная информация о характере использования земель, состоянии ландшафтов и нагрузки на них необходима для эффективного территориального планирования, управления природными ресурсами, сохранения биоразнообразия и обеспечения устойчивого развития регионов.

Понимание современных процессов антропогенной трансформации, имеющих пространственное выражение, необходимо для разработки стратегий устойчивого природного наследия.

© Папилин Д.В.,

Преображенский Ю.В., 2025

В последние десятилетия значение обработки и анализа пространственной информации связан с развитием геоинформационных систем (ГИС) и широким использованием данных дистанционного зондирования Земли. Наряду с традиционными источниками, все большую популярность приобретают открытые геоданные, в частности, данные проекта OpenStreetMap (OSM). OSM, являясь глобальной совместной картографической базой данных, создаваемой и пополняемой добровольцами (Volunteered Geographic Information), представляет собой ценный и зачастую наиболее актуальный источник пространственной информации.

Целью работы является анализ территориальной структуры природопользования в пределах Тверской области на основе данных OSM с использованием ГИС-технологий. Задачи исследования включают: разработку методики сбора, обработки и анализа данных OSM; расчет и картографирование комплекса показателей, отражающих доминирующие типы земель, плотность антропогенной инфраструктуры, разнообразие естественных и антропогенных ландшафтов; анализ пространственных закономерностей выявленных паттернов и оценка применимости использования данных OSM для задач такого рода.

Теоретические и методические основы исследования. Исследование структуры природопользования и антропогенной трансформации ландшафтов опирается на фундаментальные концепции отечественной и зарубежной географической и экологической науки. В российской географической традиции значительный вклад в развитие учения о ландшафтах и их антропогенных модификациях внесли В.В. Докучаев, Л.С. Берг, В.Б. Сочава, А.Г. Исаченко, Ф.Н. Мильков, Ю.Г. Саушкин, А.М. Рябчиков и другие исследователи. Ф.Н. Мильков разработал учение об антропогенном ландшафтоведении, выделив антропогенные ландшафты как результат взаимодействия природных процессов и многообразной деятельности человека [4]. А.Г. Исаченко подчеркивал важность изучения структуры, динамики и устойчивости ландшафтов к антропогенным воздействиям [3]. Эти теоретические положения создают основу для анализа современного состояния ландшафтов Тверской области и оценки влияния различных видов хозяйственной деятельности.

Концепция ландшафтного планирования, активно развивающаяся как в России, так и за рубежом, направлена на оптимизацию использования территории и сохранение экологического баланса. В

рамках этого направления разрабатываются методы оценки состояния ландшафтов, выявления территорий с различной степенью антропогенной нагрузки и определения допустимых пределов воздействия. В отношении Тверской области упомянем исследование [1].

В идеальном случае выявление паттернов природопользования должно сопрягаться с экономическим (в целом – общественно-географическим) микрорайонированием (см. пример по району исследования [5]), однако для этого необходима проработка подходов, увязывающих «по вертикали» ансамбль методов, использующихся на разных таксономических уровнях [9], способствующих сближению экономической и экологической географии [7]. Изменения в структуре природопользования могут быть значимыми признаками усиления или ослабления периферизации региона и макрорайона [6].

Для развития этих направлений существенную помощь может оказать применение открытых геоданных, таких как OSM. Можно выделить такие преимущества OSM, как свободный доступ, глобальный охват и высокая частота обновления. Существуют примеры успешного применения OSM для картографирования городских территорий, дорожной сети, лесного покрова и других объектов [8]. Однако данные OSM¹ имеют и ограничения, связанные с возможной неполнотой и неоднородностью детализации, что требует верификации.

Выбор ячеистой гексагональной структуры для исследования был сделан на основе её естественных геометрических преимуществ и положительных примеров использования. Подобная геопространственная модель на основе гексагональной решётки, насколько нам известно, применяется преимущественно при исследовании природных ландшафтов (см., например, [2]).

