

УДК 551.46

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ФРАГМЕНТАЦИИ  
ЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

**Ю. С. Давидович, В. М. Яцухно**

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030, г. Минск, Беларусь, [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com), [yatsukhno@bsu.by](mailto:yatsukhno@bsu.by)*

Содержание представленной статьи посвящено слабо изученной проблеме фрагментации наземных экосистем Беларуси на разных иерархических уровнях организации природной среды (республиканском, региональном, субрегиональном и локальном (топологическом)). Наиболее перспективным и эффективным методом исследования и оценки фрагментации ландшафтов является использование данных дистанционного зондирования Земли как наиболее объективных и оперативных сведений по данному вопросу. Использование инструментов в среде геоинформационных технологий позволяет определить метрические композиционные и конфигурационные показатели, характеризующие степень фрагментации ландшафтов в автоматическом режиме обработки материалов аэрокосмических съемок. Выявлены существенные межрегиональные и внутри региональные различия в проявлении фрагментации наземных экосистем ландшафтов, а также определена ее роль в росте экотонизации ландшафтов, т.е. контактных полос между природными экосистемами и хозяйственно используемыми землями.

**Ключевые слова:** фрагментация; наземные экосистемы; ландшафты; метрики фрагментации; данные дистанционного зондирования Земли.

**RESEARCH AND ASSESSMENT OF FRAGMENTATION OF LAND-  
SCAPE OF BELARUS USING REMOTE SENSING METHODS**

**Y. S. Davidovich, V. M. Yatsukhno**

*Belarusian State University, Nezavisimosti Av., 4,  
220030, Minsk, Belarus, [seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com), [yatsukhno@bsu.by](mailto:yatsukhno@bsu.by)*

The content of the presented article is devoted to the poorly studied problem of fragmentation of terrestrial ecosystems of Belarus at different hierarchical levels of organization of the natural environment (republican, regional, subregional and local (topological)). The most promising and effective method for studying and assessing landscape fragmentation is the use of Earth remote sensing data as the most objective and operational information on this issue. The use of tools in the environment of geographic information technologies makes it possible to determine metric compositional and configuration indicators characterizing the degree of fragmentation of landscapes in the automatic mode of processing aerospace survey materials. Significant interregional and intraregional differences in the manifestation of fragmentation of terrestrial ecosystems of landscapes have been identified, and its role has been

determined in the growth of ecotonization of landscapes, i.e. contact strips between natural ecosystems and economically used lands.

**Keywords:** fragmentation; terrestrial ecosystems; landscapes; fragmentation metrics; remote sensing data.

В ходе длительного хозяйственного освоения и использования территории Беларуси, слагающие ее природные ландшафты претерпели значительные структурно-функциональные изменения, выразившиеся, прежде всего, в сокращении площади природных экосистем, уменьшении их биологического и ландшафтного разнообразия [1, 2]. К числу существенных негативных последствий этого является чрезмерная фрагментация наземных экосистем, обусловленная расчленением и последующим гетерогенизацией крупных цельных лесных, водно-болотных, луговых, древесно-кустарниковых массивов на более мелкие и изолированные их участки. Формирование последних является результатом крупно-площадного агрохозяйственного, в том числе мелиоративного, использования земельного фонда, создания развитой сети и объектов транспортной инфраструктуры, линий электропередач, системы коммуникаций, расширение городских поселений, рекреационных зон, промышленного и гражданского строительства и др.

Наблюдаемая при этом тотальная антропогенизация ландшафтного покрова уменьшает пространственные и функциональные связи между изолированными местообитаниями растительных сообществ и животного мира, ведет к потере исходного биоразнообразия и, как результат, к проявлению процессов их деградации, вызывающие заметные экономические издержки и экологический ущерб [3].

Фрагментация ландшафтов, обусловленная в первую очередь расчленением их растительного покрова, является принципиально новым фактором естественной динамики природной среды. Фрагментация влечет за собой развитие другого мощного процесса антропогенной трансформации — экотонизации границ природных и антропогенных экосистем, формирования сравнительно широких переходных полос между природными экосистемами и их антропогенными модификациями. Именно эти процессы по периферии ареалов трансформированных земель создают условия изоляции для биоты в границах ландшафта. Наиболее опасным для современных ландшафтов и их биоразнообразия становится процесс «островизации» природных экосистем. Этот процесс весьма выражен и часто носит негативный эффект в ландшафтах Беларуси, особенно в регионах крупномассивного аграрного освоения, распространения гидромелиоративных объектов, густотой сети транспортных коммуникаций, многофункционального использования пригородных зон и др.

Проблема фрагментации ландшафтов является весьма актуальной и практически востребованной для условий Беларуси. Расширение населенных пунктов, строительство промышленных и инфраструктурных объектов, линий электропередач, дорог, трубопроводов, а также наличие в структуре земельного фонда республики около 40 % сельскохозяйственных земель, из общей площади которых 30 % подвергнуто мелиоративному воздействию, и др. заметно расширяют масштабы проявления фрагментации ландшафтов.

При выборе территориальных объектов исследования и последующей оценки фрагментации ландшафтов учитывался и был использован полимасштабный подход ее проявления. Главной особенностью указанного подхода является рассмотрение масштабности разных иерархических уровней (макро-, мезо- и микромасштабного) в пределах изучаемой территории и их взаимосвязей. В связи с этим изучение фрагментации ландшафтов и особенность ее проявления предлагается оценивать на национальном (республиканском), региональном (провинциальном), субрегиональном (административно-районном), локальном (топологическом) уровнях. В качестве национального (республиканского) уровня взята территория Республики Беларусь в целом, картографирование фрагментации ландшафтов которой выполнено в масштабе 1:500 000, масштаб на региональном уровне составил — 1:200 000, субрегиональном — 1: 50 000 и локальном — 1:10 000. Каждый масштаб отражения фрагментации ландшафтов отличается определенными особенностями и поэтому важно выявить при переходе с одного на другой уровень общие закономерности композиционного рисунка экосистем, их метрические характеристики, а также факторы их обуславливающие.

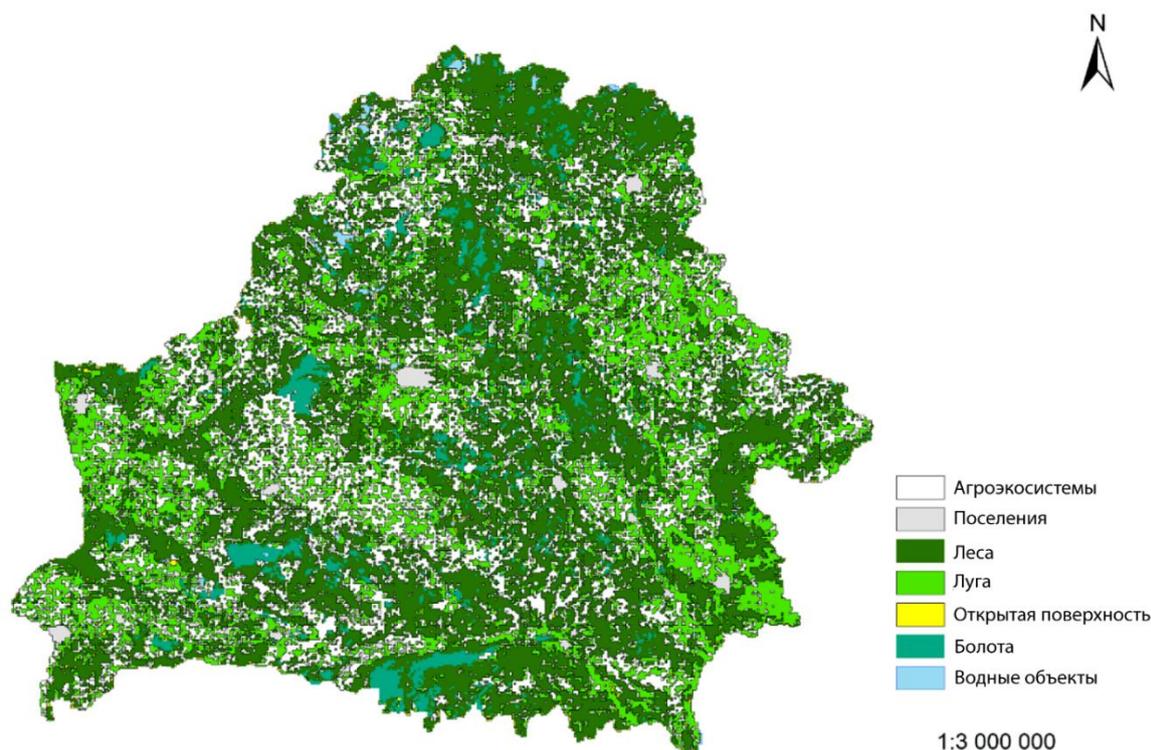
Результаты дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли позволяют сделать процесс оценки фрагментации ландшафтов не только более объективным, но и более быстрым и независимым от имеющихся картографических источников. Для количественной характеристики и определения степени фрагментации ландшафтов предлагается применить метрические показатели (индексы), расчет которых выполняется с использованием инструментов в среде геоинформационных технологий [4–7].