Следует отдельно сказать, что при выборе источника геоданных для анализа структуры природопользования Тверской области предпочтение было отдано OpenStreetMap, а не спутниковым продуктам, таким как ESRI Land Cover². Это решение было продиктовано спецификой задач исследования, требующих высокой детализации и разнообразия категорий объектов. OSM часто предоставляет более подробную классификацию землепользования и объектов инфраструктуры, включая типы зданий и конкретные зоны отдыха, что важно для точного расчета таких показателей, как доминирующие типы землепользования, фрагментация и др. Кроме того, OSM предлагает

¹ OpenStreetMap URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=2/69.6/-74.9>.

² Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover Time Series URL: <https://www.esri.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>.

интегрированный набор данных, объединяющий информацию о земном покрове, транспортной сети и отдельных строениях, что необходимо для комплексной оценки антропогенной нагрузки.

Хотя спутниковые данные являются ценным ресурсом для многих экологических исследований, для данной работы, сфокусированной на детальном территориальном анализе и оценке разнообразных типов антропогенного воздействия, гибкость, семантическое богатство и потенциально более высокая детализация данных OSM оказались более подходящими.

Материалы и методы исследования. Объектом настоящего исследования выступает территория Тверской области. Информационной основой для анализа послужили открытые геоданные глобального картографического проекта OSM, актуальные на сентябрь 2023 года. Эти данные включают разнообразную пространственную информацию об объектах местности, в том числе о типах землепользования и земного покрова, объектах гидрографии, дорожной сети и застройке.

Методология исследования предполагала последовательное выполнение ряда этапов с использованием геоинформационных технологий. Первоначально были сформированы границы объекта исследования – Тверской области – на основе данных OSM. Далее для агрегирования и проведения пространственного анализа данных на всю территорию Тверской области была наложена регулярная гексагональная сетка. Площадь гексагона составила 60 км², что обеспечивает возможность анализа и репрезентации результатов в соответствующем масштабе на мезоуровне. Выбор гексагональной формы ячеек обусловлен их преимуществами при анализе пространственных данных, такими как минимизация ошибки выборки по сравнению с квадратными ячейками и более изотропное представление соседства, что особенно важно при работе с криволинейными границами природных объектов. Каждой ячейке созданной сетки был присвоен уникальный идентификатор, и была рассчитана ее точная площадь.

Следующим шагом стал сбор и предварительная обработка данных из OSM. Были извлечены данные, характеризующие транспортную инфраструктуру, включая автомобильные дороги всех типов и железнодорожные пути. Также были собраны полигональные объекты, отражающие вид землепользования и существующие ландшафты (Land Use/Land Cover (LULC)), на основе широкого спектра тегов. Кроме того, были загружены полигоны зданий.

Полный перечень типов LULC, представленных в данных OSM в пределах Тверской области, приведён ниже:

1. земельные участки	2. аквакультура	3. бассейн
4. пляж	5. верфь	6. заброшенный участок
7. кладбище	8. коммерческий объект	9. общественный объект
10. строительство	11. плотина	12. собачий парк
13. сельскохозяйугодья	14. скотный двор	15. место вырубki деревьев (заготовки древесины)
16. рыбалка	17. пуща	18. сад
19. поле для гольфа	20. трава	21. пастбище
22. зеленое поле	23. пустошь	24. промышленный район
25. остров	26. островок	27. свалка
28. пристань для яхт	29. луг	30. объект военного назначения
31. национальный парк	32. природный заповедник	33. фруктовый сад
34. парк	35. спортивная площадка	36. питомник для растений
37. детская площадка	38. охраняемая территория	39. карьер
40. железная дорога	41. площадка для отдыха	42. водохранилище
43. жилой комплекс	44. курорт	45. торговая площадка
46. песок	47. ограждение	48. кустарник
49. спортивный центр	50. источник	51. стадион
52. плавательный бассейн	53. беговая дорожка	54. деревенские посадки
55. водный объект	56. водно-болотные угодья	57. инфраструктура для зимних видов спорта
58. лесной участок		

С позиции состоятельного описания природных ландшафтов такой набор тегов оставляет желать лучшего, однако в отношении антропогенных объектов и сооружений разной функции он достаточно информативен. Этот нюанс необходимо иметь ввиду в дальнейшем.