Для оценки фрагментации ландшафтов Беларуси с использованием данных дистанционного зондирования Земли необходимо соблюдения некоторых условий подбора материалов аэрокосмических съемок: пространственное, спектральное, радиометрическое и временное разрешение аэрокосмических снимков; сезон съемки (ее оптимальные сроки); учет влияния погодных факторов (облачность); предварительная обработка данных и др. Для анализа фрагментации ландшафтов на различных уровнях

(локальном, субрегиональном, региональном и национальном) необходимо использовать данные ДЗЗ различного охвата и пространственного разрешения.

В процессе автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли предлагается использовать мультиспектральные снимки спутниковых систем Suomi NPP, Sentinel-2A/B, Landsat8/9, БКА на летний и весенний период на территории изучаемых регионов. В результате создается мозаика и изображений на каждый сезон съемки. Все расчеты производятся в программном продукте ArcGIS Pro 2.8 на операционной системе Windows 10 с использованием алгоритмов построения пользовательских инструментов геообработки пространственных данных на основе геомodelей ModelBuilder. В результате создается векторный слой с отображением фрагментации ландшафтов, полученных по итогам автоматизированной классификации данных дистанционного зондирования Земли.

Для вычисления метрик фрагментации ландшафтов предлагается использовать разработанный авторами специализированный программный модуль для ArcGIS [3]. По результатам определения метрик (показателей) фрагментации ландшафтов определяется площадь сокращения экосистем ландшафтов, а также учитываются показатели связности, непрерывности, формы контуров экосистем и их взаимное размещение, что позволяет устанавливать степень фрагментации ландшафтов. Так, в первом приближение, исходя из размера площади сохранившихся природных экосистем в ландшафтах их можно ранжировать на: очень сильно трансформированные менее 10 %; сильно — 10–30 %; средне — 31–50 %; слабо трансформированные более 50 %. При этом указанные группы ландшафтов должны быть дополнены метрическими характеристиками фрагментации видов земель. Для точной оценки выполнен подбор и проведено дешифрирование аэрокосмоснимков различного территориального охвата с выделением на них экосистем на уровне республики (национальный уровень); ландшафтных провинций (региональный уровень) и административных районов (субрегиональный уровень). Пример выделения экосистем на национальном уровне представлен на рис. Открытая поверхность представлены хозяйственными и инфраструктурными объектами. Расчетные показатели метрик фрагментации ландшафтов приведены в таблице.



Пространственная структура экосистем Беларуси

В настоящее время при изучении, оценке и картографировании фрагментации ландшафтов Беларуси наиболее востребованным инструментом выявления пространственного сочетания наземных экосистем являются спутниковые космоаэроизображения разного разрешения. Необходимость их применения объясняется объективностью, масштабом охвата изучаемых территорий и слагающих их ландшафтов, а также доступностью и возможностью обработки в современных программных продуктах.

Представленные результаты исследований получены при выполнении мероприятия 16 «Разработать систему оценки фрагментации ландшафтов Беларуси с применением данных дистанционного зондирования Земли с целью регулирования антропогенных нагрузок на них и сохранения биоразнообразия экосистем» подпрограммы 6 «Исследование и использование космического пространства в мирных целях» Государственной программы «Научные технологии и техника» на 2021–2025 гг.