На основе подготовленных данных для каждой гексагональной ячейки был рассчитан набор количественных и качественных показателей, характеризующих структуру природопользования и антропогенную нагрузку. Все расчеты, связанные с площадями и длинами, производились в метрической проекции UTM.

Для каждой ячейки определялся доминирующий тип LULC, результаты наносились на карту.

Для оценки степени гетерогенности ландшафта рассчитывался индекс разнообразия Шеннона:

$$H = - \sum_i (p_i \cdot \ln(p_i)),$$

где p_i – доля площади i -го типа природопользования от общей кодированной площади природопользования в ячейке. Этот индекс отражает как количество типов LULC, так и выравненность их площадей.

Также анализировались характеристики лесных массивов, включая их количество, общую площадь и средний размер лесных полигонов, попадающих в пределы каждой ячейки. Эти метрики важны для оценки структурной целостности лесного покрова.

На основе совокупности всех рассчитанных показателей была проведена многокритериальная классификация ячеек сетки. Целью этой классификации являлось выделение обобщенных типов территорий. При классификации учитывались доминирующие типы LULC, их количество в пределах ячейки, разнообразие LULC с использованием пороговых значений, определенных в ходе исследования.

Завершающим этапом работы стали визуализация и анализ полученных наборов данных и результатов классификации. Они были представлены в виде тематических карт, которые легли в основу последующего пространственного анализа и формулирования выводов о структуре природопользования и антропогенной трансформации ландшафтов Тверской области.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ структуры землепользования и ландшафтных характеристик Тверской области, проведенный на основе данных OSM с использованием гексагональной сетки, позволил выявить следующие ключевые пространственные закономерности и особенности.

В первую очередь, на территории области установлено преобладание лесных угодий и территорий, в минимальной степени подвергшимся антропогенному воздействию. Леса являются доминирующим типом землепользования на большей части Тверской области, что подтверждается высоким процентом лесистости во многих ячейках, часто значительно превышающим средние показатели (рис. 1). Наиболее обширные и непрерывные лесные массивы расположены в западной, северо-западной (охватывая склоны Валдайской возвышенности) и, в меньшей степени, северо-восточной частях области. В этих же зонах наблюдается преимущественно низкое количество типов природопользования в одной ячейке, что отражает однородность крупных лесных массивов (рис. 2).

Центральная и юго-восточная части области характеризуются большей мозаичностью. Значительные площади также занимают водные объекты и водно-болотные угодья, особенно в северо-западной и центральной частях региона, что обусловлено разветвленной речной сетью (верховья Волги, Западной Двины, Мсты) и наличием крупных озер (система Селигер) и водохранилищ. Эти территории также часто демонстрируют малое количество типов природопользования из-за доминирования водной поверхности.

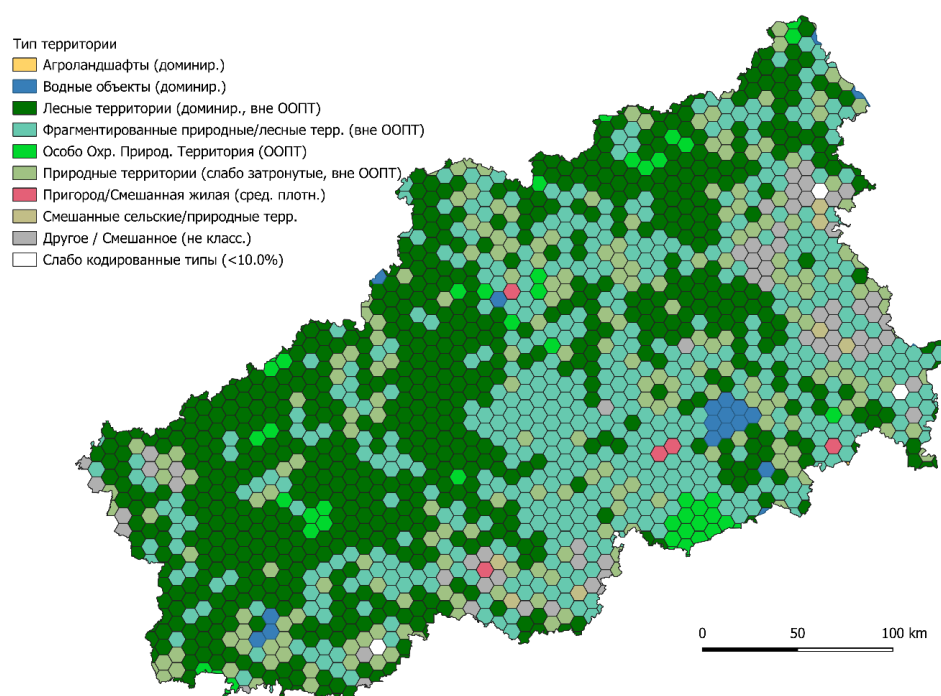


Рис.1. Преобладающие типы землепользования в ячейках в пределах Тверской области (составлено авторами на основе данных OSM)

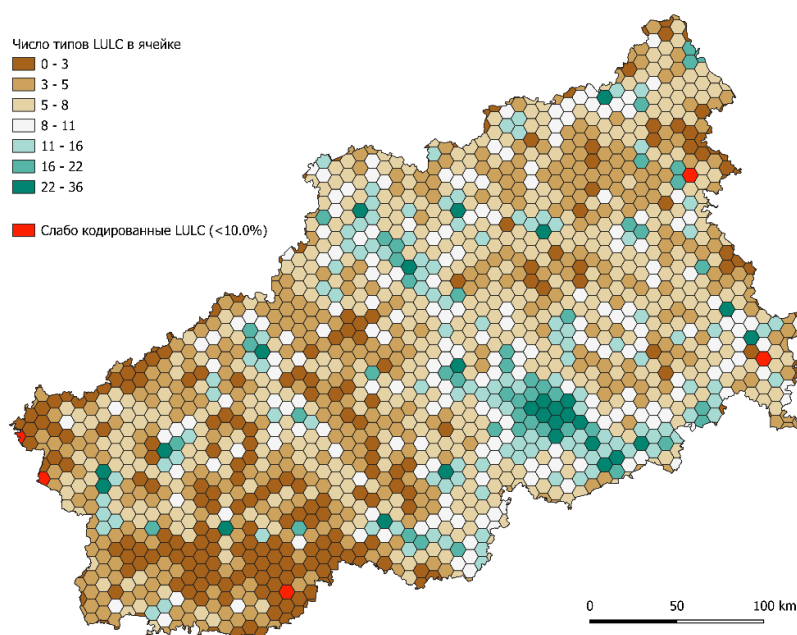


Рис.2. Число типов природопользования в ячейке в пределах Тверской области (составлено авторами на основе данных OSM)

Анализ пространственных аспектов ландшафтного разнообразия показал интересные закономерности. Максимальные значения ландшафтного разнообразия (высокий индекс Шеннона, обозначенный интенсивными красными оттенками на рис. 3) приурочены к экотонным зонам: на границах крупных природных массивов (лесных, водных) и освоенных территорий (сельскохозяйственных, селитебных). Высокое разнообразие также наблюдается в пригородных зонах крупных городов и вдоль долин крупных рек, где формируется сложная мозаика из различных типов землепользования. Эти же зоны, как правило, характеризуются обилием типов природопользования в ячейке. Например, юго-восточная часть области, а также территории вокруг Твери, демонстрируют высокие значения по обоим показателям. Гомогенные ландшафты, такие как обширные лесные массивы на северо-западе или крупные однородные сельскохозяйственные территории на юге, характеризуются низким индексом Шеннона и небольшим количеством типов природопользования в ячейке.