**Результаты определения количественных метрик фрагментации ландшафтов на национальном, региональном и субрегиональном (районном) территориальных уровнях на основе ЭО ПК СОФЛ**

Виды земель	Ландшафтные индексы и метрики								
	MP	PLAN D	MPS	PD	LSI	MSI	MPAR	MESH	SHEI
Национальный уровень (Республика Беларусь)									
Пашня	4223	25.45	12.66	0.0201	43.62	1.36	0.0022	53.90	0,75
Строения	909	3.06	7.07	0.0043	5.78	1.23	0.0023	9.55	
Леса	2037	41.15	42.45	0.0097	39.50	1.39	0.0022	30.90	
Луга	3702	25.20	14.30	0.0176	39.77	1.35	0.0022	46.82	
Открытая поверхность	494	0.59	2.51	0.0024	1.93	1.15	0.0027	3.62	
Болота	749	4.01	11.26	0.0036	5.91	1.27	0.0023	8.78	
Водные объекты	129	0.53	8.65	0.0006	0.97	1.27	0.0022	1.54	
Региональный уровень (Белорусское Поозерье)									
Пашня	1679	24.62	5.41	0.0455	27.16	1.37	0.0035	79.25	0.73
Строения	1754	9.91	2.09	0.0475	14.77	1.21	0.0038	59.26	
Леса	1025	43.39	15.61	0.0278	28.41	1.41	0.0034	56.44	
Луга	1805	8.96	1.83	0.0489	14.87	1.21	0.0038	59.90	
Открытая поверхность	498	3.37	2.49	0.0135	4.42	1.20	0.0040	15.74	
Болота	468	6.68	5.27	0.0127	6.54	1.32	0.0031	23.58	
Водные объекты	347	3.07	3.26	0.0094	3.54	1.24	0.0037	13.43	
Субрегиональный уровень (Городокский район)									
Пашня	4312	15.93	0.11	1.4499	39.34	1.66	0.0774	252.76	0.47
Строения	578	3.78	0.19	0.1944	6.62	1.72	0.0427	1586.25	
Леса	8132	55.07	0.20	2.7345	85.74	1.42	0.0972	6680.36	
Луга	4429	2.25	0.02	1.4893	10.32	1.34	0.1026	458.99	
Открытая поверхность	22483	13.99	0.02	7.5601	53.37	1.30	0.1062	11257.83	
Болота	66	4.84	2.18	0.0222	3.79	2.18	0.0090	1806.69	
Водные объекты	4956	3.42	0.02	1.6665	7.29	1.20	0.1201	5219.82	
Дороги	7518	0.72	0.003	2.5280	8.41	1.23	0.1147	7394.65	

*Примечание.* MP – количество патчей каждого вида земель, шт; PLAND – процент определенного вида земель, %; MPS – средний размер (площадь) фрагмента (патча), км<sup>2</sup>; PD – плотность фрагмента, шт/км<sup>2</sup>; LSI – индекс формы; MSI – средний индекс формы; MPAR – отношение периметра к площади; MESH – эффективный размер ячейки, км<sup>2</sup>; SHEI – индекс равномерности Шеннона.

## Библиографические ссылки

1. *Гусев А. П.* Фрагментация ландшафтного покрова как фактор деградации потенциала самовосстановления геосистем // Весці БДПУ. Серыя 3. 2014. № 1. С. 58–61.
2. *Скачкова А. С., Яцухно В. М.* Планирование территориальных схем экологических сетей на основе результатов оценки фрагментации и разнообразия ландшафтов // Земля Беларуси. 2016. № 4. С. 25–29.
3. *Давидович Ю. С., Яцухно В. М.* Оценка фрагментации наземных экосистем ландшафтов Беларуси по данным дистанционного зондирования Земли // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: С.А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. Брест: БрГУ, 2023. Ч. 2. С. 42–45.
4. *Rutledge D. T., Miller C. J.* The use of landscape indices in studies of the effects of habitat loss and fragmentation // *Naturschutz und Landschaftsplanung*. 2006. № 38. P. 300–307.
5. *Frazier A. E., Kedron P.* Landscape Metrics: Past Progress and Future Directions // *Current Landscape Ecology Reports*. 2017. № 2. P. 63–72.
6. *Jaeger J. A. G.* Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation // *Landscape Ecology*. 2000. № 15. P. 115–130.
7. *Белоновская Е. А., Кренке А. Н., Тишков В. А., Царевская Н. Г.* Природная и антропогенная фрагментация растительного покрова Валдайского Поозерья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 5. С. 67–82.