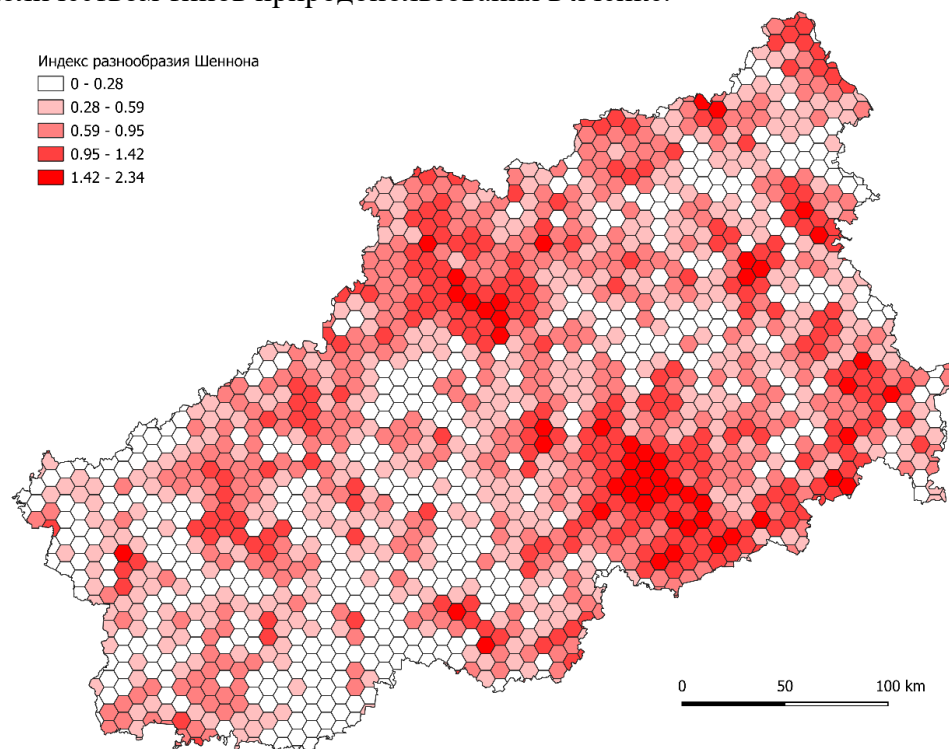


Рис. 3. Индекс разнообразия Шеннона по ячейкам Тверской области
(составлено авторами на основе данных OSM)

Исследование также подтвердило важную роль особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Территории, классифицированные как ООПТ (например, Центрально-Лесной заповедник на юго-западе или

национальный парк «Завидово» в пределах Тверской и Московской областей), в целом демонстрируют низкую степень антропогенной нагрузки, что подтверждается низкой плотностью дорожной сети. Для них характерно преобладание естественных и малонарушенных ландшафтов. На ООПТ наблюдается преимущественно низкое количество типов природопользования в одной ячейке, отражая их природную однородность. Можно говорить о сохранении крупных, относительно однородных природных экосистем с ограниченным набором типов LULC. Их неравномерное пространственное распределение по области вносит существенный вклад в поддержание экологического каркаса региона и сохранение эталонных природных комплексов.

Отчетливо прослеживается градиент антропогенной трансформации ландшафтов с северо-запада на юго-восток Тверской области. Западные и северо-западные районы характеризуются большей сохранностью природных комплексов, доминированием лесных массивов, низкой плотностью дорог, меньшим количеством типов природопользования в ячейках.

Заключение. В результате проведенного исследования на основе анализа открытых геоданных OpenStreetMap дана характеристика территориальной структуры природопользования Тверской области. Разработанная методика, включающая использование гексагональной сетки и расчет набора количественных показателей, позволила выявить ключевые пространственные закономерности и особенности антропогенной трансформации ландшафтов региона.

Установлено преобладание лесопокрытых территорий, особенно в западной и северо-западной частях области, и значительные различия в их фрагментации. Наибольшая антропогенная нагрузка (высокая плотность транспортной сети, застройки, интенсивное сельское хозяйство) характерна для центральных и юго-восточных районов.

Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные карты и результаты анализа могут быть использованы органами управления Тверской области для оптимизации природопользования, разработки стратегий территориального планирования, выявления зон экологического риска и планирования природоохранных мероприятий.

Перспективы дальнейшего исследования могут быть связаны с динамическим анализом изменений структуры природопользования на основе разновременных данных OSM, интеграцией данных дистанционного зондирования для верификации, а также с улучшением типологии компонентов ландшафтного покрова.

Список литературы

1. Дорофеев А.А., Хохлова Е.Р. Ландшафты Тверской области: монография. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. 120 с.
2. Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Ямашкин С.А., Корень В.А., Занозина Е.В. Гексагональная геопространственная модель ландшафтного разнообразия северного подрайона дельты реки Волга // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19 (2). С. 181–196. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-2-16.
3. Исаченко А.Г. Экологическая география России. Санкт-Петербург: Издательство С.-Петербургского университета, 2001. 327 с.
4. Мильков Ф.Н. Естественнo-антропогенные ландшафты как особая категория природных комплексов // Антропогенные ландшафты: структура, методы и прикладные аспекты их изучения. Воронеж, 1988. С. 4–13.
5. Преображенский Ю.В. Экономическое микрорайонирование Тверской области (к вопросу выделения ячеек хозяйствования) // Вестник Тверского гос. университета. Серия: География и геоэкология. 2018. № 4. С. 110–118.
6. Преображенский Ю.В. Предпосылки периферизации Северо-Запада России // Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология. 2019. № 3(27). С. 50–58.
7. Тихомиров О.А. Экологическая география. Предмет, объекты и задачи науки // Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология. 2021. № 1(33). С. 6–13. DOI: 10.26456/2226-7719-2021-1-6-13.
8. Birch C.P. D., Oom S.P., Beecham J.A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment, and simulation in ecology // Ecological Modelling. 2007. Vol. 206. No 3–4. P. 347–359. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041.
9. Hesselbarth M., Nowosad J., Flamingh A., Simpkins C., Jung M., Gerber G., Bosch M. Computational Methods in Landscape Ecology // Current Landscape Ecology Reports. 2024. Vol. 10. No 2. DOI: 10.1007/s40823-024-00104-6.

Об авторах:

ПАПИЛИН Дмитрий Вячеславович – магистрант ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83), e-mail: dmitrypapillinv@mail.ru, ORCID: 0009-0001-2401-5392.

ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ Юрий Владимирович – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экономической и социальной географии. ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83), e-mail: topofag@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2774-0554, SPIN-код: 1437-7336.

Analysis of the territorial structure of land use in the Tver region based on Openstreetmap's Open Geodata

D.V. Papilin, Yu.V. Preobrazhenskiy

Saratov State University, Saratov

The article presents the results of a study on the territorial features of the land use in the Tver region based on the analysis of OpenStreetMap geodata. The study proposes a methodology that includes the use of hexagonal grids (a cell with an area of 60 km²) to aggregate data and calculate indicators such as dominant land use types, diversity, and building density. The results show a pronounced gradient of anthropogenic transformation from west to east, indicating a need for more efficient environmental management. The study demonstrates the potential of OpenStreetMap data for assessing the structure of regional environmental management and suggests its use for territorial planning, environmental monitoring, and optimization in the Tver region.

Keywords: *environmental management, land use, OpenStreetMap, geographic information systems (GIS), Tver region, landscape structure, open data, Shannon index.*

Рукопись поступила в редакцию 30.05.2025

Рукопись принята к печати 19.08.2025